



УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
АКТЮБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

АКТЮБИНСКИЙ ОБЛАСТНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

ОТДЕЛ ТЕХНИЧЕСКОГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Г.Н.Уразбаева, Н.Е.Дускиреев

**ОСНОВЫ  
ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*Методические указания по выполнению лабораторных  
работ для студентов специальности  
0709000 «Обогащение полезных ископаемых»,  
дневной и заочной форм обучения*



АҚТӨБЕ  
2016

Рассмотрено и рекомендовано к печати научно-методическим советом  
отдела

**Автор-составители:**  
**Г.Н.Уразбаева, Н.Е. Дускиреев -**  
Хромтауский горно - технический колледжа

**Рецензенты:**  
**Е.Ю.Дегодя** – к.т.н., доцент кафедры ОПИ «МГТУ им. Г.И. Носова»  
**М.С.Касимов** – руководитель отдела АОНПЦ

Настоящие методические указания по выполнению лабораторных работ по Основам обогащения полезных ископаемых для студентов квалификации специалист среднего звена «Техник-технолог» 2,3,4 курса специальности 0709000 «Обогащение полезных ископаемых» (рудообогащение), разработаны в соответствии с типовым учебным планом и образовательной учебной программой технического и профессионального образования утвержденной МОН РК от 10.07. 2013 года № 268 (зарегистрированной в Министерстве юстиции Республики Казахстан от 5 августа 2013 года № 8602) для специальности 0709000 «Обогащение полезных ископаемых» (рудообогащение)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация.....	
Введение.....	
Требования к выполнению и оформлению лабораторных работ.....	
Лабораторная работа № 1.	
Изучение работы щековой дробилки и производство ситового анализа.....	
Лабораторная работа № 2.	
Изучение работы гирационного грохота и определение эффективности грохочения.....	
Лабораторная работа № 3.	
Изучение процесса измельчения руд в шаровой мельнице.....	
Лабораторная работа № 4.	
Обогащение железных руд на магнитном сепараторе.....	
Лабораторная работа № 5.	
Обогащение полиметаллических руд по схеме прямой селективной флотации.....	
Лабораторная работа № 6.	
Обогащение полезных ископаемых на концентрационном столе.....	
Лабораторная работа № 7	
Изучение конструкций аппаратов, применяемых при фильтрации	
Лабораторная работа № 8	
Изучение схемы измельчения на стационарной установке.....	
Лабораторная работа № 9	
Изучение конструкции отсадочной машины. Регулирование работы лабораторной осадочной машины.	
Лабораторная работа № 10.....	
Изучение конструкции спирального классификатора. Влияние плотности на крупность слива классификатора.....	
Библиографический список . . . . .	

## Аннотация

Настоящие методические указания по выполнению лабораторных работ по Основам обогащения полезных ископаемых для студентов квалификации специалист среднего звена «Техник-технолог» 2,3,4 курса. специальности 0709000 «Обогащение полезных ископаемых» (рудообогащение), разработаны в соответствии с типовым учебным планом и образовательной учебной программой технического и профессионального образования утвержденной МОН РК от 10.07. 2013 года № 268 (зарегистрированной в Министерстве юстиции Республики Казахстан от 5 августа 2013 года № 8602) для специальности 0709000 «Обогащение полезных ископаемых» (рудообогащение).

Цель изучения дисциплины – формирование у студентов профессиональных знаний теоретических и технологических основ первичной переработки, обогащения и комплексного использования полезных ископаемых.

При изучении курса необходимо усвоить назначение механической обработки полезных ископаемых в общей схеме передела руда-металл, классификацию методов и процессов обогащения. Следует твердо усвоить определение основных продуктов и технологических показателей обогащения: выход, массовая доля ценного компонента, извлечение, степень концентрации, степень сокращения, эффективность обогащения.

Приобретенные навыки при выполнении лабораторных работ позволят студентам осознать комплексный характер курса, его органическую связь с другими дисциплинами, сформировать знания о процессах обогащения, тем самым повысить профессиональную мобильность и в дальнейшем применить полученные знания в практической деятельности.

## ВВЕДЕНИЕ

Обогащение полезных ископаемых является одной из важнейших составляющих процесса добычи и переработки минерального сырья. Разнообразие и сложность технологических процессов обогащения полезных ископаемых обуславливают необходимость разработки достаточно полного, и в то же время, компактного учебного материала, дающего возможность студенту в рамках изучаемой дисциплины ознакомиться с теоретическими основами и технологией процессов обогащения, применяемым оборудованием.

Основными направлениями экономического развития предусматривается опережающими темпами развивать рудную промышленность.

Намечается расширить сырьевую базу действующих горнодобывающих предприятий, более комплексно использовать рудное сырье.

Решение этих задач приобретает все более важное значение в связи с постепенным истощением запасов полезных ископаемых и вовлечением в переработку труднообогатимых руд с низким содержанием ценных компонентов.

Вопросы рационального использования сырья, обеспечения комплексности и полноты его переработки, совершенствования технологии обогащения полезных ископаемых должны решаться на основе ускорения научно-технического прогресса, внедрения новых, более эффективных технологических процессов, реагентов.

В настоящее время перед всеми специалистами-обогащателями стоит главная задача — непрерывно изыскивать пути совершенствования технологии комплексного использования минерального сырья и максимального извлечения ценных компонентов.

На решение этой задачи направлены усилия специалистов-обогащателей, создающих и совершенствующих процессы обогащения полезных ископаемых и обогащательное оборудование.

Повышение эффективности обогащательного производства требует разработки и внедрения новых технологических процессов и оборудования, обеспечивающих получение высоких технико-экономических показателей в условиях постепенного снижения качества исходного минерального сырья. Технологические процессы должны совершенствоваться в направлении сокращения энергозатрат и материалов на производство концентратов, обеспечения наиболее полного использования в народном хозяйстве всех компонентов сырья, устранения вредного влияния обогащательного производства на окружающую среду.

## **ТРЕБОВАНИЯ**

### **к выполнению и оформлению лабораторных работ**

Целью лабораторных работ является практическое ознакомление студентов с подготовительными операциями и некоторыми основными процессами обогащения полезных ископаемых, устройством и работой оборудования, а также получение навыков расчета технологических показателей обогащения и оценки комплексности его переработки.

Лабораторные работы выполняются бригадами в составе 3-4 человек. Каждый студент представляет индивидуальный отчет.

Лабораторные работы оформляются систематически, по мере их выполнения. Студенты, не оформившие отчет по предыдущей работе, к дальнейшему выполнению работ не допускаются.

Отчет включает следующие вопросы:

цель работы;

описание установок и эскизы используемой аппаратуры;

методика проведения опытов;

порядок выполнения работы;

расчеты;

результаты опытов, представленные таблицами, графиками или рисунками;

выводы.

Все таблицы, графики и эскизы должны иметь названия и нумерацию. Кривые на графиках нумеруются с расшифровкой в подрисуночных надписях.

Все полученные экспериментальные данные необходимо проанализировать и сформулировать выводы.

При выполнении работы следует строго соблюдать правила техники безопасности и инструкции по работе с аппаратурой.

### **Правила техники безопасности**

#### *Общие положения*

1. Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ только после прохождения инструктажа по охране труда на рабочих местах в лаборатории. Запись о прохождении инструктажа производится в журнале с обязательной подписью студентов и преподавателя, проводившего инструктаж.

2. Прежде, чем приступить к лабораторной работе, необходимо внимательно изучить инструкцию к ней и проверить исправность установки, о замеченных неисправностях немедленно доложить преподавателю или учебному мастеру.

3. Нельзя включать или выключать без разрешения преподавателя или учебного мастера, распределительные щиты и другие приборы и оборудование.

4. Запрещается производить какие-либо исправления или изменения в установках без ведома преподавателя или учебного мастера.

5. Выполнять только ту работу, которая предусмотрена заданием лабораторной работы.

#### *Правила техники безопасности при работе с электроустановками*

1. Не начинать работу, не убедившись в полной исправности установки, шнура и штепсельной вилки.

2. Не производить никаких ремонтов и регулировок приборов, находящихся под напряжением.

3. Включение электроустановки начинать с головного электрораспределительного щита, выключение производить в обратном порядке.

4. Не оставлять без наблюдения установку, находящуюся под напряжением.

5. О любых неисправностях оборудования немедленно сообщать преподавателю или учебному мастеру.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ И ПРОИЗВОДСТВО СИТОВОГО АНАЛИЗА

Целью работы является ознакомление с подготовительным процессом дробления полезных ископаемых; методикой производства ситового анализа для определения гранулометрической характеристики продукта дробления; изучение принципа работы, конструктивных особенностей и регулирования щековой дробилки со сложным качанием щеки.

#### 1.1. Теоретическое введение

Дробление на обогатительных фабриках наряду с измельчением является подготовительной операцией перед обогащением и способствует разрушению монолитных кусков полезного ископаемого и превращению его в механическую смесь зерен рудных и нерудных минералов.

Степень дробления ( $S$ ) – количественная характеристика процесса, рассчитывается по формулам (1.1) и (1.2):

$$S = \frac{D_{\max}}{d_{\max}}; \quad (1.1)$$

$$S = \frac{D_{\text{ср}}}{d_{\text{ср}}}, \quad (1.2)$$

где  $D_{\max}$  и  $d_{\max}$  – диаметры максимального куска материала до и после дробления, мм;

$D_{\text{ср}}$  и  $d_{\text{ср}}$  – средние медианные диаметры кусков до и после дробления, мм.

Контроль работы дробильно-измельчительного оборудования производится при помощи ситового анализа пробы материала и представляет собой рассеив ее на классы крупности (для материалов крупнее 0,04 мм.) с определением их массы путем взвешивания.

По данным ситового анализа рассчитываются частные и суммарные выходы классов в процентах, и строится гранулометрическая характеристика сыпучего материала. По графику определяется средний медианный диаметр зерна ( $d_{\text{ср}}$ ), соответствующий суммарному выходу 50%.

Для крупного дробления руд и горных пород применяются щековые дробилки, в которых материал раздавливается между двумя щеками, из которых одна неподвижная, а другая – подвижная, качающаяся.

#### 1.2. Описание конструкции и принципа действия щековой дробилки со сложным качанием подвижной щеки

Принципиальная схема щековой дробилки со сложным качанием щеки приведена на рис. 1.1.

Рабочая камера в щековой дробилке со сложным качанием подвижной щеки образуется неподвижной 1 и подвижной 2 щеками и двумя боковыми стенками. Подвижная щека 2 подвешена непосредственно на эксцентриковом валу 3, нижняя часть ее шарнирно соединяется с распорной плитой 7, другим концом распорная плита опирается на регулировочное устройство 5. Благодаря такой подвеске, каждая точка поверхности подвижной щеки движется по эллипсойдной линии. За счет такого движения щеки в процессе дробления наблюдается не только раздавливание, но и частичное истирание дробимого материала.

Достоинства дробилки – простота конструкции, малые габариты и малая масса.

#### 1.3. Порядок выполнения работы

Изучить конструкцию лабораторной щековой дробилки со сложным качанием щеки и выполнить эскиз установки.

Взять пробу материала массой 3 кг, крупностью –50+0 мм. Для определения крупности максимального куска отобрать из пробы три наибольших куска и измерить штангенциркулем длину (а), ширину (b) и толщину (с) каждого.

Рассчитать среднее значение  $D$  (мм) для каждого куска

$$D = \frac{a + b + c}{3}. \quad (1.3)$$

Принять за размер максимального куска в пробе ( $D_{max}$ ) среднее арифметическое по трем рассчитанным значениям  $D$ .

Сделать ситовый анализ исходной пробы, рассеивая ее на ситах 40, 20, 10, 5 мм. Данные занести в табл. 1.1.

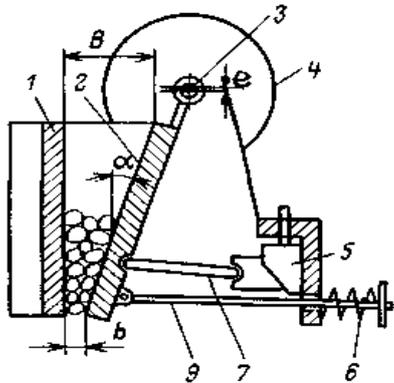


Рис. 1.1. Схема щековой дробилки со сложным качанием щеки:

1 – неподвижная щека; 2 – подвижная щека; 3 – эксцентриковый вал; 4 – маховик; 5 – регулировочные клинья; 6 – пружина; 7 – распорная плита; 9 – тяга;  $e$  – эксцентриситет вала;  $B$  – ширина приемного отверстия;  $b$  – ширина разгрузочного отверстия;  $\alpha$  – угол захвата (не более  $25^\circ$ )

Произвести внешний осмотр дробилки и убедиться в ее исправности. Приготовить приемник дробленой руды и сделать пробный запуск дробилки вхолостую. При помощи пластилинового шарика проверить размер разгрузочной щели дробилки. Вращением регулировочного винта изменить положение нижней части подвижной щеки и провести дробление в три приема при различных величинах разгрузочной щели  $i_1, i_2, i_3$  (назначается преподавателем).

Включить дробилку. Равномерно загружая куски материала с лотка в пасть дробилки, пропустить пробу руды при установленной щели  $i$ , измеряя секундомером чистое время дробления  $t$ , мин.

Сделать ситовый анализ продукта дробления. Для этого произвести рассев дробленого продукта на ситах 40, 20, 10 и 5 мм. Данные занести в табл. 1.1. Из самого крупного класса отобрать три наибольших куска и определить размер  $d_{max}$  по методике, приведенной выше.

#### 1.4. Обработка и оформление результатов

Определить производительность дробилки  $Q$  (кг/ч), зная время дробления  $t$  (мин.) и массу пробы материала  $G$  (кг):

$$Q = \frac{G}{t} \cdot 60. \quad (1.4)$$

По данным выполненных ситовых анализов рассчитать частные и суммарные выходы классов крупности, заполнить табл. 1.1 и 1.2. Построить гранулометрические характеристики исходной руды, дробленых продуктов и определить средний медианный диаметр зерна ( $d_{cp}$ ).

Таблица 1.1

Результаты ситового анализа исходной руды  
и дробленого продукта

Класс крупност и, мм	Исходная руда			Дробленый продукт при $i_1=$		
	частный выход		суммарный выход (сверху), %	частный выход		суммарны й выход (сверху), %
	кг	%		кг	%	
+40						
-40+20						
-20+10						
-10+5						
-5+0						
Всего:		100			100	

Таблица 1.2

Результаты ситового анализа дробленых продуктов

Класс крупност и, мм	Дробленый продукт при $i_2=$			Дробленый продукт при $i_3=$		
	частный выход		суммарный выход (сверху), %	частный выход		суммарны й выход (сверху), %
	кг	%		кг	%	
+40						
-40+20						
-20+10						
-10+5						
-5+0						
Всего:		100			100	

Рассчитать степень дробления по формулам (1.1), (1.2) и сопоставить эти величины.  
Результаты опыта дробления занести в табл. 1.3.

## Результаты опытов дробления

Масса пробы, кг	Размер разгрузочной щели, мм	Крупность максимального куска, мм		Крупность среднее медианных кусков, мм		Время дробления, мин	Степень дробления по уравнению		Производительность дробилки Q, кг/ч
		до дробления $D_{\max}$	после дробления $d_{\max}$	до дробления $D_{\text{ср}}$	после дробления $d_{\text{ср}}$		(1.1)	(1.2)	

Сделать выводы по работе.

## 1.5. Необходимые материалы и оборудование

Щековая дробилка со сложным качанием щеки.

Навеска руды 3 -5 кг крупностью –50 (70) мм.

Пластилиновый шарик для замера разгрузочной щели.

Весы технические с разновесом.

Секундомер.

Штангенциркуль.

Набор сит для ручного отсева.

## 1.6. Вопросы для самопроверки

1. Что такое степень дробления?
2. Назвать факторы, влияющие на производительность дробилки.
3. Как регулируется разгрузочная щель в щековых дробилках?
4. Дать определение понятия «модуль шкалы сит».
5. Как построить характеристики крупности по классам крупности и суммарному выходу по плюсу, по минусу?
6. По суммарной характеристике крупности определить выход заданного класса крупности.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ГИРАЦИОННОГО ГРОХОТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРОХОЧЕНИЯ

Целью работы является ознакомление с процессом грохочения полезных ископаемых; конструктивными особенностями, принципом работы гирационного грохота, методикой определения и расчета эффективности грохочения.

#### 2.1. Теоретическое введение

Грохочение – процесс разделения сыпучих материалов на классы крупности в производственных условиях. Грохот имеет одну или несколько рабочих (просеивающих) поверхностей – сит, установленных в одном или нескольких коробах, совершающих качательные или встряхивающие движения. Параметрами механического режима работы грохота являются: амплитуда «г» (полуразмах, мм) колебаний короба и скорость вращения рабочего вала  $n$  (об/мин), определяющая частоту этих колебаний.

Для количественной оценки полноты выделения из исходной руды мелкого материала при грохочении введено понятие «эффективность грохочения».

Эффективностью грохочения называется выраженное в процентах или в долях единицы отношение массы подрешетного продукта к массе такого же по крупности продукта в исходном материале.

Эффективность грохочения  $E$  (%) может быть определена по одному из уравнений:

$$E = \frac{T}{Q} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot 10^4, \quad (2.1)$$

$$E = \frac{\alpha - \theta}{(100 - \theta) \cdot \alpha} \cdot 10^4, \quad (2.2)$$

где  $\alpha$  - массовая доля мелкого класса (менее размера отверстий сита грохота) в исходном продукте (определяется из гранулометрической характеристики исходной руды), %;

$\theta$  - массовая доля такого же по крупности класса в надрешетном продукте (определяется из гранулометрической характеристики надрешетного продукта), %;

$Q$  - масса исходного продукта, кг;

$T$  - масса подрешетного продукта, кг.

На эффективность грохочения влияют амплитуда и частота колебаний короба грохота, гранулометрическая характеристика исходного продукта, его влажность и другие факторы. При увеличении амплитуды и частоты колебаний увеличивается число контактов зерен с просеивающей поверхностью, улучшаются условия самоочистки сита от зерен материала, в результате чего увеличиваются производительность и эффективность грохочения. В данной работе предлагается определить эффективность грохочения при одной заданной частоте колебаний вала грохота (частота колебаний назначается преподавателем).

#### 2.2. Описание конструкции и принципа работы гирационного грохота

Принципиальная схема полувибрационного (гирационного) наклонного грохота с эксцентриковым приводом показана на рис. 2.1.

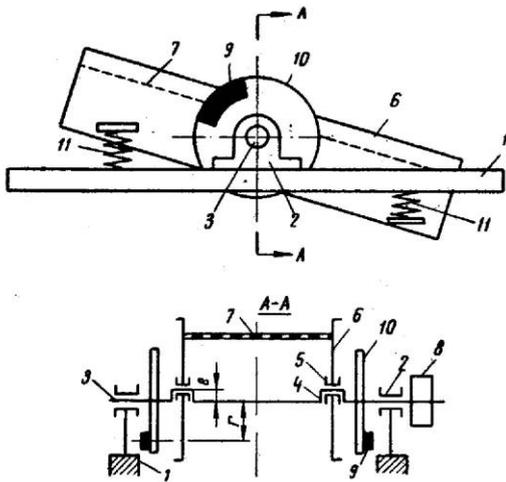


Рис. 2.1. Общий вид (а) и кинематическая схема (б) гириционного грохота

На неподвижной раме 1 в подшипниках качения 2 горизонтально установлен вал 3, имеющий две эксцентриковые заточки 4. На заточки насажены подшипники 5, наружная обойма которых укреплена в коробе 6. Короб с натянутым на нем ситом 7 устанавливается наклонно под углом от 10 до 30° к горизонту путем поворота относительно оси вала и удерживания в таком положении при помощи эластичных связей - амортизаторов 11.

Вращение эксцентриковому валу передается от электродвигателя через гибкую передачу на шкив 8. Короб в центральной своей части совершает при этом круговые движения с радиусом, равным эксцентриситету вала ( $e$ ). Крайние точки короба в загрузочной и разгрузочной частях совершают движение по замкнутым овальным кривым, форма которых определяется жесткостью и местом расположения амортизаторов 11.

При движении короба грохота по круговой траектории с радиусом  $e$  возникает центробежная сила. Эта переменная по направлению радиальная, центробежная сила через подшипники передается на неподвижную раму грохота и могла бы вызвать колебания опорных конструкций. Для уравновешивания этой силы на валу закрепляются два маховика 10 с неуравновешенными грузами 9.

### 2.3. Порядок выполнения работы и оформление результатов

Изучить конструкцию грохота, выполнить общий эскиз установки.

Отобрать пробу руды массой 3 кг и хорошо ее перемешать. Методом вычерпывания из пробы отобрать навеску массой 300 г и выполнить ситовый анализ на наборе сит: 10, 7, 5, 3, 2, 1 и 0,5 мм с помощью механического встряхивателя. Данные занести в табл. 2.1.

По данным анализа построить гранулометрическую характеристику исходной руды.

Пробу загрузить в бункер грохота, предварительно закрыв шибером разгрузочное отверстие бункера. Установить заданное напряжение на ЛАТРе. Затем открыть разгрузочную щель бункера и произвести грохочение, одновременно измеряя секундомером время грохочения до полного схода материала с просеивающей поверхности. Определить массы полученных продуктов грохочения. Провести следующий опыт при другом напряжении на ЛАТРе. Замерить размер отверстий сита грохота и его площадь.

Для определения эффективности грохочения по формуле (2.1) взвесить подрешетный продукт ( $T$ , кг), а по гранулометрической характеристике исходной руды определить массовую долю в ней отсеваемого класса ( $\alpha$ , %). Размер отсеваемого мелкого класса определяется размером отверстий сита грохота.

Отобрать из надрешетного продукта методом вычерпывания пробу массой 300 г и выполнить ситовый анализ на том же наборе сит. Построить гранулометрические характеристики надрешетных продуктов, по которым определить содержание мелкого класса в надрешетном продукте грохота  $\theta$ , %. Данные занести в табл. 2.2.

Таблица 2.1

## Результаты ситового анализа исходной руды

Класс крупности, мм	Исходная руда		
	частный выход		суммарный выход по плюсу, %
	кг	%	
+10			
-10 +7			
-7 +5			
-5 +3			
-3 +2			
-2 +1			
-1 +0,5			
-0,5 +0			
Итого:		100	

Таблица 2.2

## Результаты ситового анализа надрешетных продуктов

Класс крупности, мм	Надрешетный продукт при $u_1=$		Надрешетный продукт при $u_2=$			
	частный выход		суммарный выход по плюсу, %	частный выход		суммарный выход по плюсу, %
	кг	%		кг	%	
+10						
-10 +7						
-7 +5						
-5 +3						
-3 +2						
-2 +1						
-1 +0,5						
-0,5 +0						
Итого:		100		100		

Рассчитать эффективность грохочения по формуле (2.2).

Общая  $Q$  (кг/ч) и удельная  $q$  (кг/м<sup>3</sup>ч) производительности грохота определяются по формулам:

$$Q = \frac{G}{t} \cdot 60 \quad (2.3)$$

$$q = \frac{Q}{S}, \quad (2.4)$$

где  $Q$  - масса исходной навески, кг;

$t$  - время грохочения, ч;

$S$  - площадь сита грохота, м<sup>3</sup>.

Полученные результаты свести в табл. 2.3.

Экспериментальные данные по грохочению пробы руды

Напряжение $u$ , В	Время грохочения, мин	Масса продуктов, кг			Производительность		Эффективность грохочения $E$ , %	
		исходного, $Q$	подрешетного, $T$	надрешетного, $P$	общая, кг/ч	удельная, кг/м <sup>2</sup> ч	по формуле 2.1	по формуле 2.2

Сделать выводы по работе.

#### 2.4. Необходимые материалы и оборудование

Руда крупностью -10 мм.

Грохот гирационный.

Весы технические.

Штангенциркуль.

Секундомер.

Набор сит.

#### 2.5. Вопросы для самопроверки

1. Что такое эффективность грохочения?
2. Назовите факторы, влияющие на эффективность грохочения и производительность грохота.
3. Укажите назначение операций грохочения в технологии переработки руд.
4. Укажите, какие зерна – крупные или мелкие, преобладают в исходной руде и в надрешетном продукте?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

#### ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУД В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Целью работы является ознакомление с подготовительным процессом измельчения полезных ископаемых в лабораторной шаровой мельнице, методикой выполнения мокросухого ситового анализа и определение удельной производительности мельницы.

##### 3.1. Теоретическое введение

Измельчение является подготовительным процессом при обогащении и гидromеталлургической обработке руд. В процессе измельчения происходит не только уменьшение размеров руды, но и высвобождение зерен, раскрытие сростков ценных минералов друг с другом и с сопутствующими минералами. После измельчения руда выходит крупностью 0,1-0,05 мм.

Для измельчения руд наибольшее применение получили барабанные, центробежные, вибрационные и струйные мельницы. В зависимости от вида измельчающей среды различают мельницы: стержневые, шаровые, рудного самоизмельчения и галечные.

Размеры и тип мельницы характеризуются внутренним диаметром  $D$  барабана (при снятой футеровке), рабочей длиной  $L$  и способом разгрузки продукта из барабана (через решетку и с

центральной разгрузкой). Стержневые и шаровые мельницы с разгрузкой через решетку применяются в первых стадиях измельчения, а шаровые с центральной разгрузкой – для получения окончательного тонкого помола (рис. 3.1).

Дробленая руда подается конвейером в рудные мельницы, установленные в первой стадии измельчения. Оптимальный максимальный кусок для стержневой мельницы равен 15-16 мм, а для шаровой – 10-12 мм. Измельчение производится стержнями и шарами, которые занимают объем, несколько меньший половины объема барабана. Вращение мельницы осуществляется электромотором через редуктор и венцовую шестерню. Мельницы, работающие во второй и третьей стадиях измельчения, питаются песками классификатора или гидроциклона.

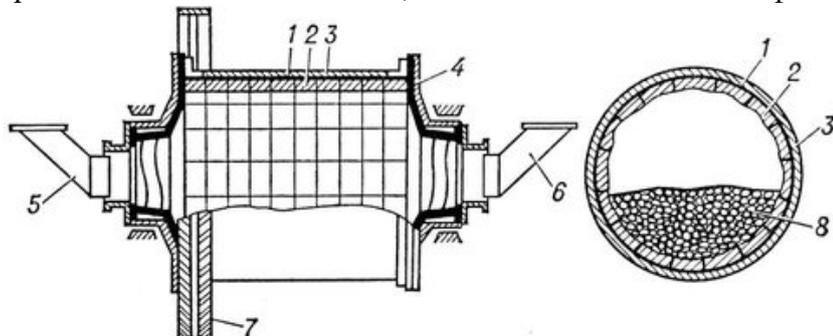


Рис. 3.1. Схема барабанно-шаровой мельницы:

1 – барабан; 2 – броневые плиты; 3 – изоляция (от шума и тепловая); 4 – торцовый фланец мельницы; 5 – входной патрубок; 6 – выходной патрубок; 7 – ведомая шестерня; 8 – шары

Основными факторами, влияющими на производительность мельницы, являются:

характер исходной руды по измельчаемости (твердость, плотность и пр.);

крупность исходной руды и измельченного продукта;

конструктивные особенности мельниц;

степень заполнения мельницы дробящими телами;

разжижение пульпы (отношение Ж:Т в пульпе при мокром измельчении);

крупность шаров шаровой загрузкой;

величина циркулирующей нагрузки при работе мельницы в замкнутом цикле с классифицирующими аппаратами (механические классификаторы, гидроциклоны).

Эффективность измельчения материала в мельницах определяется:

скоростью вращения барабана,

физическими характеристиками материала и пульпы,

способом соединения мельницы в схеме «измельчение-классификация».

Работу барабанных мельниц оценивают по удельной производительности по вновь образованному (готовому или расчетному) классу крупности (обычно – 0,074 мм). Удельная производительность по расчетному классу крупности показывает массу полученного расчетного класса крупности на единицу объема мельницы в единицу времени  $g, t/m^3 \cdot ч$ .

### 3.2. Порядок выполнения работы

Для расчета удельной производительности мельницы по готовому классу крупности необходимо определить массовую долю готового (расчетного) класса крупности в исходной руде и в измельченном продукте. В данной работе готовым классом считают продукт крупностью минус 0,25 мм. Для определения массовой доли этого класса в исходной руде и построения ее гранулометрической характеристики выполнить мокросухой ситовый анализ по схеме, приведенной на рис. 3.2. Масса навески 300 г. Пробу засыпают на сито с размером отверстий 0,25 мм и отмывают мелкий класс слабой струей воды. Операция промывки на самом тонком сите позволяет повысить точность анализа, так как при сухом расसेве тончайшие частицы руды прочно удерживаются на поверхности крупных зерен, будут переходить с ними в крупные классы.

Выход класса минус 0,25 мм  $\gamma_6, \%$  (см. рис. 3.2) определяют по разности

$$\gamma_6 = 100 - (\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_5). \quad (3.1)$$

Это есть массовая доля готового класса крупности в исходной руде  $\beta_u^{-0,25}$ .

Результаты мокросухого ситового анализа занести в табл.3.1.

Таблица 3.1

Результаты ситового анализа исходной руды

Размер класса, мм	Частный выход		Суммарный выход по плюсу, %
	г	%	
+3			100,0
-3+2			
-2+1			
-1+0,5			
-0,5+0,25			
-0,25+0			
Всего		100	



Рис. 3.2. Схема мокросухого ситового анализа

Замерить размеры лабораторной мельницы  $D$  и  $L$  и рассчитать массу шаровой нагрузки (кг) по формуле

$$G_u = \varphi V \gamma = \varphi \frac{\pi D^2}{4} L \gamma, \quad (3.2.)$$

где  $V$  - объем мельницы, м<sup>3</sup>;

$D$  - внутренний диаметр мельницы, м;

$L$  - рабочая длина барабана мельницы, м;

$\varphi$  - степень заполнения объема мельницы шарами в долях единицы,  $\varphi = 0,3 - 0,5$  (задается преподавателем);

$\gamma$  - плотность шаровой загрузки, принять равной 4800 кг/м<sup>3</sup>.

Оптимальным для измельчения в лабораторной шаровой мельнице принимают соотношение  $T : Ж : Ш = 1 : 0,5 : 6$ , где  $T$  - масса руды ( $Q$ );  $Ж$  - масса воды ( $W$ );  $Ш$  - масса шаровой загрузки ( $G_u$ ).

Из приведенного соотношения рассчитать навеску руды для измельчения и массу (объем) воды, добавляемой в мельницу.

Провести измельчение навески руды в лабораторной мельнице. Порядок загрузки следующий: в мельницу засыпают шары, затем заливают половину объема воды, засыпают навеску руды и заливают оставшуюся воду. Мельницу закрывают крышкой с замком и ставят на рольганг (валки). Время измельчения задается преподавателем.

По окончании времени измельчения рольганг остановить, снять мельницу. Содержимое мельницы разгрузить на решето с отверстиями 10 мм, установленное на поддоне, чтобы отделить пульпу от шаров. Шары промыть водой. Измельченный продукт из поддона промыть на контрольном сите (0,25 мм) слабой струей воды. Промывку проводят до тех пор, пока промывная вода не станет прозрачной. Остаток на сите (класс плюс 0,25 мм) высушить и выполнить контрольный рассев высушенного продукта на сите 0,25 мм. Класс плюс 0,25 мм взвесить, массу класса минус 0,25 мм в измельченном продукте вычислить по разности. Рассчитать выход класса минус 0,25 мм. Это есть массовая доля готового класса крупности в измельченном конечном продукте  $\beta_k^{-0,25}$ .

### 3.3. Обработка и оформление результатов

Данные эксперимента занести в табл. 3.1 и 3.2.

По результатам ситового анализа (табл. 3.1) построить гранулометрическую характеристику исходной руды  $\sum \gamma = f(d)$

Таблица 3.2

Результаты измельчения руды в шаровой мельнице

Показатели	Данные опыта
Масса исходной навески, кг	
Масса класса +0,25, кг	
Масса класса -0,25, кг	
Массовая доля класса -0,25 мм, ( $\beta_k^{-0,25\text{мм}}$ ), %	
Удельная производительность мельницы по классу -0,25 мм, кг/м <sup>3</sup> ·ч	

По результатам опыта измельчения руды (табл. 3.2) рассчитать удельную производительность шаровой мельницы по вновь образованному классу крупности минус 0,25 мм,  $q$  (кг/м<sup>3</sup>·ч):

$$q = \frac{Q \cdot (\beta_k - \beta_u)}{100 \cdot V \cdot t}, \quad (3.3)$$

где  $Q$  - масса исходной навески, кг;

$V$  - объем мельницы, м<sup>3</sup>;

$t$  - время измельчения, ч;

$\beta_k$  - массовая доля класса -0,25 мм в измельченном продукте, %;

$\beta_u$  - массовая доля класса -0,25 мм в исходной руде, %.

### 3.4. Необходимые материалы и оборудование

Мельница шаровая, лабораторная.

Рольганговый привод.

Весы технические, разновесы.

Мензурка.

Руда крупностью минус 3 мм.

Набор сит для гранулометрического анализа.

### 3.5. Вопросы для самопроверки

1. Для чего используют процесс измельчения при обогащении полезных ископаемых?
2. Перечислите основные виды измельчающей среды.
3. Какие факторы влияют на производительность мельниц?
4. Что показывает удельная производительность мельницы по готовому (расчетному) классу крупности?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ОБОГАЩЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД НА МАГНИТНОМ СЕПАРАТОРЕ

Целью работы является ознакомление с процессом магнитного обогащения полезных ископаемых: конструктивными особенностями, принципом работы электромагнитного сепаратора для обогащения железосодержащих руд; изучение влияния напряженности магнитного поля на технологические показатели обогащения.

#### 4.1. Теоретическое введение

Магнитные методы обогащения основаны на различии в магнитных свойствах разделяемых минералов, главным образом на различии в их магнитной восприимчивости.

По величине удельной магнитной восприимчивости  $\chi$  все минералы условно делятся на следующие группы:

1) сильномагнитные ( $\chi > 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) – магнетит, франклинит, маггемит, титаномагнетит, моноклинный пирротин и др.;

2) слабомагнитные ( $\chi = 1,26 \cdot 10^{-7} - 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) – окислы, гидроокислы железа и марганца, ильменит, вольфрамит, гранат, биотит, гексагональный пирротин и др.;

3) немагнитный ( $\chi < 1,26 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) – кварц, полевошпат, кальцит, касситерит, апатит и др., а также диамагнитные ( $\chi < 0$ ) – цинк, медь, золото, серебро, кремний и другие минералы.

Чем больше различаются минералы по величине магнитной восприимчивости, тем легче осуществить их разделение в магнитном поле. Средой разделения минералов может быть вода или воздух. В соответствии с этим процесс называется мокрой или сухой магнитной сепарацией.

Разделение минералов осуществляется в рабочей зоне магнитных сепараторов (рис. 4.1). Исходный материал при верхней подаче поступает непосредственно на рабочий орган – барабан 2. Магнитные частицы под действием магнитного поля притягиваются к поверхности рабочего органа и выносятся за пределы действия магнитных сил, где разгружаются в приемники для магнитного продукта. Немагнитные частицы скользят под действием центробежных сил и сил тяжести по поверхности рабочего органа, полюсного наконечника, лотка или дну ванны и разгружаются в приемники для немагнитного продукта.

Магнитное поле в рабочей зоне сепаратора создается системами 1 из постоянных магнитов или электромагнитными системами с обмоткой, питаемой постоянным или переменным током, вызывающим соответственно образование постоянного или переменного магнитного поля. В настоящее время наиболее широко используется обогащение в постоянном магнитном поле.

В магнитных сепараторах применяются только неоднородные магнитные поля, поскольку только они позволяют получить направленную магнитную силу притяжения минерального зерна:

$$F_m = \mu_0 \cdot \chi \cdot m \cdot H \cdot \text{grad}H, \quad (4.1)$$

где  $\mu_0$  – магнитная проницаемость среды, равная  $1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$ ;

$m$  – масса зерна, кг;

$\chi$  – удельная магнитная восприимчивость тела,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

$H$  – напряженность магнитного поля, А/м;

gradH - градиент напряженности, А/м<sup>2</sup>.

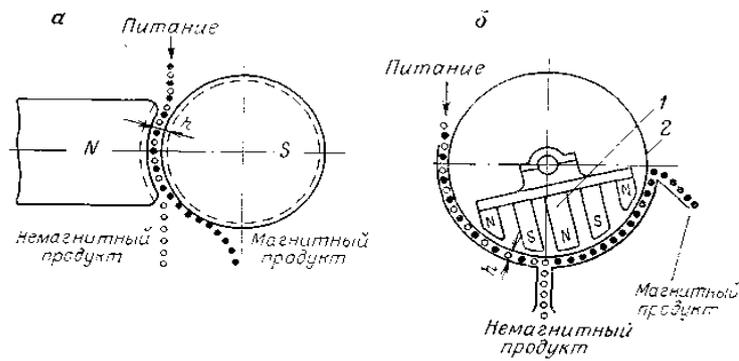


Рис. 4.1. Принципиальные схемы процесса магнитной сепарации с открытой (а) и замкнутой (б) магнитными системами:  
1- магнитная система; 2-барaban; h- рабочая зона сепаратора

Магнитный метод широко применяется для обогащения руд черных металлов, при доводке концентратов редких и цветных металлов, для регенерации магнитных утяжелителей при обогащении в тяжелых суспензиях, удаления магнитных примесей из фосфоритовых руд, кварцевых песков и других материалов.

#### 4.2. Описание работы и конструкции магнитного сепаратора 138Т-СЭМ

Лабораторный электромагнитный однороликовый сепаратор предназначен для сухого разделения минеральных смесей на магнитную и немагнитную фракции. В магнитную фракцию выделяются сильномагнитные и слабомагнитные минералы с удельной магнитной восприимчивостью не ниже  $15 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Крупность исходного материала на более 5 - 7 мм. Схема установки приведена на рис. 4.2. Замкнутая электромагнитная система состоит из катушек 2, насаженных на стальной магнитопровод 1 с двумя полюсными наконечниками 4. Между ними помещен вращающийся индукционный ролик 3 из ферромагнитного материала (стальной), замыкающий цепь магнитопровода. В катушки подается постоянный ток от выпрямителя.

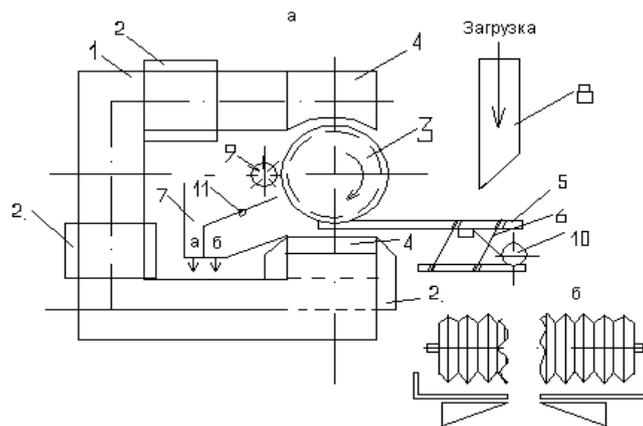


Рис. 4.2. Схема электромагнитного роликового сепаратора 138Т-СЭМ:

а – общая схема; б – схема ролика, лотка и нижнего полюса;

1 – сердечник; 2 – катушка; 3 – зубатый ролик; 4 – полюсный наконечник; 5 – лотковый питатель; 6 – рессора; 7 – приёмники продуктов; 8 – загрузочный бункер; 9 – щетка; 10 – эксцентриковый механизм; 11 – делительная перегородка; блок а – магнитный продукт; блок б – немагнитный продукт

Лотковый питатель 5 состоит из лотка, укрепленного на рессорах 6, и эксцентрикового механизма 10. Руда из бункера 8 поступает на лотковый питатель, по которому она транспортируется в межполюсный зазор. Магнитная фракция притягивается роликом, его

выступами (рис. 4.2, б), выносятся ими из зоны действия магнитных сил и разгружаются в приемник 7а. Немагнитная фракция разгружается с лотка в приемник 7б.

#### 4.3. Порядок выполнения работы и оформление результатов

Ознакомиться с конструкцией сепаратора и его электрической схемой, выполнить эскиз установки.

В работе необходимо изучить влияние напряженности магнитного поля сепаратора на технологические показатели обогащения железной руды. Руда содержит как сильномагнитные (магнетит), так и слабомагнитные минералы железа (гидрогетит, гетит), а также немагнитные минералы породы.

Определение качества исходной руды и концентрата выполняется студентом с помощью ручного магнита, при этом из продуктов извлекается только зерна сильномагнитных минералов железа.

Тщательно перемешать исходную руду. Взвесить навеску руды массой 50 г. и выполнить магнитный анализ с помощью ручного магнита. Рассчитать массовую долю магнитной фракции в исходном продукте  $\alpha$ , %. Поскольку железо представлено сильномагнитным минералом магнетитом, а теоретически возможное содержание железа в минерале магнетите  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  72,4%, то массовая доля железа в продуктах обогащения приближенно может быть найдена по формуле:

$$\alpha = \frac{q_1 \cdot 72,4}{50}, \quad (4.2)$$

где  $q_1$  - масса магнитной фракции в исходном продукте, г.

Объединить магнитную и немагнитную фракции, тщательно перемешать их и использовать для последующего обогащения. Магнитное обогащение проводят на лабораторном сепараторе при различной напряженности магнитного поля. Напряженность поля регулируют, изменяя силу тока в обмотках (показания амперметра выпрямителя):

1 опыт –  $I_1=0,5$  А,  $H_1= 38$  кА/м;

2 опыт –  $I_2=1,0$  А,  $H_2= 56$  кА/м;

3 опыт –  $I_3=1,5$  А,  $H_3= 80$  кА/м.

Установив на амперметре требуемую силу тока, а также приемники для магнитного и немагнитного продуктов, включить привод сепаратора и загрузить навеску руды в бункер. Из бункера руда при помощи шибера тонким слоем подается на лоток и далее в зону сепарации. По окончании опыта отключить сначала питание катушек магнитной системы. При этом сильномагнитные частицы, притянувшиеся к выступам магнитной системы и к делительной перегородке, будут сыпаться в приемник магнитного продукта. Щеточкой очистить полюсные наконечники и делительную перегородку и только после этого отключить привод сепаратора.

При проведении опытов скорость вращения ролика, положение делительной перегородки, производительность сепаратора остаются постоянными.

Взвесить магнитный продукт (концентрат) и определить его выход  $\gamma_k$ , %

$$\gamma_k = \frac{Q_k}{50} 100, \quad (4.3)$$

где  $Q_k$  - масса концентрата, г.

Выполнить магнитный анализ концентрата с помощью ручного магнита и рассчитать массовую долю магнитной фракции  $\beta_k$ , % в нём

$$\beta_k = \frac{q_2 \cdot 72,4}{Q_k}, \quad (4.4)$$

где  $q_2$  - масса магнитной фракции, выделенной из концентрата, г.

Рассчитать извлечение магнитной фракции в концентрат  $\varepsilon_k$ , %:

$$\varepsilon_k = \frac{\gamma_k \cdot \beta_k}{\alpha}, \quad (4.5)$$

Технологические показатели для немагнитного продукта (хвостов) рассчитать по уравнениям баланса:

$$\gamma_{xв} = 100 - \gamma_k ; \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_{xв} = 100 - \varepsilon_k ; \quad (4.7)$$

$$\beta_{xв} = \frac{\varepsilon_{xв} \cdot \alpha}{\gamma_{xв}} ; \quad (4.8)$$

или

$$\beta_{xв} = \frac{100 \cdot \alpha - \gamma_k \cdot \beta_k}{\gamma_{xв}} . \quad (4.9)$$

Результаты опытов занести в табл. 4.1.

Аналогично провести второй и третий опыты, увеличивая силу тока в обмотках сепаратора.

На основании полученных экспериментальных данных построить зависимости выхода концентрата, извлечения и массовой доли магнитной фракции в концентрате от напряженности магнитного поля сепаратора. Сделать выводы по работе.

Таблица 4.1

Технологические показатели обогащения руды  
на сепараторе 138Т-СЭМ

Номер опыта	Ток, А	Напряженность, кА/м	Продукт	Выход		Массовая доля магн. фракции, %	Извлечение магн. фракции, %	Магнитный анализ	
				г	%			продукт	масса, г
1	0,5	38	Концентрат (магнитный продукт)					Магн. фр.	
								Исходный	
			Хвосты (немагнитный продукт)						
				Исходный	50			Магн. фр.	
						Исходный	50		
2	1	56	Концентрат (магнитный продукт)					Магн. фр.	
								Исходный	
			Хвосты (немагнитный продукт)						
				Исходный	50			Магн. фр.	
						Исходный	50		
3	1,5	80	Концентрат (магнитный продукт)					Магн. фр.	
								Исходный	
			Хвосты (немагнитный продукт)						
				Исходный	50			Магн. фр.	
						Исходный	50		

#### 4.4. Необходимые материалы и оборудование

Магнитный сепаратор 138Т-СЭМ.  
Железная руда крупностью -2+0,1 мм.  
Весы.  
Разновесы.  
Ручной магнит.  
Приемники для продуктов разделения.

#### 4.5. Вопросы для самопроверки

1. В чем сущность магнитного метода обогащения?
2. Как необходимо изменить положение делительной перегородки для повышения качества магнитного продукта?
3. Как влияет напряженность магнитного поля на показатели обогащения?
4. Назвать классификацию минералов по магнитным свойствам. Привести пример.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

#### ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД ПО СХЕМЕ ПРЯМОЙ СЕЛЕКТИВНОЙ ФЛОТАЦИИ

Целью работы является ознакомление с флотационным методом обогащения полезных ископаемых, схемой и реагентным режимом флотации сплошных сульфидных медно-цинковых руд, приобретение навыков по выполнению флотационных опытов.

#### 5.1. Теоретическое введение

Флотационный процесс обогащения полезных ископаемых основан на избирательном прилипанию частиц минералов к поверхности раздела двух фаз. При пенной флотации гидрофобные частицы закрепляются на вводимых в пульпу пузырьках воздуха или газа и поднимаются с ними вверх, образуя устойчивую минерализованную пену, а гидрофильные частицы остаются взвешенными в пульпе и образуют камерный продукт.

Степень гидрофобности поверхности минералов оценивают величиной краевого угла смачивания  $\theta$  или  $\cos\theta$  (рис. 5.1).

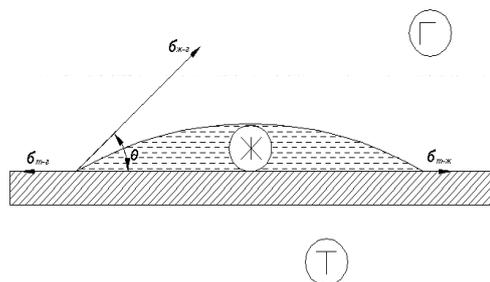


Рис. 5.1. Равновесное состояние капли воды на твердой поверхности:

$\sigma_{т-г}$ ,  $\sigma_{ж-г}$ ,  $\sigma_{т-ж}$  – поверхностное натяжение на разделе фаз – твердое-газ, жидкость-газ, твердое-жидкость

Из равновесного состояния капли воды на твердом теле значение краевого угла смачивания определяется уравнением:

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{m-z}}{\sigma} \quad (5.1)$$

При полном растекании капли жидкости краевой угол равен  $0^\circ$  и  $\cos \Theta = 1$ . В случае абсолютной несмачиваемости минерала водой  $\Theta = 180^\circ$  и  $\cos \Theta = -1$ .

Избирательность и эффективность процесса обеспечивается добавлением в пульпу флотореагентов. В зависимости от назначения флотационные реагенты классифицируются на:

- 1) *собиратели* – органические вещества, избирательно закрепляющиеся на поверхности минералов и повышающие ее гидрофобность;
- 2) *пенообразователи* – поверхностно-активные вещества, адсорбирующиеся на воздушных пузырьках, способствуя их дисперсности и прочности;
- 3) *подавители* – реагенты, которые избирательно увеличивают или создают гидрофильность минерала, препятствуют закреплению собирателя;
- 4) *активаторы* – реагенты, способствующие закреплению собирателя на минерале;
- 5) *регуляторы среды* – регулируют ионный состав пульпы, величину *pH* пульпы, влияют на процессы взаимодействия собирателей, подавителей, активаторов с поверхностью минералов.

Флотация – основной метод обогащения полиметаллических руд цветных металлов, позволяющий извлекать в самостоятельные концентраты ценные минералы из руд.

В работе обогащению подвергается сплошная медно-цинковая руда. Основными минералами являются халькопирит, сфалерит и пирит, содержание которых в руде превышает 80 %.

Обогащение руды производится по схеме прямой селективной флотации (рис. 5.3), заключающейся в последовательном выделении ценных минералов в соответствующие концентраты. В результате обогащения сплошной медно-цинковой руды получают медный и цинковый концентраты и пирит содержащие хвосты.

Прямая селективная схема флотации применяется в случае одинаковой тонкой вкрапленности ценных минералов во вмещающей породе и их тесного взаимного прорастания.

## 5.2. Описание и принцип работы лабораторной механической флотомашины "Механобр"

Лабораторная механическая флотомашина (рис. 5.2) состоит из камеры 1, закрепленной в корпусе 2 при помощи винта 3. В камеру помещен блок, состоящий из статора 4 и импеллера 5. Вращение импеллера осуществляется от электродвигателя 8.

Импеллер, представляющий собой диск с радиально расположенными лопатками, перемешивает пульпу в камере флотомашины и, создавая разрежение в надимпеллерном пространстве, всасывает и диспергирует воздух. Воздух засасывается в камеру из атмосферы через трубку 9. Статор выполняет роль направляющего аппарата, обеспечивая свободный выход пульпы из импеллера и тем самым, увеличивая в 1,5 - 2 раза количество засасываемого воздуха без увеличения мощности двигателя.

Регулирование количества поступающего в камеру воздуха осуществляется краном 6. Разгрузка пенного продукта производится при помощи пеногона 7.

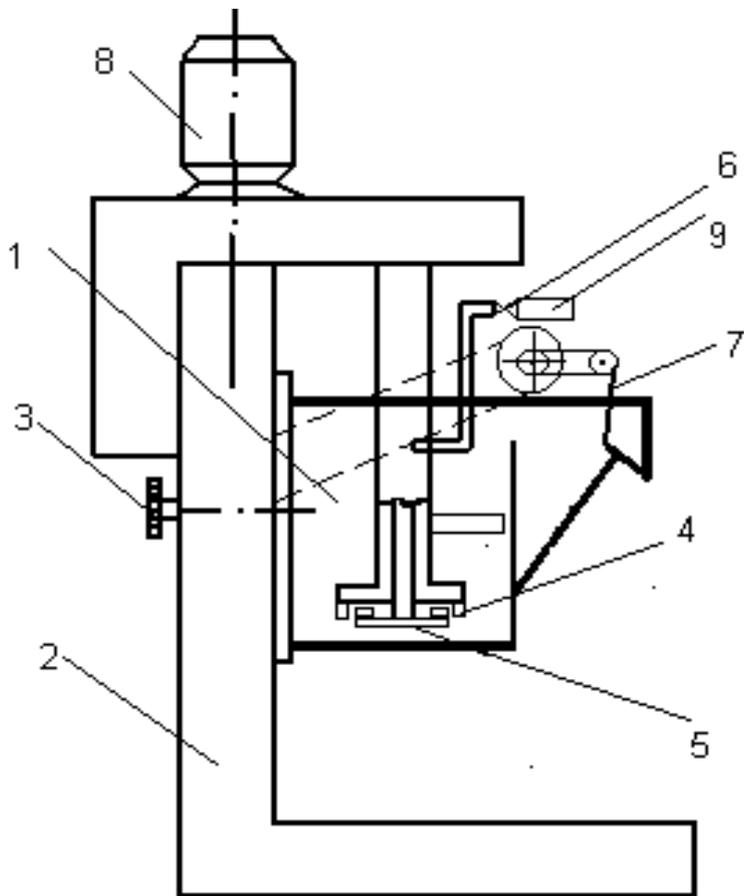


Рис. 5.2. Схема лабораторной механической флотомашины "Механобр":  
1 -камера флотомашины; 2 -корпус; 3 -винт крепления; 4 -статор; 5 - импеллер; 6 -кран; 7 -  
пенгон; 8 –электродвигатель;  
9 – труба для подачи воздуха

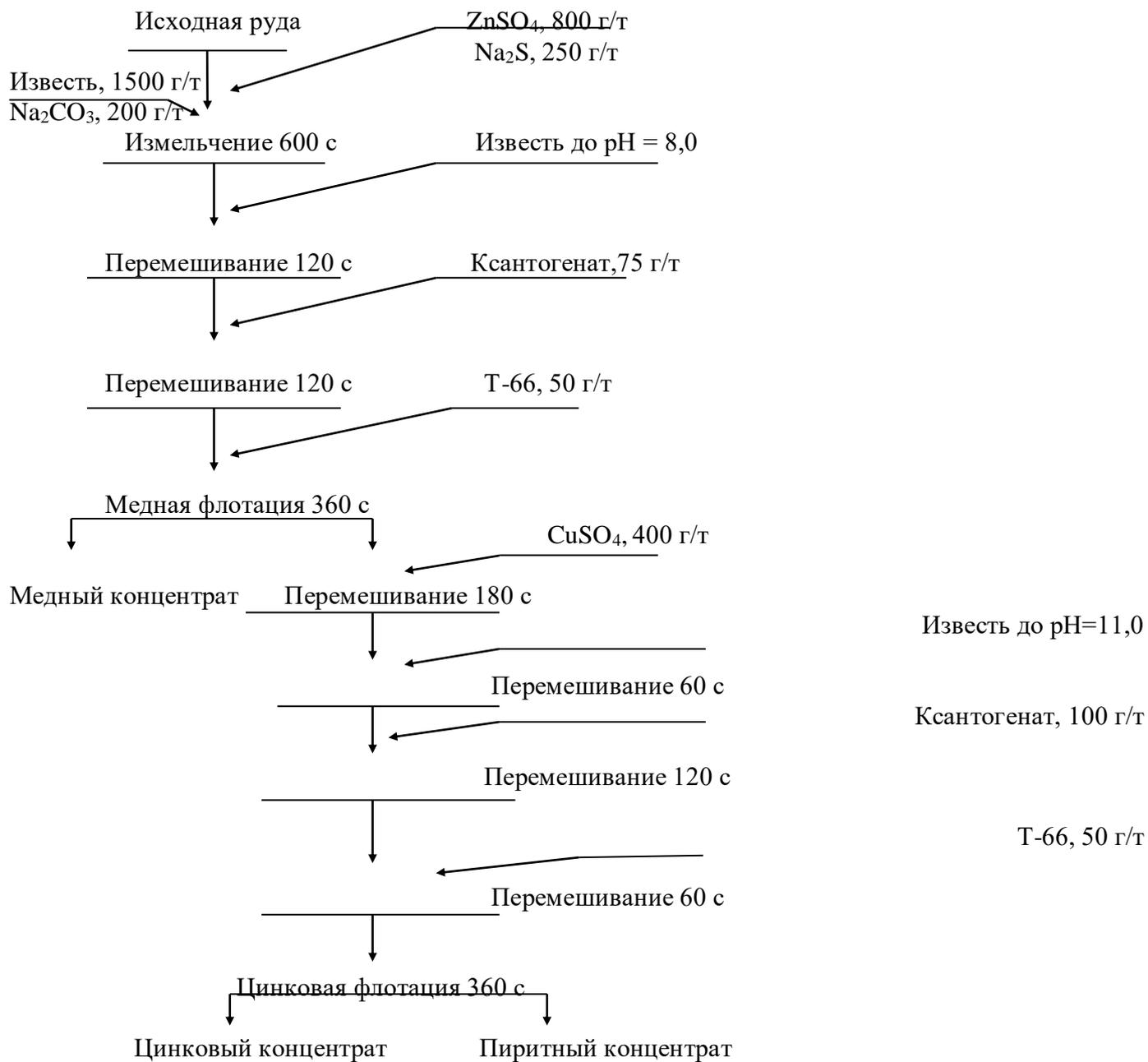


Рис. 5.3. Схема флотации медно-цинковой руды

### 5.3. Порядок выполнения работы

Рассчитать массу навески для приготовления 1 л пульпы с содержанием твердого 27 % при плотности руды 4200 кг/м<sup>3</sup>.

$$Q = \frac{V \cdot \delta}{1 + R \cdot \delta}, \quad (5.2)$$

где Q - масса навески руды, г;

V - объем пульпы, см<sup>3</sup>;

$\delta$  - плотность руды, г/см<sup>3</sup>;

R – разжижение пульпы,  $R = \frac{100 - \rho}{\rho}$ ,

$\rho$  - содержание твердого в пульпе, %.

Рассчитать количество реагентов для флотации данной навески руды по формуле:

$$g = \frac{a \cdot Q}{10^6}, \quad (5.3)$$

где g - масса сухого реагента, г;

a – расход реагента, г/т.

Если реагенты используются в виде растворов, то их масса пересчитывается в мл (см<sup>3</sup>) раствора заданной концентрации по формуле:

$$V = \frac{100 \cdot g}{C}, \quad (5.4)$$

где V - объем раствора заданной концентрации, см<sup>3</sup>;

C - концентрация раствора, %.

Формула 5.4 справедлива для растворов низкой концентрации.

Для маслообразных реагентов, подаваемых с помощью пипетки, масса реагента пересчитывается в число капель:

$$n = \frac{g}{m_k}, \quad (5.5)$$

где  $m_k$  - масса одной капли реагента, г.

Если необходимое количество реагента меньше одной капли, то каплю помещают на фильтровальную бумагу и отрезают необходимую часть капли.

Расходы реагентов приведены на схеме флотации (рис. 5.2). Рассчитанные значения количества реагентов занести в табл. 5.1.

pH раствора определяется при помощи индикаторной бумаги.

Результаты расчета расхода реагентов в опыте

Наименование реагента	Концентрация раствора, %	Расход		
		г/т	г/на навеску	см <sup>3</sup> раствора (число капель)
Измельчение				
Известь	естественная	1500		
Цинковый купорос	5	800		
Сернистый натрий	1	250		
Кальцинированная сода	2	200		
Медная флотация				
Известь	естественная	до pH = 8		
Бутиловый ксантогенат	1	75		
T-66	естественный	50		
Цинковая флотация				
Медный купорос	5	400		
Известь	естественная	до pH=11		
Бутиловый ксантогенат	1	100		
T-66	естественный	50		

Провести флотационный опыт по схеме, приведенной на рис. 5.2. Перед флотацией руду измельчить в лабораторной шаровой мельнице в течение 10 мин. Условия измельчения Т : Ж : Ш = 1 : 0,5 : 6. После измельчения мельницу разгрузить, отделить шары, пульпу перенести в камеру флотомашины. Камеру установить в корпус и включить электродвигатель. Уровень пульпы в камере должен быть на 1 см ниже уровня сливного порога.

Перемешивание пульпы с реагентами производится без доступа воздуха (кран б закрыт) и при выключенном пеногоне.

Во время медной и цинковой флотации пульпа насыщается воздухом (кран б открыт), а пенные продукты снимаются пеногоном в отдельные приемники. Отмечается характер и цвет пены в медной и цинковой фракции

Полученные медный и цинковый концентраты высушить, взвесить, пробы сдать на химический анализ.

#### 5.4. Обработка и оформление результатов

Выполнить эскиз лабораторной механической флотомашины.

Результаты флотационного опыта и данные химического анализа занести в табл. 5.2.

Массу оставшегося в камере пиритного концентрата определить по разности.

Рассчитать показатели обогащения медно-цинковой руды по формулам:

$$\gamma_k = \frac{Q_k}{Q} \cdot 100;$$

$$\varepsilon_{Cu\_k-m}^{Cu} = \frac{\gamma_{Cu\_k-m} \cdot \beta_{Cu\_k-m}^{Cu}}{\alpha^{Cu}}; \quad \varepsilon_{Zn\_k-m}^{Zn} = \frac{\gamma_{Zn\_k-m} \cdot \beta_{Zn\_k-m}^{Zn}}{\alpha^{Zn}};$$

$$\varepsilon_{Zn\_k-m}^{Cu} = \frac{\gamma_{Zn\_k-m} \cdot \beta_{Zn\_k-m}^{Cu}}{\alpha^{Cu}}; \quad \varepsilon_{Cu\_k-m}^{Zn} = \frac{\gamma_{Cu\_k-m} \cdot \beta_{Cu\_k-m}^{Zn}}{\alpha^{Zn}};$$

$$\varepsilon_{Py_{\kappa-m}}^{Cu} = 100 - \varepsilon_{Cu_{\kappa-m}}^{Cu} - \varepsilon_{Zn_{\kappa-m}}^{Cu};$$

$$\varepsilon_{Py_{\kappa-m}}^{Zn} = 100 - \varepsilon_{Cu_{\kappa-m}}^{Zn} - \varepsilon_{Zn_{\kappa-m}}^{Zn};$$

$$\beta_{Py_{\kappa-m}}^{Cu} = \frac{\varepsilon_{Py_{\kappa-m}}^{Cu} \cdot \alpha^{Cu}}{\gamma_{Py_{\kappa-m}}}; \quad \beta_{Py_{\kappa-m}}^{Zn} = \frac{\varepsilon_{Py_{\kappa-m}}^{Zn} \cdot \alpha^{Zn}}{\gamma_{Py_{\kappa-m}}}.$$

Результаты расчетов занести в табл. 5.2 и сделать выводы по работе.

При низких показателях обогащения указать возможные причины и мероприятия, необходимые для повышения показателей флотации.

Таблица 5.2

#### Результаты флотации медно-цинковой руды

Продукты	Выход		Массовая доля		Извлечение, %	
	г	%	Cu	Zn	Cu	Zn
Медный концентрат						
Цинковый концентрат						
Пиритный концентрат						
Исходная руда						

#### 5.5. Необходимые материалы и аппаратура

Флотационная машина "Механобр".

Мельница с шарами.

Кастрюля - 4 шт.

Резиновые груши - 2 шт.

Весы.

Мерные цилиндры.

Реагенты.

Проба сплошной медно-цинковой руды крупностью 2-0 мм.

#### 5.5. Вопросы для самопроверки

1. В чем сущность флотационного метода обогащения? Какова область применения флотации?
2. Каково назначение используемых в опыте реагентов и механизм их действия?
3. Каковы достоинства и недостатки механической флотационной машины?
4. Каковы характерные особенности руд, перерабатываемых по прямой селективной схеме флотации?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА КОНЦЕНТРАЦИОННОМ СТОЛЕ

Целью работы является ознакомление с гравитационным методом обогащения полезных ископаемых на примере обогащения на концентрационном столе, с конструкцией и принципом работы стола, изучение влияния поперечного угла наклона стола на технологические показатели обогащения.

#### 6.1. Теоретическое введение

Концентрация на столах является процессом разделения минеральных частиц по плотности и крупности в тонком слое воды, текущей по наклонной плоской деке, совершающей при помощи привода асимметричные возвратно-поступательные движения в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению движения воды (рис. 6.1).

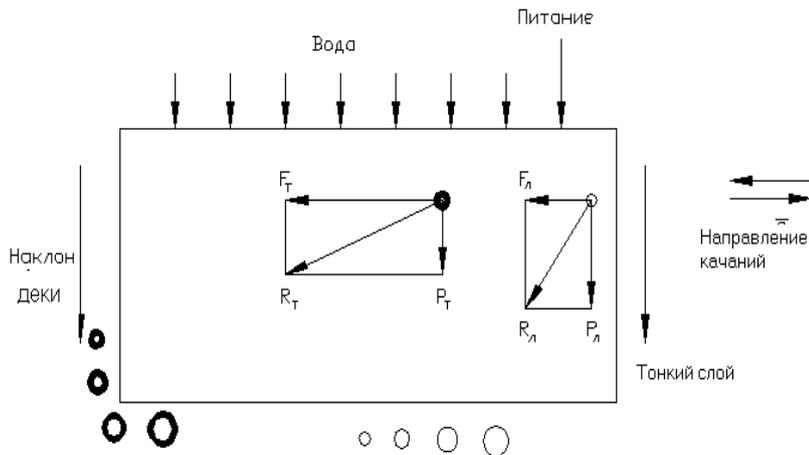


Рис.6.1. Направление движения частиц на гладкой деке концентрационного стола:

$R_T, R_L$  - результирующие движения для тяжелой и легкой частиц;

$F_T, F_L$  - сила инерции для тяжелой и легкой частиц;

$P_T, P_L$  - сила гидродинамического давления потока воды для тяжелой и легкой частиц

При этом на частицу действуют: сила тяжести, сила гидродинамического давления потока воды, сила трения.

Асимметричность возвратно-поступательных движений деки (более быстрый ход деки назад) приводит к появлению значительной инерционной силы, превышающей силу трения зерен о поверхность деки стола, и к движению их вдоль деки. В результате движение зерен, различающихся плотностью и размерами, оказывается неодинаковым: на тяжелые зерна действует большая инерционная составляющая вектора скорости, и они более интенсивно перемещаются в продольном направлении вдоль желобов между рифлями, а крупные легкие зерна, находящиеся сверху, при этом испытывают большее гидродинамическое давление смывного потока воды вниз по уклону стола. В результате материал на деке стола образует веер из частиц различной плотности и крупности. Отдельные полосы этого веера собираются в разные приемники.

Для повышения эффективности разделения минеральных зерен на деке стола используется воздействие рифлей, расположенных поперек потока и обычно параллельно движению деки. Плотность расположения рифлей должна быть достаточной для возмущения потока и способствовать тому, чтобы поток оставался в верхней части слоя более или менее ламинарным и превращался в турбулентный на дне между рифлями (рис.6.2 б). В восходящих струях водного потока происходит взвешивание зерен по глубине потока под действием подъемной силы, т.е. разрыхление частиц в межрифельном пространстве и расслоение их по плотности: в нижнем слое

находятся мелкие тяжелые зерна, над ними крупные тяжелые зерна и мелкие зерна меньшей плотности, в верхнем слое располагаются мелкие и крупные легкие зерна.

Крупность обогащаемых на концентрационных столах руд менее 3 мм, углей менее 10 мм. Основными факторами, влияющими на процесс разделения на столе, являются: угол продольного и поперечного наклона деки стола, амплитуда и частота колебаний, расход смывной воды.

### 6.2. Устройство концентрационного лабораторного стола 30<sup>Б</sup>-КЦ

Концентрационный стол (рис. 6.2,а) состоит из деки 1 с питающим устройством 2 и устройством для распределения воды по деке 3. Дека стола покрыта линолеумом и имеет нарифления высотой 5 мм у загрузочного конца и 0,3 мм с разгрузочной стороны. Дека устанавливается на раме и имеет устройства для регулирования ее поперечного и продольного наклона.

Дека приводится в возвратно-поступательное движение от электродвигателя 5 через приводной механизм 4. Приводной механизм имеет устройство для регулирования амплитуды колебаний.

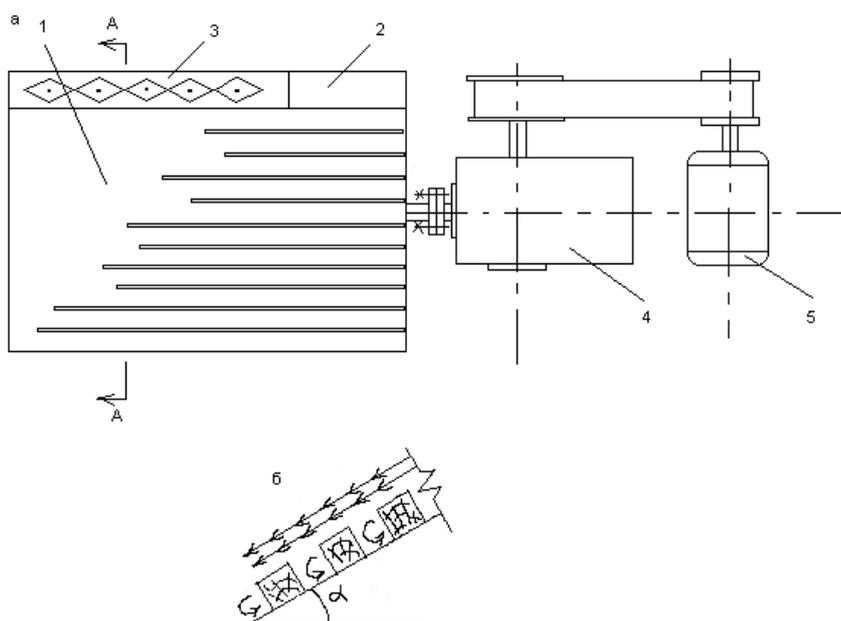


Рис.6.2. Схема лабораторного концентрационного стола 30<sup>Б</sup>-КЦ  
а) вид сверху; б) увеличенное поперечное сечение по А-А:

1 - дека; 2 - загрузочное устройство; 3 - устройство для распределения воды; 4 - приводной механизм; 5 - электродвигатель

### 6.3. Порядок выполнения работы

Изучить конструкцию концентрационного стола и выполнить эскиз установки.

Исходным материалом для проведения опытов является искусственная смесь кварца, угля и магнетита крупностью - 2+0,5 мм.

Навеска руды для проведения одного опыта 1 кг. Проводится три опыта. Переменным фактором является угол наклона деки стола, который принимается равным 4,7 и 10°. Угол наклона определяют транспортиром с отвесом. Частота и амплитуда колебаний стола, угол продольного наклона, расход смывной воды (10 л/мин), производительность остаются постоянными. Расход смывной воды определяется наполнением литровой кружки за определенное время.

Установив требуемый расход смывной воды и угол поперечного наклона деки, включить стол.

Исходную навеску равномерно загрузить в приемное устройство деки стола в течение 5 мин. Стол должен работать пока его поверхность полностью не освободится от материала. Во время работы стола наблюдайте за веером продуктов на столе и установите, в какие приемники

продуктов разгружаются тяжелые зерна магнетита, легкие зерна угля и зерна кварца промежуточной плотности. Отметьте в какую сторону смещается веер продуктов при увеличении поперечного угла наклона деки.

По окончании опыта слить воду из приемников и объединить в одну кастрюлю влажный материал из приемников для тяжелого продукта, во вторую кастрюлю – из приемников для легкого продукта, в третью – из приемников для промпродукта. Влажные продукты высушить, взвесить и сдать на химический анализ.

#### 6.4. Обработка и оформление результатов

Результаты опытов и химического анализа занести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Результаты обогащения смеси минералов  
на концентрационном столе

№ п/п	Продукты	Выход		Массовая доля железа $\beta^{Fe}$ , %	Извлечение железа $\varepsilon^{Fe}$ , %	Угол наклона деки, град.
		г	%			
1	Тяжелая фракция					4
	Промпродукт					
	Легкая фракция					
	Исходный					
2	Тяжелая фракция					7
	Промпродукт					
	Легкая фракция					
	Исходный					
3	Тяжелая фракция					10
	Промпродукт					
	Легкая фракция					
	Исходный					

По уравнениям баланса компонента определить массовую долю железа в исходной руде для каждого опыта:

$$100 \cdot \alpha = \gamma_{m.фр.} \cdot \beta_{m.фр.}^{Fe} + \gamma_{л.фр.} \cdot \beta_{л.фр.}^{Fe} \quad (6.1)$$

Для определения массовой доли железа в продуктах обогащения выполнить магнитный анализ с помощью ручного магнита и рассчитать массовую долю магнитной фракции  $\beta$ , %

$$\beta = \frac{q \cdot 72,4}{Q}, \quad (6.2)$$

где  $q$  - масса магнитной фракции, выделенной из продукта, г,

$Q$  – масса продукта, г.

Рассчитать извлечение железа в продукты обогащения по формулам 4.5 и 4.7.

Построить зависимости выхода тяжелой и легкой фракций, массовой доли и извлечения железа в тяжелую и легкую фракции от угла поперечного наклона деки стола.

Проанализировать полученные данные, сделать вывод об оптимальном угле наклона деки.

#### 6.5. Необходимые материалы и оборудование

Лабораторный концентрационный стол.

Приемники продуктов.

Технические весы и разновесы.

Мерная кружка.

Транспортир с отвесом.

Руда (смесь кварца, угля и магнетита) крупностью  $-2+0,5$  мм.

## 6.6. Вопросы для самопроверки

1. Каков принцип разделения зерен различной плотности на концентрационном столе?
2. Как изменится выход тяжелой фракции при увеличении поперечного угла наклона деки и почему?
3. Какова область применения концентрации на столах?
4. Каковы преимущества и недостатки концентрационных столов?

## Лабораторная работа №7

**Тема:** Изучение конструкций аппаратов, применяемых при фильтрации

**Цель:** Закрепить знания по теме: «Фильтрация», повторить конструкции дисковых и барабанных вакуум-фильтров

### 7.1. Теоретическое введение

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

Процесс фильтрования осуществляется по следующей схеме. Пульпу подают в ванну фильтра, где качающимися гребками частицы твердого поддерживаются во взвешенном состоянии. В зоне *A* секторы барабана находятся под разрежением, поэтому на поверхности фильтроткани откладывается слой осадка. Вода проходит через поры фильтроткани и попадает во внутреннюю полость барабана, откуда отводится через распределительную головку. Зона *B* — зона подсушки осадка. Под действием вакуума через осадок просасывается воздух, вытесняя влагу, содержащуюся в порках. Зона *B* — зона отдувки осадка.

## 7.2. Порядок выполнения работы

1. Выполнить эскиз барабанного вакуум-фильтра с внешней фильтрующей поверхностью, дать описание его устройства и работы.

2. Выполнить эскиз дискового вакуум-фильтра, дать описание его устройства и работы.

## 7.3. Вопросы для самопроверки

1. Что называется фильтрованием?
2. Устройство и принцип действия барабанного вакуум-фильтра?
3. Устройство и принцип действия дискового вакуум-фильтра?

## Лабораторная работа №8

*Изучение схемы измельчения на стационарной установке.*

**Цель работы:** Изучить последовательность движения продуктов в цикле измельчения.

**Оборудование:** Стационарная лабораторная установка, состоящая из конвейера, мельницы, классификатора, щепоуловителя и пульта управления.

### 8.1. Теоретическое введение

Под измельчаемостью материала исходной крупности понимается способность его с большей или меньшей степенью легкости превращаться при измельчении в продукт заданной крупности.

Измельчаемость руды характеризуется удельной производительностью мельницы по вновь образованному расчетному классу крупности  $-0,074$  мм (или по другому размеру расчетного класса).

Барабанные мельницы классифицируются на мельницы с вращающимся барабаном, вибрационные и центробежные.

Шаровая мельница с решеткой (МШР) состоит из барабана *1* с торцевыми крышками *2* и *3*, загрузочной *4* и разгрузочной *5* цапф, опирающихся на подшипники *6* и *7*. Вращение барабана мельниц осуществляется от электродвигателя посредством малой шестерни *9*, насаженной на приводном валу *10*, и зубчатого венца *8*, закрепленного на внешней поверхности барабана. Барабан мельницы изготавливают сварным или клепаным из листовой стали, а торцевые крышки отливают из чугуна или стали. Они соединяются между собой при помощи болтов. Барабан и торцевые крышки для предотвращения от износа футеруются броневыми плитами *10*, которые закрепляются болтами, а внутренняя часть пустотелых цапф — съёмными воронками.

В мельницу загружают стальные или чугунные шары разной крупности (от 40 до 150 мм) примерно на половину ее объема.

Исходный материал загружается в мельницу питателем 9, а пески, возвращающиеся на доизмельчение из классификатора, — при помощи улиткового черпака. Во время вращения барабана мельницы шары, перекатываясь, скользят и падая, измельчают зерна полезного ископаемого. Горловина разгрузочной цапфы имеет несколько больший диаметр, благодаря чему происходит движение пульпы в сторону разгрузки.

У разгружаемого конца мельницы установлена решетка 11. Пространство между этой решеткой и торцевой крышкой 3 разделено радиальными перегородками-лифтерами 12 на секторные камеры, открытые в цапфу. Наличие решетки и секторов камер позволяет осуществлять принудительную разгрузку из мельницы измельченного продукта и поддерживать низкий уровень пульпы в мельнице. При вращении мельницы лифтеры 12 поднимают пульпу до уровня разгрузочной цапфы 5, через которую она удаляется из мельницы.

Шаровые мельницы с решеткой типа МШР выпускают диаметром 0,9—6 м, длиной 0,9—8 м и рабочим объемом барабана 0,45—208 м<sup>3</sup>. Их используют обычно в I стадии для измельчения мелкодробленых (до 30—5 мм) материалов с целью получения равномерного по крупности продукта менее 0,15 мм с небольшим количеством шламов, а мельницы типа ШБМ размером (*DxL*) от 2070x2650 до 3700x8500 мм применяют в основном для измельчения углей на пылевидное топливо в замкнутом цикле с воздушными сепараторами.

## 8.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить последовательность движения продуктов в цикле измельчения. Изучить порядок пуска и остановки оборудования. Составить схему измельчения: технологическую и цепи аппаратов. Выполнить эскиз расстановки оборудования в цехе измельчения. Осуществить запуск оборудования и его остановку.

## 8.3. Вопросы для самопроверки

1. Какие операции входят в цикл измельчения?
2. Какое основное оборудование устанавливается в цехе измельчения?
3. Какое вспомогательное оборудование устанавливается в цехе измельчения?
4. Как осуществляется запуск оборудования в цикле измельчения?
5. Как осуществляется остановка оборудования в цикле измельчения?
6. Почему пуск и остановка осуществляются именно в этом порядке?

## Лабораторная работа №9

Изучение конструкции отсадочной машины. Регулирование работы лабораторной осадочной машины.

Цель работы: . Ознакомление с конструкциями отсадочных машин. Изучение влияния амплитуды пульсаций на показатели отсадки.

### 9.1. Теоретическое введение

К технологическим параметрам отсадки относят: характеристики цикла отсадки; степень разрыхления постели; скорость расслоения материала; амплитуду и частоту пульсации воды. Циклом отсадки называется закономерность вертикального перемещения среды (или решета) в течение одного периода колебаний. Элементами цикла являются подъем, пауза, опускание среды. Графически принято изображать цикл отсадки как зависимость скорости движения среды и зерен во времени.

Различают циклы отсадки *симметричные и асимметричные*.

К симметричным циклам относится гармонический цикл с синусоидальным изменением скорости среды во времени. Все другие циклы являются асимметричными. Частота пульсаций является важной характеристикой отсадки. При низкой частоте пульсаций увеличиваются скорость восходящего потока, амплитуда пульсаций, максимальный подъем постели и повышается степень разрыхления постели. Однако при низкой частоте пульсаций режим становится менее устойчивым и более чувствительным к изменениям загрузки, гранулометрического и фракционного состава исходного материала.

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

Отсадочная машина состоит из двух сообщающихся между собой отделений — отделения концентрации I и отделения пульсации II. В концентрационном отделении укреплено решето 1, на котором разделяются минералы. В отделении пульсаций имеется устройство, сообщающее возвратно-поступательное движение воде, которой заполнена камера машины. Обогащаемое полезное ископаемое попадает на решето вместе с водой, которая транспортирует его вдоль машины, распределяя равномерным слоем, называемым постелью. Постелью 3 называют всю массу материала, сростков и породы, находящуюся на решете.

Через отверстия в решете от привода создаются переменные по скорости и по направлению восходяще-нисходящие потоки воды. В результате многократных воздействий восходяще-нисходящих потоков постель расслаивается: легкие минералы восходящими потоками выносятся в верхние слои, а тяжелые под действием сил тяжести, преодолевая сопротивление среды, концентрируются в нижних слоях постели. За счет продольных потоков транспортной воды постель перемещается вдоль машины к разгрузочному концу решета 2, где происходит послойная разгрузка продуктов обогащения. Мелкие тяжелые зерна разгружаются в камеру машины через решето, более крупные — перемещаются по решету и разгружаются через щель в конце решета, а легкие зерна удаляются вместе со сливом.

Оборудование и материалы: Лабораторная диафрагмовая машина МОД -0,2, -1 шт, весы технические и разновесные -1 комп., Весы торговые и гири

Алюминевые чашки, линейка, совок, кисть, секундомер.

### 9.2. Порядок выполнения работы

1. Осмотреть отсадочную машину, определить основные части и взаимосвязь между собой. Сделать эскиз отсадочной машины. Включить отсадочную машину и проверить ее работу на холостом ходу. При работе машины под нагрузкой уяснить принцип её работы.
2. Изучить регулирование процесса отсадки с помощью различной подачи под решетной воды.
3. Сделать выводы.

### 9.3. Вопросы для самопроверки

1. Что называется отсадкой?
2. Для руды какой крупности проводится отсадка?
3. Какие продукты получают в результате отсадки?
4. Назовите типы отсадочных машин.
5. Какие отсадочные машины применяются в настоящее время наиболее часто?
6. Для каких руд применяется отсадка?
7. Что называется постелью? Виды постели.
8. Что называется сегрегацией?
9. Достоинства и недостатки отсадочных машин.

### Лабораторная работа №10

Тема: Изучение конструкции спирального классификатора. Влияние плотности на крупность слива классификатора..

**Цель работы:** ознакомление с конструкцией одно-спирального классификатора. Изучить влияние плотности на крупность слива классификатора.

**Оборудование, материалы, инструменты:** одно-спиральный классификатор, измерительная линейка.

#### 10.1. Теоретическое введение

Механический спиральный классификатор состоит из наклонного корыта 1, в котором помещены один или два вращающихся вала 2 с насаженными на них спиральями 3. Разделение осуществляется в горизонтальном потоке на крупную фракцию — пески и на мелкую — слив. Исходный материал поступает в нижнюю часть классификатора через приемный карман в боковой стенке корыта ниже зеркала находящейся в нем пульпы. Крупные частицы (пески) оседают на дно корыта и вращающейся спиралью перемещаются в верхнюю часть классификатора к разгрузочному отверстию 4. Тонкие частицы в виде пульпы переливаются через сливной порог 5. Спиральные классификаторы характеризуются простотой устройства и обслуживания, надежностью в работе, высокой *про из води гель ность ю*. Равномерное и спокойное вращение спиралей обеспечивает хорошие условия для классификации материала и выдачи чистого слива повышенной плотности. *Производительность* спиральных классификаторов определяется по двум продуктам: сливу и пескам.

**Литература:** Справочник по обогащению руд «Подготовительные процессы» М.: недра, 1982 г.

#### 10.2 Порядок выполнения работы

1. Изучение конструкции одно-спирального классификатора.

2. Осмотреть классификатор. Включить классификатор, вести наблюдение за работой классификатора. Выключить классификатор. Замерить длину вала и ширину и диаметр спирали. Определить основные части и их взаимосвязь между собой. Ознакомиться с устройством привода вала классификатора и механизмом подъема вала спирали.

3. Изучить по справочной литературе «Влияние плотности слива классификатора на крупность слива».

4. Выписать технические характеристики спиральных классификаторов КСП и КСН.

### 10.3 Вопросы для самопроверки

1. Назовите аппараты, применяемые для гидравлической классификации.
2. Назовите типы классификаторов.
3. Достоинства и недостатки классификаторов.
4. Продукты, получаемые в результате классификации.
5. Как плотность слива влияет на крупность слива?
6. Какое устройство служит для предотвращения от заиливания спирали классификатора?
7. По какому принципу работают классификаторы?
8. Назовите типы классификаторов различных по количеству и виду спирали.
9. Расшифруйте 1 КСП - 24.
10. Что называется гидравлической классификацией?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Т.1. Основы обогащения полезных ископаемых: учеб. для вузов. – М.: Издательство МГГУ, 2001.
2. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование сырья: В 2 т. – М.: МГГУ, 2004. – Т.1.
3. Кармазин В.В. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых: в 2 т. – М.: МГГУ, 2005.
4. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд: учеб. пособие в 2 т. – М.: МГГУ, 2005.
5. Верхотуров М.В. Гравитационные методы обогащения: учеб. для вузов – М.: МАКС Пресс, 2006.