

**Республика Узбекистан  
Навоийский горно-металлургический комбинат  
Навоийский государственный горный институт  
Химико-металлургический факультет  
Кафедра «Металлургия»**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

*Для выполнения лабораторных работ по курсу "Обогащение  
руд" для студентов бакалавриата по направлению 5520400  
«Металлургия»*

**Навои-2010**

Методическое указание для выполнения лабораторных работ по курсу «Обогащение руд»

/ Нав. гос. гор. инс./

Сост: ст. преп. Н.А. Донияров, асс. Саидахмедов А.А., асс.Шерханов Х.Ш.

Методическое указание предназначено для студентов, обучающихся по направлению 5520400 - «Металлургия»

Кафедра «Металлургия»

Печатается по решению научно-методического совета Навоийского государственного горного института 16.12.2009 г. протокол № 2

Рецензенты:

Декан ХМФ НГГИ, к.т.н. Холикулов Д.Б.

Инженер ОМГТП НГМК Макоев Е.И.

## Содержание

1	Определение конечной скорости падения минеральных зерен и изучение влияния формы зерна на коэффициент сопротивления движению зерна в среде	5
2	Изучение процесса разделения смеси минеральных частиц в гидравлическом классификаторе	10
3	Влияние конструктивных факторов на процесс классификации в гидроциклоне	19
4	Изучение процесса отсадки	28
5	Подготовка руд к флотационному обогащению	38

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методическое пособие для выполнения лабораторных работ по предмету «Обогащение руд» предназначен для студентов, обучающихся по направлению 5520400 – «Металлургия», изучающих основные процессы обогащения полезных ископаемых, конструкции и принцип работы и технологические показатели основных оборудований обогатительных фабрик, является учебной дисциплиной.

Согласно учебному плану, по предмету «Обогащение руд» для студентов, обучающихся без отрыва от производства, предусмотрено выполнение лабораторных работ в объеме 18 часов. В связи с этим в руководство включены описания 5 лабораторных работ, содержащих изложение теоретических основ процесса, описание экспериментальной установки, порядка проведения работ и обработка получаемых результатов.

Выполнение нижеследующих лабораторных работ помогает студентам приобрести навыки работ с лабораторным оборудованием и овладеть техникой обработки экспериментальных данных.

Подготовка к выполнению лабораторной работы производится до начала занятий. Допуск к работе осуществляется путем контроля теоретических знаний студента по выполняемой работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### Определение конечной скорости падения минеральных зерен и изучение влияния формы зерна на коэффициент сопротивления движению зерна в среде.

#### I. Цель работы

1. Освоить методику определения конечной скорости свободного падения минеральных зерен.

2. Установить влияние формы минеральных зерен на величину их конечной скорости свободного падения и на коэффициент гидродинамического сопротивления движению зерен в воде  $\psi$  в режиме турбулентного обтекания зерна.

3. Освоить методику определения плотности и эквивалентного диаметра минеральных зерен.

#### II. Теоретическое введение

Наиболее простым движением зерен в среде, изучаемым в процессе гравитационных методов обогащения, является свободное падение.

Под свободным падением в теории гравитационного обогащения понимается движение единичного зерна в поле сил тяжести в покоящейся жидкости безграничного объема. Движение зерна в этих условиях происходит под действием трех сил - силы тяжести зерна  $F_G$ , силы Архимеда  $F_A$  и силы сопротивления движению зерна со стороны жидкости  $F_R$ .

После начала движения зерна относительно среды под действием силы тяжести, скорость движения зерна возрастает. Возрастает и гидродинамическая сила сопротивления движению зерна. Наконец, наступает момент, когда гидродинамическая сила сопротивления становится равной разности силы тяжести и силы Архимеда.

$$F_R = F_G - F_A$$

С этого момента зерно начинает двигаться в установившемся режиме с постоянной скоростью  $v_\infty$ . Эта скорость и называется конечной скоростью свободного падения зерна в среде.

Время, за которое зерно приобретает конечную скорость падения, невелико. Например, для вольфрамита крупностью 1-15 мм это время не превышает 0.5-5 секунд.

Найдем выражение для конечной скорости падения зерна в среде.

Минеральные зерна характеризуются средней плотностью зерна  $\delta$ , эквивалентным диаметром  $d$  и коэффициентом формы  $\phi$ :

$$\delta = \frac{M}{V};$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} V};$$

$$\varphi = \frac{\pi d^2}{S}$$

где  $M$  - масса минерального зерна,  $V$  - его объем,  $S$  - поверхность.

Жидкая среда характеризуется плотностью  $\Delta$  и вязкостью  $\mu$ . Для воды при 20°C плотность равна 1.0 г/см<sup>3</sup>, а вязкость равна 0.01 Пуаз.

Сила сопротивления движению зерна в общем случае может быть определена по формуле

$$F_n = \psi v^2 d^2 \Delta$$

где  $\psi$  - коэффициент сопротивления движению зерна в среде,  $v$  - скорость движения зерна относительно среды. Зависимость коэффициента сопротивления от скорости движения зерна хорошо изучена для зерен сферической формы.

При свободном падении крупных минеральных зерен обтекание зерна жидкостью носит турбулентный характер. При турбулентном режиме обтекания зерна коэффициент сопротивления не зависит от скорости движения и является постоянной, равной для сферических зерен  $\pi/16$ .

Разность сил тяжести и Архимеда, действующие на зерно:

$$F_G - F_A = \pi \frac{d^3}{6} (\delta - \Delta) \cdot g$$

где  $g$  - гравитационное ускорение.

Таким образом, выражение для конечной скорости свободного падения зерна:

$$v_{\infty} = \sqrt{\frac{1}{\psi} \cdot \frac{\pi}{6} \cdot \frac{(\delta - \Delta)}{\Delta} \cdot g \cdot d}$$

Зерна одного и того же минерала, имеющие одинаковый эквивалентный диаметр, но разную форму (округлую, пластинчатую, игольчатую, окатанную, угловатую и др.), испытывают при движении различное по величине сопротивление жидкости. В итоге конечная скорость свободного падения зерен различной формы оказывается неодинаковой. Многообразие форм реальных зерен обуславливает необходимость введения поправок к расчету конечной скорости свободного падения, определяемых экспериментально.

Коэффициент сопротивления  $\psi$  при фиксированных значениях эквивалентного диаметра и плотности зерна имеет минимальное значение для зерен сферической формы. При отклонении формы зерна от сферической скорость свободного падения будет уменьшаться, следовательно, коэффициент сопротивления будет увеличиваться.

### III. Описание установки и материалов

Каждая бригада из 2-х - 3-х студентов получает 3 минеральных зерна, отличающихся по плотности и форме. Минеральные зерна - достаточно крупные, что гарантирует турбулентность

режима их обтекания при свободном падении в воде.

Определение плотности и эквивалентного диаметра зерен производится с помощью мерного цилиндра с ценой деления 0.1 см и технических весов с разновесами (с погрешностью 0.01 г).

Определение конечных скоростей свободного падения зерен производится в прозрачной плексигласовой трубке диаметром 4 см. Трубка имеет две метки, расстояние между которыми  $H=200$  см. Верхняя метка находится на некотором расстоянии (не менее 10-15 см) от верхнего среза трубки. Это необходимо для того, чтобы в момент прохождения уровня верхней метки зерно достигло бы постоянной скорости падения в воде.

#### IV. Порядок проведения работы и указания по мерам безопасности

1. Определить форму зерен, записать в табл. 1.1 и зарисовать зерна.
2. Определить массу и объем зерен.

Каждое минеральное зерно взвешивается на технических весах, масса зерна  $M$  заносится в табл. 1.1.

Таблица 1.1 Результаты измерений

№	Наименование минерала	Форма зерен	$M$ , г	$V_1$ , см <sup>3</sup>	$V_2$ , см <sup>3</sup>	$t^1$ , с	$t^2$ , с	$t^3$ , с

Для определения объема каждого зерна мерный цилиндр заполняется водой на 3-5 мл, в табл. 1.1 заносится объем воды  $V_1$ . Наклонив цилиндр так, чтобы вода не вылилась, помещают зерно в воду, дав ему соскользнуть по стенке цилиндра. Опуская частицу в цилиндр с водой, следует легкими постукиваниями по стенкам удалить пузырьки воздуха с поверхности зерна. В табл. 1.1 заносят суммарный объем воды и зерна  $V_2$ .

3. Определить время прохождения зернами заданного расстояния при их свободном падении в воде.

Стеклопаянная трубка полностью заполняется водой. Затем в нее свободно опускается исследуемое зерно. С помощью секундомера, с точностью до 0,1 с фиксируется время, в течение которого зерно проходит путь между метками.

Определение производится последовательно для всех трех зерен. Затем зерна извлекаются из трубки, для чего вынимают пробку, закрывающую трубку снизу. Чтобы при этом вся вода из трубки не вылилась, верхнее отверстие трубки закрывают ладонью.

После того, как зерна извлечены из трубки, трубку доливают водой и опять производят определение времени падений между метками для всех трех зерен. Затем всю процедуру повторяют еще раз, чтобы для каждой зерна было сделано по три измерения времени падения

$t^1, t^2, t^3$ . Все результаты заносятся в таблицу 1.1.

4. Провести обработку результатов эксперимента.

5. На основании результатов работы сделать вывод о влиянии формы минеральных зерен на величину конечной скорости свободного их падения и коэффициента гидродинамического сопротивления движению зерна в воде.

6. При выполнении работы соблюдать общие меры безопасности работы в лаборатории обогащения полезных ископаемых.

## V. Обработка результатов измерений

Для каждого зерна провести расчеты следующих величин:

объем зерна

$$V = V_2 - V_1$$

плотность

$$\delta = \frac{M}{V};$$

эквивалентный диаметр

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}$$

среднее по трем измерениям время прохождения зерном расстояния между метками испытательной трубки

$$t = \frac{t^1 + t^2 + t^3}{3};$$

конечная скорость свободного падения зерна в среде

$$v_{\infty} = \frac{H}{t};$$

коэффициент сопротивления

$$\psi = \frac{d}{v_{\infty}^2} \cdot \frac{\pi}{6} \cdot \frac{(\delta - \Delta)}{\Delta} \cdot g$$

Результаты расчетов заносят в таблицу 1.2.

Таблица 1.2. Основные экспериментальные и расчетные результаты работы

№ п/п	Наименование минерала	$\delta$ , г/см <sup>3</sup>	$d$ , см	$t$ , с	$v$ , см/с	$\psi$

## **VII. Рекомендуемая литература**

- 1.Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. М., Недра, 1991.
- 2.Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. М., Недра, 1981.

## **VIII. Контрольные вопросы**

- 1.Как зависят от крупности зерен сила сопротивления жидкости при движении в ней минеральных зерен, а также величина конечной скорости свободного падения зерен?
- 2.Как рассчитать конечную скорость свободного падения зерен в среде?
- 3.В чем различие траектории движения зерен с конечной скоростью падения при турбулентном и ламинарном характере обтекания?
- 4.В чем может проявляться стесненность движения зерен в проведенных опытах?
- 5.Что характеризует коэффициент формы зерен, как он определяется?
- 6.Как зависит конечная скорость свободного падения зерен и коэффициент гидродинамического сопротивления движению от формы зерен?
- 7.Каковы путь и время достижения зерном конечной скорости свободного падения?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

### **Изучение процесса разделения смеси минеральных частиц в гидравлическом классификаторе**

#### **I. Цель работы**

- 1.Изучить конструкцию вертикального классификатора и освоить методику проведения лабораторных опытов по гидравлической классификации минерального сырья.
- 2.Исследовать состав продуктов, образующихся при разделении минеральной смеси в гидравлическом классификаторе с различной скоростью восходящего потока.

#### **II. Теоретическое введение**

Гидравлическая классификация - это процесс разделения смеси минеральных зерен по конечным скоростям их падения в воде. Обычно она осуществляется в восходящем или горизонтальном потоке воды.

Гидравлическая классификация применяется в качестве:

- подготовительного процесса для разделения на классы перед гравитационным обогащением
- вспомогательного процесса для разделение на крупный и мелкий продукты в циклах

измельчения

- основного процесса для разделения на обогащенный и обедненный ценным компонентом продукты.

Принципиальная схема лабораторного трубчатого гидравлического классификатора с выходящим потоком воды приведена на рис. 2.1.

Питание, представляющее собой смесь минеральных зерен различной крупности и плотности, подается в среднюю часть классификационной трубы. В классификационной трубе вертикально вверх с заданной постоянной скоростью движется вода. Вода подается в нижнюю часть классификатора через вортекс. Вортекс обеспечивает равномерность скорости восходящего потока на входе классификационной трубы и возможность разгрузки песков.

Минеральные частицы, у которых конечная скорость падения в воде больше скорости восходящего потока воды, перемещаются вниз по классификационной трубе и разгружаются в пески. Зерна, у которых конечная скорость падения в воде меньше скорости воды, выносятся потоком воды вверх и разгружаются в слив.

Если питание, поступающее в гидравлическую классификацию, состоит из зерен разной крупности, но одинаковой плотности, то разделение в гидравлическом классификаторе будет осуществляться только по крупности. Если питание будет состоять из зерен одинаковой крупности, но разной плотности, то разделение будет идти исключительно по плотности: более плотные зерна пойдут в пески, а менее плотные - в слив.

В реальном материале зерна и легкого, и тяжелого минералов обычно представлены в широком диапазоне крупности, практически одинаковом для частиц всех минералов.

Как известно, конечная скорость падения минеральных зерен определяется как плотностью, так и крупностью, поэтому в минеральной смеси широкого диапазона крупности всегда найдутся зерна минералов разной плотности, но имеющие одинаковую конечную скорость падения. Такие зерна называются равнопадающими.

Из двух равнопадающих зерен зерно легкого минерала всегда крупнее, чем зерно тяжелого. Отношение эквивалентных диаметров легкого и тяжелого равнопадающих зерен называется коэффициентом равнопадаемости:

$$e = \frac{d_{л}}{d_{т}} ;$$

где  $d_{л}$  и  $d_{т}$  - эквивалентные диаметры равнопадающих зерен соответственно легкого и тяжелого минералов.

Коэффициент равнопадаемости уменьшается с уменьшением размера частиц, поэтому мелкие частицы труднее поддаются разделению по плотности.

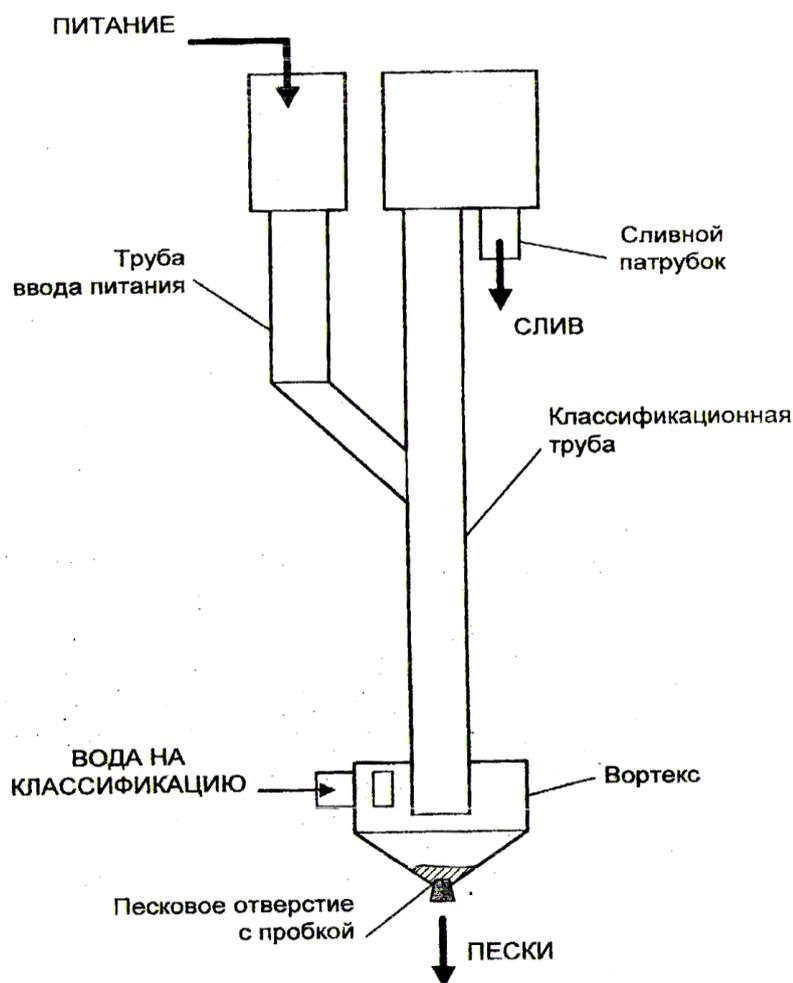


Рис. 2.1. Принципиальная схема лабораторного трубчатого классификатора.

### III. Описание установки и материалов

Каждая бригада из 3-х - 4-х студентов получает навески легкого минерала (как правило, кварца плотностью  $\delta_l = 2.65 \text{ г/см}^3$ ), и тяжелого минерала (гематита, ильменита, галенита и т.п.). Минералы имеют крупность от  $d_{min} = 1 \div 1.5 \text{ мм}$  до  $d_{max} = 2 \div 3 \text{ мм}$ .

Минеральные зерна достаточно крупные, поэтому режим их обтекания при свободном падении в воде можно считать турбулентным.

Определение масс и объемов продуктов производится с помощью технических весов с разновесами (с погрешностью 0.01 г), а также мерного цилиндра емкостью не менее  $200 \text{ см}^3$  с ценой деления  $0.1 \text{ см}^3$ .

Классификация материала проводится в лабораторном вертикальном трубчатом классификаторе. Рабочая зона классификатора представляет собой прозрачную цилиндрическую трубку с внутренним диаметром  $D = 2.8 \text{ см}$ . Загрузка материала производится по боковой питающей трубе в среднюю часть рабочей зоны классификатора. Слив

классификации разгружаются непрерывно, пески - периодически. Вода в рабочую зону подается снизу через вортекс. Скорость восходящего потока воды в рабочей зоне регулируется расходом подаваемой воды в классификатор. Расход воды измеряется ротаметром.

#### IV. Порядок проведения работы и указания по мерам безопасности

1. Ознакомиться с конструкцией лабораторного трубчатого гидравлического классификатора и начертить его эскиз.

2. Определить плотность тяжелого минерала.

Для этого взять небольшое (10-20 г) количество сухого тяжелого минерала. Пользуясь мерным цилиндром и техническими весами, определить его плотность, подобно тому, как это делалось в работе № 1:

$$\delta_T = \frac{M}{V_2 - V_1};$$

где  $M$  - масса навески тяжелого минерала,  $V_1$  и  $V_2$  - соответственно объем воды в цилиндре до помещения туда навески и суммарный объем воды и навески тяжелого минерала. Занести результаты в табл. 2.1.

Таблица 2.1 Расчет плотности тяжелого минерала

Наименование минерала	$M, \text{ г}$	$V_1, \text{ см}^3$	$V_2, \text{ см}^3$	$\delta_T, \text{ г/см}^3$

Выгрузить из цилиндра зерна тяжелого минерала и высушить их на плитке (**не прокаливая!**).

3. Составить из легкого и тяжелого минерала две навески искусственной смеси для гидравлической классификации. Для составления каждой навески искусственной смеси на технических весах взять навеску тяжелого минерала массой 20 г, навеску легкого минерала массой 180 г и перемешать эти навески. Занести описание смеси в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Описание минеральной смеси, используемой в работе

№ n/n	Наименование минерала	Химическая формула	$\delta$ г/см <sup>3</sup>	$d_{\min}$ см	$d_{\max}$ см

4. Рассчитать скорости восходящего потока, которые необходимо создать в классификаторе Монро для разделения навесок в двух режимах, обеспечивающих:

- Режим А

получение чистого продукта, состоящего только из зерен тяжелого минерала

- Режим Б.

получение продукта, в который полностью извлечен тяжелый минерал с максимально возможным при этом его содержанием.

Расчет провести в предположении свободного режима падения частиц. Так как материал достаточно крупный, расчёт шкалы классификации ведём, принимая коэффициент сопротивления постоянным и равным  $\pi/16$ .

Для получения чистого продукта в режиме А необходимо выбрать такую скорость восходящего потока, при которой все зерна легкого минерала будут вынесены в слив, это значит, что скорость воды должна быть равна конечной скорости падения самого крупного легкого зерна.

Для получения продукта с максимальным извлечением в режиме Б необходимо все зерна тяжелого минерала направить в пески. При этом скорость воды в классификаторе надо выбирать равной конечной скорости падения самого мелкого тяжелого зерна.

Результаты расчетов занести в таблицу 2.3.

#### 5. Рассчитать расходы воды в классификатор для режимов А и Б

По градуировочному графику ротаметра определить значение шкалы ротаметра, соответствующее рассчитанному расходу. Все результаты занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Условия и результаты гидравлической классификации

Режим	$v$ , см/с	$q$ , см <sup>3</sup> /с	Продукт	$M$ , г	$V_1$ , см <sup>3</sup>	$V_2$ , см <sup>3</sup>
А			пески			
			слив			
Б			пески			
			слив			

6. Провести гидравлическую классификацию материала обеих навесок минеральной смеси - одной в режиме А, а другой - в режиме Б,

Вначале проверить, достаточно ли плотно закрыта пробка разгрузки песков. Настроить по ротаметру требуемый расход воды.

Подставить под трубку слива приемник и начать загрузку материала. Материал загружается постепенно, чтобы падение частиц проходило в свободных условиях. После окончания загрузки классификацию сразу не прекращать, а дожидаться, пока частицы, находящиеся в рабочей зоне, распределятся в продукты классификации. В течение всего времени опыта следить, чтобы расход воды в классификатор оставался постоянным.

Загрузку производят, стоя на стремянке. При этом необходимо соблюдать осторожность как находящемуся наверху, так и остальным членам бригады.

По окончании процесса разделения закрыть воду. Кисточкой направить зерна, осевшие в коробке сверху трубы классификатора, в сливную трубу. Промыть сливную трубу водой, чтобы все зерна попали в приемник слива. Аккуратно, не потеряв минеральные зерна, слить воду из приемника слива.

Разгрузить пески классификации. Для этого, подставив под песковое отверстие приемник, открыть пробку. Открывать пробку надо так, чтобы струя воды с частицами не попала на препятствие и не разбрызгалась. Чтобы полностью извлечь из классификатора все частицы песков, промыть вортекс, открыв на короткое время воду. Аккуратно, не потеряв минеральные зерна, слить воду из приемника песков.

Высушить и взвесить полученные продукты. Результаты занести в табл. 2.3.

7. Определить объемы твердого продуктов классификации с помощью мерного цилиндра. Для определения объема твердого каждого продукта мерный цилиндр заполняется водой на 80-100 мл, в табл. 2.3 заносится объем воды  $V_1$ . Наклонив цилиндр так, чтобы вода не вылилась, помещают продукт в воду, дав минеральным частицам соскользнуть по стенке цилиндра. Легкими постукиваниями по стенкам удаляют пузырьки воздуха. В табл. 2.3 заносят суммарный объем воды и твердого  $V_2$ .

8. Провести обработку результатов эксперимента.

9. На основании результатов работы сделать выводы о возможности разделения смеси минералов гидравлической классификацией.

10. При выполнении работы соблюдать общие меры безопасности работы в лаборатории обогащения полезных ископаемых.

## V. Обработка результатов эксперимента

1. Рассчитать средние плотности продуктов классификации

$$\delta_T = \frac{M}{V_2 - V_1};$$

Все результаты занести в таблицу 2.4.

Таблиц 2.4. Технологические показатели гидравлической классификации

Режим	Продукт	$\delta$ , г/см <sup>3</sup>	$\gamma$	$\beta m$ .	$\varepsilon_T$	$E$	Диапазон крупности зерен в продуктах, см			
							тяжелого минерала		легкого минерала	
							от	до	от	до
А	пески									
	слив									
	питание		1.00		1.00					
Б	пески									
	слив									
	питание		1.00		1.00					

2. Рассчитать содержание тяжелого минерала во всех продуктах классификации:

$$\beta_T = \frac{\delta - \delta_L}{\delta_T - \delta_L}$$

где  $\delta$ ,  $\delta_T$ ,  $\delta_L$  - соответственно средняя плотность продукта, плотности тяжелого и легкого минералов. Все результаты занести в таблицу 2.4.

3. Рассчитать технологические показатели гидравлической классификации:

выхода продуктов классификации,

содержание тяжелых зерен в питании классификации,

выхода продуктов

извлечение зерен тяжелого минерала в продукты классификации

эффективность разделения по Ханкоку-Люйкену

Все результаты занести в табл. 2.4.

4. Определить диапазоны крупности легких и тяжелых зерен в продуктах гидравлической классификации, для чего рассчитать:

крупность наименьшего тяжелого зерна, попадающего в пески в режиме А и равнопадающего с легким зерном размером  $d_{max}$ :

крупность наименьшего легкого зерна, попадающего в пески режиме Б и равнопадающего с тяжелым зерном размером  $d$ :

Результаты расчетов занести в таблицу 2.4.

## **VI. Требования к отчету**

Отчет о работе должен содержать:

1. Наименование работы

2. Цель работы

3. Краткое теоретическое введение

4. Порядок определения плотности тяжелого минерала и результат - табл. 2.1

5. Описание исходного материала для классификации - табл. 2.2

6. Эскиз экспериментальной установки

7. Порядок расчета шкалы гидравлической классификации и результаты расчета - табл. 2.3

8. Условия проведения гидравлической классификации на установке и результаты опыта - табл. 2.3

9. Технологические показатели и другие характеристики продуктов гидравлической классификации - табл. 2.4

10. Выводы по работе.

## **VII. Рекомендуемая литература**

- 1.Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. М., Недра. 1993.
- 2.Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. М., Недра, 1982,

## **VIII. Контрольные вопросы**

- 1.Принципы гидравлической классификации, область ее применения.
2. Равнопадаемость зерен, коэффициент равнопадаемости.
- 3.Какой метод расчета конечной скорости свободного падения применяется в работе и почему?
- 4.Конструкция гидравлического классификатора. Почему ввод питания осуществляется в середину классификационной трубы?
- 5.Граничное зерно при гидравлической классификации.
- 6.По каким свойствам частиц осуществляется разделение при гидравлической классификации?
- 7.Каковы возможности и ограничения гидравлической классификации как метода разделения частиц?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

### **Влияние конструкционных факторов на процесс классификации в гидроциклоне**

#### **I. Цель работы**

- 1.Изучить конструкцию гидроциклона и освоить методику проведения лабораторных опытов по классификации в гидроциклоне.
- 2.Исследовать влияние основных конструкционных факторов на эффективность классификации в гидроциклоне.

#### **II. Теоретическое введение**

Гидроциклон является аппаратом, в котором классификация материала производится в центробежном поле. Принципиальная схема аппарата приведена на рис. 3.1.

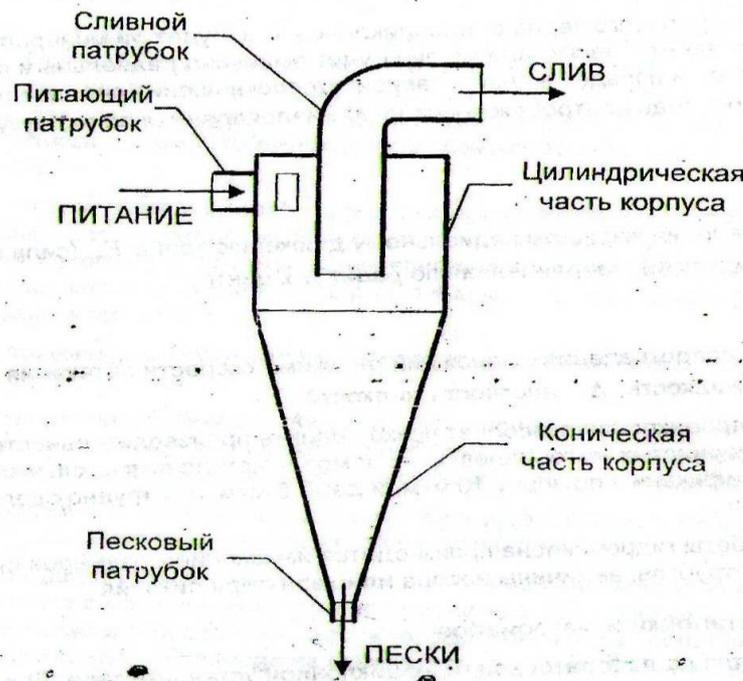


Рис. 3.1. Принципиальная схема конструкции гидроциклона

В результате тангенциальной подачи питания в гидроциклон под давлением от 100 до 300 кПа, пульпа в аппарате вращается с большой угловой скоростью. Развивающиеся центробежные силы, действующие на зерно, в сотни раз превышают по величине гравитационные силы.

В работающем гидроциклоне образуются два вихревых потока - один внешний (у стенки), направленный вниз, и второй - внутренний восходящий поток.

Угловая скорость вращения внутреннего вихря настолько велика, что жидкость в нем движется как твердое тело – без сдвига слоев. Вся жидкость во внутреннем вихре вращается с одной и той же угловой скоростью. В результате разжижения по центру восходящего вихря происходит разрыв жидкости и образуется воздушный столб. Диаметр воздушного столба и величина вакуума в нем зависят от величины давления пульпы на входе, соотношения сливного и пескового патрубков и других конструктивных параметров аппарата.

Угловые скорости вращения слоев во внешнем вихре не одинаковы. Закономерность изменения тангенциальных скоростей внешнего вихря по радиусу соответствует выражению:

$$v_{\tau} r^n = const,$$

где  $v_{\tau}$  - тангенциальная скорость вращения,

$r$  - радиус вращения,

$n$  - показатель степени, устанавливаемый экспериментально (обычно находится в диапазоне 0,5-0,6)

Таким образом, центробежная сила во внешнем вихре не одинакова вдоль радиуса - она возрастает в направлении к центру.

Достаточно крупные зерна, подаваемые с питанием в аппарат, под действием центробежной силы прижимаются к стенке аппарата и транспортируются внешним вихрем вниз к песковому отверстию, где и разгружаются (см. рис. 3.1). Основная часть жидкости и мелкие зерна питания при повороте потока в конусе переходят во внутренний вихрь и разгружаются вверх через сливной патрубок.

Поведение минерального зерна в гидроциклоне - т. е. будет ли минеральное зерно отброшено к стенке и попадет в пески, или же оно будет вынесено радиальным потоком жидкости во внутренний вихрь и попадет в слив, - зависит от соотношения сил, действующих на зерно. Это в первую очередь центробежная сила  $F_c$ , направленная по радиусу к стенке:

$$F_c = \frac{m v_r^2}{r};$$

а также сила сопротивления жидкости радиальному движению зерна  $F_R$ , (сила влечения радиальным потоком жидкости), направленная по радиусу к центру

$$F_R = \psi d^2 v_r^2 \Delta$$

где,

$\psi$  – коэффициент сопротивления, зависящий от режима скорости обтекания зерна;  $v_r$  - радиальная скорость жидкости,

$\Delta$  - плотность жидкости.

Применение гидроциклонов позволяет резко поднять производительность процесса классификации тонкозернистых материалов. С их помощью стало возможным осуществлять гидравлическую классификацию по зерну 10 мкм, и даже 5 мкм, что трудно сделать в механических классификаторах.

Регулировка работы гидроциклона производится изменением размеров питающих, песковых и сливных патрубков, величины напора или характера питания.

### **III. Описание установки и материалов**

Работа проводится на лабораторной гидроциклонной установке типа ГЛ конструкции ЦНИГРИ. Установка оборудована гидроциклонами диаметром 25 мм, имеющими угол конуса равный 20° и 10°. Гидроциклоны имеют сменные песковые и сливные насадки.

Технические характеристики установки ГЛ:

- Производительность по твердому до 10 кг/час
- Диаметр цилиндрической части гидроциклона 25 мм
- Размеры сливных патрубков - 6, 8, 10, 12 мм
- Размер песковых патрубков - 1, 3, 4, 5, 6 мм
- Число оборотов вала насоса 2600, 2800, 3000 *об/мин*

- Напор на входе, до  $0,65 \text{ кг/см}^2$
- Габаритные размеры  $510 \times 400 \times 540 \text{ мм}$
- Масса  $27 \text{ кг}$

Работа производится на реальной руде плотностью  $2,6 - 3,0 \text{ г/см}^3$  измельченной до крупности  $100 \%$  класса –  $0,2 \text{ мм}$ .

Взвешивания производятся на технических весах с погрешностью  $0,1 \text{ г}$ .

#### **IV. Порядок проведения работы и указания по мерам безопасности**

Работа производится не более чем двумя бригадами, каждая из которых изучает влияние на технологические показатели классификации в гидроциклоне размера пескового патрубка при заданном фиксированном размере сливного патрубка. Размеры патрубков задаются преподавателем. Как правило, одна бригада проводит серию из четырех-пяти опытов с разным размером пескового патрубка.

1. Ознакомиться с конструкцией гидроциклонной установки и устройством гидроциклона. Зарисовать установку и гидроциклон с указанием размеров основных частей.

2. Изучить порядок пуска и остановки гидроциклона. Пронаблюдать работу гидроциклона на чистой воде.

3. Приготовить приемники для сбора проб слива и песков. Приемники необходимо до опыта взвесить, их массы занести в табл. 3.1. Приемник для слива должен быть емкостью не менее  $450 \text{ мл}$ , для песков – не менее  $150 \text{ мл}$ .

4. Установить песковый и сливной патрубки необходимого для первого опыта размера.

5. Приготовить исходную пульпу, что осуществляется непосредственно в бункере работающего насоса. При этом гидроциклон работает в замкнутом цикле «на себя». Плотность пульпы должна соответствовать соотношению  $\text{Ж:Т}=5:1$ . Для этого в бункер сначала заливают  $5 \text{ дм}^3$  воды, а затем загружают  $1 \text{ кг}$  руды. Перед загрузкой в бункер насоса руду пропускают через сито с отверстиями  $0,5 \text{ мм}$ , чтобы исключить возможность случайного попадания в гидроциклон крупных зерен.

6. Включить гидроциклон и проработать в замкнутом режиме «на себя»  $1-2 \text{ мин}$ . В установившемся режиме работы гидроциклона провести одновременный отбор проб песков и слива путем отсечки потоков в соответствующие приемники. Время отбора проб определяется объемом пробы слива, которая должна быть равна  $400 \text{ мл}$ . Время отбора проб фиксируется по секундомеру и заносится в табл. 3.1.

7. Взвесить приемники с мокрыми пробами слива и песков на технических весах. Массы занести в табл. 3.1.

8. После взвешивания перенести пробы в другие приемники и поставить их сушиться в

сушильный шкаф, не забыв снабдить каждую пробу маркой. При сушке в сушильном шкафу необходимо обеспечить такие условия, чтобы не возникло кипения и разбрызгивания пробы.

9.Скомпенсировать потери материала в бункере установки, для чего дополнительно внести в бункер 80 г измельченной и просеянной на сите 0.5 мм руды и 400 мл воды.

10.Выключить насос и произвести необходимую замену пескового или сливного патрубка. Остановка насоса с материалом в бункере не должна быть продолжительнее 2-3 мин для предотвращения возможной забивки насоса грубозернистым материалом. Затем включить насос, дождаться выхода установки на стационарный режим работы и повторить п.п. 6 -10 необходимое количество раз.

11.После высыхания проб сливов и песков взвесить каждую уже в сухом виде. После взвешивания мокрым рассевом выделить из каждой пробы класс +0.074 мм (с потерей класса - 0.074 мм). Высушить выделенный из проб крупный класс и взвесить его.

Все результаты занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Экспериментальные данные

Диаметры сливного и пескового патрубков $d_{сл}$ и $d_{п}$ , мм	Время $t, c$	Продукт	Масса приемника $M_1$ , г	Масса приемника с сырой пробой $M_2$ , г	Масса сырой пробы $M_3$ , г	Масса сухой пробы $M_4$ , г	Масса воды в пробе $M_5$ , г	Масса класса +0.074 мм в пробе $M_6$ , г	Масса класса -0.074 мм в пробе $M_7$ , г
		слив							
		пески							

12. Произвести обработку результатов эксперимента.

13.Сделать выводы о влиянии размера пескового патрубка на эффективность классификации, крупность продуктов классификации, распределение массы твердого и воды по продуктам классификации.

### V.Обработка результатов измерений

Для каждого опыта произвести следующие расчеты;

1. Для каждой пробы рассчитать массу сырой пробы, массу воды в пробе, массу класса - 0.074 мм в пробе, по формулам.

$$M_3 = M_2 - M_1$$

$$M_5 = M_3 - M_4$$

$$M_7 = M_4 - M_6$$

Результаты занести в таблицу 3.1.

2. Рассчитать технологические показатели разделения по крупности. Результаты занести в таблицу 3.1.

содержание класса -0.074 мм в исходном материале  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{M_{СЛ7} + M_{П7}}{M_{СЛ4} + M_{П4}};$$

здесь и далее  $M_{СЛ}$  и  $M_{П}$  - массы, относящиеся к пробам слива и песков одного и того же опыта.

$\beta_{СЛ}$  и  $\beta_{П}$  - содержание класса -0,074 соответственно в сливе и в песках:

$$\beta_{СЛ} = \frac{M_{СЛ7}}{M_{СЛ4}};$$

$$\beta_{П} = \frac{M_{П7}}{M_{П4}};$$

выхода слива и песков  $\gamma_{СЛ}$  и  $\gamma_{П}$ :

$$\gamma_{СЛ} = \frac{\alpha - \beta_{П}}{\beta_{СЛ} + \beta_{П}};$$

$$\gamma_{П} = 1 - \gamma_{СЛ}$$

извлечения класса -0,074 в слив и в пески  $\varepsilon_{СЛ}$  и  $\varepsilon_{П}$ :

$$\varepsilon_{СЛ} = \gamma_{СЛ} \frac{\beta_{СЛ}}{\alpha};$$

$$\varepsilon_{П} = 1 - \varepsilon_{СЛ}$$

3. Рассчитать распределения воды  $\varepsilon_{СЛ}^6$  и  $\varepsilon_{П}^6$  между сливом и песками; содержание твердого в сливе и песках  $R_{СЛ}$  и  $R_{П}$ . Результаты занести в таблицу 3.2.

$$\varepsilon_{СЛ}^6 = \frac{M_{СЛ5}}{M_{СЛ5} + M_{П5}};$$

$$\varepsilon_{П}^6 = 1 - \varepsilon_{СЛ}^6;$$

$$R_{СЛ} = \frac{M_{СЛ5}}{M_{СЛ1}};$$

$$R_{П} = \frac{M_{П5}}{M_{П1}};$$

4. Рассчитать производительность гидроциклона по твердому материалу. Результаты занести в таблицу 3.2.

$$Q = \frac{M_{сл4} + M_{п4}}{t};$$

Таблица 3.2. Технологические показатели классификации в гидроциклоне

Условия опыта $d_{сл}$ и $d_{п}$ мм	Наименование продуктов	Выход	Содержание класса - 0.074 мм $\beta$	Извлечение. класса 0.074 мм $\epsilon$	Содержание твердого, R	Распределение воды, $\epsilon^B$	Производительность, Q, кг/ч	Эффективность, E
	слив						-	
	пески						-	-
	исходное							-

5. Рассчитать эффективность классификации. Результаты занести в таблицу 3.2.

$$E = \frac{\epsilon_{сл} + \gamma_{сл}}{1 - \alpha};$$

## VI. Требования к отчету

Отчёт о работе должен содержать:

1. Наименование работы
2. Цель работы
3. Краткое теоретическое введение
4. Эскиз экспериментальной установки в целом и эскиз гидроциклона в разрезе с указанием основных размеров
5. Порядок проведения гидравлической классификации на установке и результаты опыта - табл. 3.1
6. Порядок расчета и рассчитанные технологические показатели классификации в гидроциклоне - табл. 3.2
7. Графики зависимости от диаметра пескового патрубка: производительности по твердому, содержания твердого в сливе и в песках, выхода слива, содержания класса -0.074 мм в сливе и в песках и извлечения этого класса в сливе, эффективности классификации по классу - 0.074 мм.
8. Выводы о изученном экспериментально влиянии конструктивных параметров на технологические показатели и эффективность классификации в гидроциклоне; о оптимальном выборе конструктивных параметров.

## **VII. Рекомендуемая литература**

- 1.Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. М. Недра. 1993.
- 2.Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. М. Недра, 1982.

## **VIII. Контрольные вопросы**

1. Каким образом происходит разделение материала в гидроциклоне?
2. Каково устройство гидроциклона и как осуществляется регулировка его работы?
3. Какие преимущества обеспечивает применение в классификации центробежного силового поля?
4. Каковы преимущества и недостатки классификации в гидроциклонах?
5. Каково влияние технологических факторов процесса и конструктивных параметров гидроциклона на результаты классификации в нем?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**

### **Изучение процесса отсадки**

#### **I.Цель работы**

- 1.Изучить конструкцию диафрагмовой отсадочной машины и освоить методику проведения лабораторных опытов по разделению минералов отсадкой.
- 2.Исследовать влияние основных режимных факторов на технологические показатели процесса отсадки.

#### **II.Теоретическое введение**

Отсадка представляет собой процесс гравитационного разделения зерен в вертикально пульсирующей взвеси. В зависимости от характера пульсации отсадочные машины подразделяются на пульсаторы (с вертикальной пульсацией воды в одном направлении - вверх) и собственно отсадочные машины (с вертикальными пульсациями переменного направления). Пульсация воды в отсадочных машинах вызывается движениями диафрагмы, поршня или кратковременным увеличением давления воздуха.

Разделение минеральных зерен при отсадке основано на различии скоростей движения зерен- плотной минеральной искусственной или естественной взвеси - постели, находящейся на отсадочном решете. Различие в скорости и направлении движения зависит от плотности, крупности, формы разделяемых зерен и состояния постели. Разделение зерна происходит в сильно стесненных условиях. Следует обеспечивать такую разрыхленность постели, при которой будет возможным продвижение зерен обогащаемого материала внутри постели.

Разрыхленность постели в отсадочных машинах регулируется путем изменения скорости восходящих и нисходящих потоков воды. Это достигается регулировкой длины хода диафрагмы или поршня, частоты пульсаций, количества дополнительно подаваемой в машину подрешетной воды. Разрыхленность постели может также регулироваться подбором соответствующей крупности зерен постели.

В практике обогащения отсадке подвергается материал в широком диапазоне крупности - от 150(250) до 0.2 мм. При обогащении сырья цветных и редких металлов крупность материала, обогащаемого отсадкой, обычно находится в пределах 25 (5) – 0,2 мм.

Отсадка используется для обогащения различных полезных ископаемых - руд черных металлов (бурых железняков; мартитовых, марганцевых, хромитовых руд); углей и горючих сланцев, руд и россыпей цветных редких и благородных металлов (касситеритовых, вольфрамитовых, танталит-колумбитовых, золотосодержащих).

Различают отсадку с естественной постелью (для разделения крупного материала) и отсадку с искусственной постелью (для разделения мелкозернистого материала).

В качестве искусственной постели применяют грубозернистые фракции таких минералов как гематит, магнетит, пирит и др. или искусственно приготовленные зерна - дробь, стальная сечка, зерна из смеси бетона и стальной стружки, шарики из утяжеленной резины и пр. Материал крупностью менее 10 мм обогащается с искусственной минеральной постелью, которая помещается на решето отсадочной машины. Разгрузка концентрата - минерала с высокой плотностью - происходит через решето. Частицы концентрата проходят через искусственную постель, через решето и далее разгружаются из отсадочной машины через регулируемый патрубок. Высота искусственной постели обычно составляет 40-60 мм. К минеральной искусственной постели предъявляют следующие требования;

- плотность материала постели должна быть промежуточной между плотностями разделяемых минералов;
- крупность зерен постели должна составлять не менее 3÷5 размеров максимальной частицы обогащаемого материала; превышение крупности постели над крупностью питания может быть до 10-кратного;
- крупность частиц постели должна быть в 3÷4 раза больше размера отверстий решета отсадочной машины;
- материал искусственной постели должен быть стойким к абразивному износу и коррозии, регенерируемым после определенного срока использования, экономически доступен.

Питание в отсадочную машину подается при плотности 30÷35 % твёрдого. Степень концентрации при отсадке составляет 4÷6.

Производительность отсадочной машины зависит от ширины камеры, скорости продольного потока пульпы, крупности обогащаемого материала, плотности тяжелого

минерала, высоты постели, хода и частоты качаний диафрагмы. Удельная (на единицу площади решета) производительность отсадки для крупного материала -  $40 \div 60 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ; для материала крупностью -2 мм -  $4 \div 5 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . Расход подрешетной воды –  $3,5 \div 4 \text{ м}^3/\text{т}$ .

В зависимости от крупности обогащаемого материала, в диафрагмовых отсадочных машинах ход диафрагмы изменяется в пределах от 5 до 25 мм; число качаний диафрагмы от 150 до 500 качаний в минуту. Чем мельче материал, тем меньше ход и больше число качаний диафрагмы. Технологические показатели отсадки сильно зависят от количества подаваемой подрешетной воды, влияющей на разрыхленность постели.

Расход электроэнергии при отсадке сравнительно невелик и составляет  $0,3 \div 1,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ . на тонну обогащаемого материала.

При восходящем полуцикле разделение частиц происходит в соответствии с их конечными скоростями стесненного падения; при нисходящем полуцикле основную роль играют сегрегационные процессы. Увеличение скорости восходящего потока воды (при увеличении хода диафрагмы, расхода подрешетной воды и т.п.) может приводить как к повышению извлечения (вследствие увеличения разрыхленной постели — увеличения размеров каналов между зернами постели, что облегчает прохождение частиц ценного минерала к решету), так и к его снижению (вследствие уноса частиц ценного минерала слишком быстрым восходящим потоком). Отсадка - многофакторный процесс, и оптимальные условия разделения подбираются только экспериментально.

### **III. Описание установки и материалов**

Работа проводится на лабораторной отсадочной машине типа ОМЛ. Принципиальное устройство машины и схема отсадки приводятся на рис. 4.1.

Технические характеристики лабораторной отсадочной машины ОМЛ:

- Число камер - 2
- Площадь решетки в камере -  $100 \text{ см}^2$
- Размер отверстия сетки - 0,5; 1; 2 мм
- Частота колебаний диафрагмы - 250; 320; 400; 500  $\text{мин}^{-1}$
- Ход диафрагмы - 1,5; 3; 4; 6; 8; 10; 12 мм
- Производительность - до 500 кг/час.

В работе используется искусственная смесь тяжелого и легко минералов - ильменита, колумбита и т.п. и кварца. Плотность легкого минерала принимаем  $\delta_{л} = 2,65 \text{ г}/\text{см}^3$ .

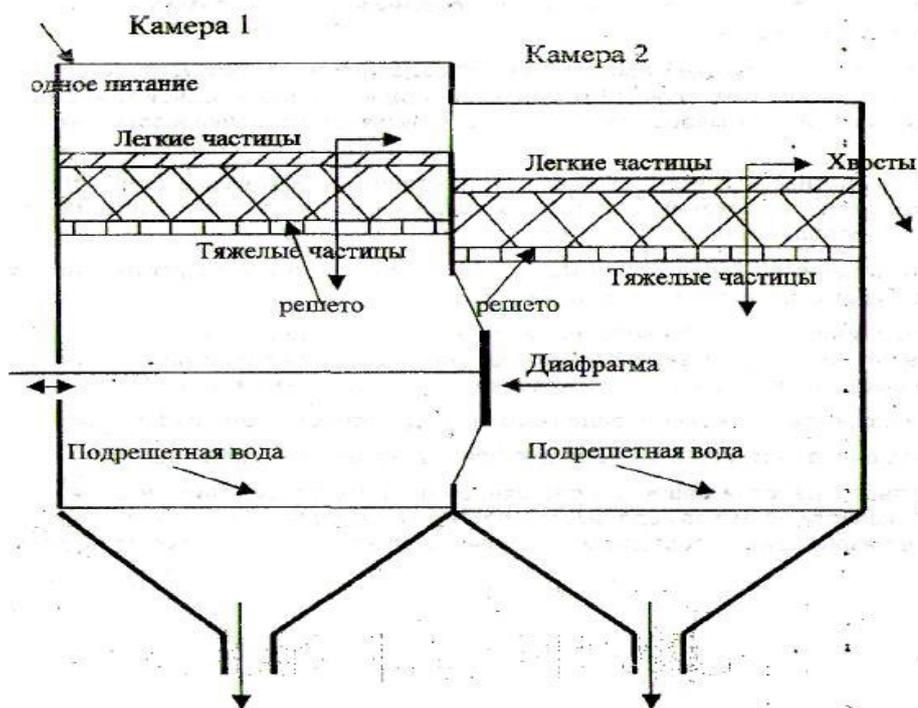


Рис.4.1. Принципиальное устройство машины и схема отсадки.

**Техническая характеристика ОМЛ:**

Число камер - 2

Площадь решетки в камере - 100 см<sup>2</sup>

Размер отверстия сетки - 0.5; 1; 2 мм

Частота колебаний диафрагмы - 420 мин<sup>-1</sup>

Ход диафрагмы - 6; 8; 10; 12

Производительность - до 500 кг/час

Каждой бригаде студентов преподавателем задается значение частоты колебаний диафрагмы. Бригада студентов проводит несколько опытов, меняя значение длины хода диафрагмы. Заданная бригаде частота колебаний диафрагмы и другие параметры отсадки при этом остаются постоянными.

1. Ознакомиться с конструкцией лабораторной отсадочной машины и устройством основных ее узлов. Сделать эскиз отсадочной машины в целом и отдельно - одной камеры с указанием основных частей и размеров. Изучить порядок пуска, регулировки и остановки отсадочной машины.

2. Определить плотность тяжелого минерала и составить необходимое количество навесок исходной смеси. Масса навески и массовая доля тяжелого минерала в смеси задается преподавателем. Занести данные в табл. 4.1.

3. Настроить заданные значения частоты колебаний диафрагмы и других параметров процесса, которые будут сохраняться постоянными в ходе опыта.

Для установления разрыхления неподвижной постели, еще до установки съемных камер определить вес и объем, занимаемый постелью в камерах. Для каждой камеры произвести по два замера высоты постели в различных точках. Занести данные в табл. 4.1.

Пункты 4-6 повторить для каждого заданного преподавателем хода диафрагмы.

4. Установить очередное значение хода диафрагмы (начиная с наибольшего).

Ознакомиться с работой машины и состоянием постели в отсутствие питания. Для каждой камеры произвести по два замера высоты постели в наиболее сплоченном и по два замера в наиболее разрыхленном состоянии в различных точках камеры. Результаты занести в табл. 4.2.

Таблица 4.1. Условия проведения опытов

Наименование показателя		Значения
1	Высота сливного порога, см	
2	Суммарная площадь решет $S$ , см <sup>2</sup>	
3	Материал постели	
4	Крупность постели, $d$ , см	
5	Плотность материала постели $\delta$ , г/см <sup>3</sup>	
6	Вес постели в обеих камерах $M$ , г	
7	Высота постели в нерабочем состоянии, (по 2 замера для каждой камеры), см	
8	Средняя высота постели в нерабочем состоянии $H_0$ , см	
9	Разрыхленность постели в нерабочем состоянии $\theta_0$	
10	Наименование тяжелого минерала	
11	Плотность тяжелого минерала $\delta_T$ , г/см <sup>3</sup>	
12	Масса навески $M_0$ , г	
13	Массовая доля тяжелого минерала в навеске $a$ , %	
14	Суммарный расход воды $Q_v$ , см <sup>3</sup> /с	
15	Расход надрешетной воды $Q_{v1}$ , см <sup>3</sup> /с	
16	Расход подрешетной воды в две камеры $Q_{v2}$ , см <sup>3</sup> /с	
17	Частота качаний диафрагмы, с <sup>-1</sup>	
18	Время отсадки одной навески $t$ , с	
19	Производительность отсадочной машины (общая) $Q$ , кг/ч	
20	Производительность отсадочной машины удельная $q$ , т/(ч·м <sup>2</sup> )	
21	Удельный расход воды $q_w$ , м <sup>3</sup> /т	

6. Загрузить навесу и провести процесс отсадки в течение заданного времени.

При обогащении неклассифицированных измельченных руд (до крупности -1 -2 мм) питание машины осуществляют механически с помощью специального загрузочного узла, имеющегося в отсадочной машине. При обогащении же грубозернистых материалов (например, искусственные смеси крупностью -2+0.5 мм) питание лучше осуществлять вручную через питающий лоток, смывая материал струей воды. При загрузке материала в машину необходимо обеспечить равномерность его подачи и распределения по ширине камеры.

Таблица 4.2

№ п\п	Ход диафрагмы, см	Высота постели в рабочем состоянии, см		Концентрат I камеры		
		Замеренные значения	Средняя Н	Масса М, г	Объём V, см <sup>3</sup>	Плотность $\delta$ , г/см <sup>3</sup>

Время работы машины будет больше, чем время загрузки материала, поскольку в конце опыта необходимо проработать весь материал, находящийся на постели (это примерно 3-5 минут). Если в постели все же останутся зерна обогащаемого материала, то перед следующим опытом постель следует очистить (путем рассева на сите) или вообще заменить на свежую.

По истечении времени отсадки выключить привод диафрагмы и разгрузить концентраты I и II камер в приемники.

6. Высушить концентраты и хвосты; взвесить, определить их объем. Результаты занести в табл. 4.2.

7. Провести обработку результатов эксперимента.

8. На основании результатов работы сделать вывод о влиянии основных режимных факторов на технологические показатели и эффективность процесса отсадки.

9. При выполнении работы соблюдать общие меры безопасности работы в лаборатории обогащения полезных ископаемых.

## V. Обработка результатов измерений

При проведении расчетов самостоятельно согласовывать размерность,

1. Рассчитать общие условия отсадки: производительность отсадочной машины общую  $Q$ , кг/час:

$$Q = \frac{\left( \frac{M_0}{1000} \right)}{\left( \frac{t}{3600} \right)};$$

производительность удельную на единицу площади решета  $q$ , т/(час·м<sup>2</sup>):

$$q = \frac{\left( \frac{Q}{1000} \right)}{\left( \frac{S}{10000} \right)};$$

удельный расход воды на единицу массы твердого в питании  $q_w$ , м<sup>3</sup>/т:

$$q_w = \frac{\left( \frac{Q_w \cdot 3600}{1000000} \right)}{\left( \frac{Q}{1000} \right)};$$

разрыхленность постели в нерабочем состоянии  $\theta$ :

$$\theta_0 = \frac{H_0 S - M / \delta_n}{H_0 S};$$

где средняя высота постели в нерабочем состоянии  $H_0$  находится как среднеарифметическое из всех замеренных в опыте значений.

Результаты занести в табл. 4.1.

2. Рассчитать разрыхленность постели и технологические показатели для каждого опыта.

Результаты занести в табл. 4.3.

Порядок расчета для каждого опыта:

разрыхленность постели  $\theta$ :

$$\theta = \frac{H_n S - M / \delta_n}{H_n S};$$

где средняя высота постели в каждом опыте  $H_0$  находится как среднеарифметическое из всех замеренных в опыте значений;

Таблица 4.3. Технологические показатели отсадки.

№ п\п	Ход диафрагмы, мм	Разрыхленность постели $\theta$	Продукты	Выход, $\gamma$ , %	Содержание тяжелого минерала, $\alpha, \beta$ , %	Извлечение тяжелого минерала, $\varepsilon$ , %	Эффективность по конц-ту I камеры E, %	Эффективность по сумме конц-тов I и II камеры $E_{1-2}$ , %
			Конц. I					
			Конц. II					
			Хвосты					
			Исх. пр.	100		100		

3. Рассчитать среднюю плотность продуктов и содержание в них тяжелого минерала. Результаты занести в табл. 4.2 и 4.3.

4. Рассчитать технологические показатели отсадки расчетное содержание тяжелого минерала в питании классификации  $\beta_{ТВ}$ ,

выхода продуктов  $\gamma_I$

извлечение тяжелого минерала в продукты классификации  $\varepsilon_{TI}$ ,

Результаты занести в таблицу 4.3.

5. Рассчитать эффективность обогащения в двухкамерной отсадочной машине (по формуле Ханкока-Люйкена):,

эффективность обогащения по концентрату 1 камеры  $E_1$ :

$$E_1 = \frac{\varepsilon_1 - \gamma_1}{1 - \alpha};$$

эффективность обогащения по суммарному концентрату I и II камер  $E_{1+2}$

$$E_{1+2} = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - (\gamma_1 + \gamma_2)}{1 - \alpha};$$

где  $\gamma_1$  и  $\varepsilon_1$  - выход концентрата и извлечение в него тяжелого минерала для 1-ой камеры, а  $\gamma_2$  и  $\varepsilon_2$  - то же, для второй камеры.

## VI. Требования к отчету

Отчет о работе должен содержать:

1. Наименование работы

2. Цель работы
3. Краткое теоретическое введение
4. Техническую характеристику и эскиз лабораторной отсадочной машины; эскиз камеры отсадочной машины
5. Порядок проведения и условия опытов; характеристику обогащаемого материала (табл. 4.1)
6. Результаты экспериментов (табл. 4.2, 4.3)
7. Графики зависимости выхода, содержания, извлечения и эффективности обогащения от изучаемого фактора
8. Выводы по работе

## **VII. Рекомендуемая литература**

1. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения, М Недра. 1993.
2. Справочник по обогащению руд. Основные процессы: М., Недра, 1983.

## **VIII. Контрольные вопросы**

1. Каковы области применения отсадки и в чем состоят отличительные особенности отдельных типов отсадочных машин?
2. Как влияют на эффективность отсадки число и амплитуда пульсации, количество подрешетной воды, толщина постели и как они регулируются в зависимости от вещественного состава обогащаемого материала?
3. Каковы роль искусственной постели при отсадке и требования к ее характеристикам.
4. В чем состоит различие характера движения зерен, отличающихся размерами, плотностью, в постели отсадочной машины под действием восходящих и нисходящих потоков?
5. Каковы разновидности циклов отсадки? Каков цикл отсадки в проведенных опытах?
6. Какое влияние на процесс отсадки может оказывать, предварительная подготовка исходного материала?
7. Чем различаются концентраты, получаемые в I и II камерах отсадочной машины?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### Подготовка руд к флотационному обогащению

#### I. Цель работы:

Приобретение навыков по проведению опытов на дробилках и мельницах, методы отбора проб для обогащения фосфоритовых руд методом флотации.

#### II. Краткие теоретические основы подготовки руд к обогащению

Процесс дробления и измельчения является подготовительной операцией руд перед обогащением.

Процессы дробления, измельчения и грохочения издавна широко применяются в производственной деятельности человека. Трудно назвать отрасль промышленности или народного хозяйства, в которой в том или ином виде не применялись бы эти процессы.

Процесс обогащения полезных ископаемых можно подразделить на два этапа; разделение минералов, т.е. высвобождение зерен ценного минерала от окружающих зерен других минералов пустой породы и разделение минералов (собственное обогащение), т.е. выделение свободных зерен ценного минерала в концентрат.

Разделение минералов достигается уменьшением крупности кусков, т.е. с помощью операций дробления и измельчения, которые в обогащении полезных ископаемых имеют важное технологическое и экономическое значение.

В применяемых дробилках или мельницах куски горных пород разрушаются раздавливанием, истиранием и ударом, так как эти способы дробления конструктивно наиболее просто осуществляются. Вместе с тем раздавливанию и истиранию горные породы оказывают наибольшее сопротивление. Разрушение их, например, изгибающими или растягивающими усилиями должно происходить со значительно меньшими затратами энергии.

Флотация - один из наиболее распространенных способов обогащения, применяемые в крупных масштабах. На обогатительных фабриках флотационным методом разделяют цветные металлы, фосфориты, апатиты и др. Флотация основана на различной смачиваемости минералов водой. Силы поверхностного натяжения стремятся выронить уровень жидкости, в результате этого не смачиваемая (гидрофобная) частица выталкивается из жидкости (всплывает), а смачиваемая (гидрофильная) погружается в жидкость. Чем мельче частицы, тем больше отношение их поверхности к объёму и тем сильнее сказывается смачивание. Поэтому флотации предшествуют тонкое измельчение минералов в пределах размеров частиц 0,1-0,3мм. Мелкие гидрофобные частицы всплывают независимо от плотности, таким образом, при флотации нередко всплывают более тяжелые гидрофобные частицы полезного минерала, а более легкие частицы пустой породы тонут, поскольку они все же тяжелее воды.

### III. Необходимые аппараты, приборы и материалы

1. Пробы руды	4 кг
2. Щековая дробилка	1
3. Дисконной истиратель	1
4. Набор сит	1
5. Технические весы с разновесами	1
6. Клеёнка размером 0,5 - 1,0 м <sup>2</sup> .	1
7. Шпатель	1
8. Совок	1
9. Пакетная бумага	1
10. Воронка	1

### IV. Порядок проведения работы

Получив задание от преподавателя на работу в одном из измельчительных аппаратах и пробы руды, студент приступает к выполнению работы в следующем порядке:

1. Провести дробления фосфоритовых руд с помощью щековой дробилки (4кг),
2. Провести измельчение с помощью дискового истирателя.
3. Провести просеивание с помощью набора сит и разделить фракции больше 0,074мм
4. Проводить доизмельчение оставшихся на сите руд более 0,074мм.

Пробу высыпают на чистую и ровную площадь клеенки в виде конуса при помощи воронки. Методом кольца и конуса перемешивают 3 раза. Затем методом квартования сокращают пробу в четыре раза. Получаются 4 пробы весом по 1 кг, полученная проба упаковывается в пакетики. На пакетах записывают паспорт пробы: название руды, дата проведения, фамилия студентов, которые произвели пробоотбор, вес пробы и т.д.

Содержащая в пакете руда используется для обогащения методом флотации.

Таблица 5.1. Результаты измельчения руд на дисковом истирателе.

I	Фосфоритовая руда.	Начальная крупность $d_n$ , мм.	Конечная крупность $d_k$ , мм.	Степень измельчения $d_n/d_k$	Производительность аппарата. т/ч.
1.					
2.					
3.					

### V. Требование к отчету (см. раб. №1)

Отчет о работе должен содержать:

1. Наименование работы
2. Цель работы

3. Краткое теоретическое введение
4. Описание исходного материала для классификации
5. Эскиз экспериментальной установки
6. Выводы по работе

#### **VI. Рекомендуемая литература**

1. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. М., Недра, 1982,

#### **VII. Контрольные вопросы**

1. Задачи пробоотбора и усреднения пробы.
2. Роль дробления и измельчения руд при обогащении.
3. Способы сокращения проб.
4. Типы и конструкции измельчающих аппаратов, применяемых в промышленности.
5. Последовательность проведения работы.