

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

Кафедра обогащения полезных ископаемых

Составитель  
**Л. А. Суслина**

## **ФЛОТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБОГАЩЕНИЯ**

### **Методические указания к лабораторным работам**

Рекомендованы учебно-методической комиссией специальности  
21.05.04 Горное дело, специализацией  
06 Обогащение полезных ископаемых,  
в качестве электронного издания  
для использования в учебном процессе

Кемерово 2026

## Рецензенты

Бобровникова А. А. – к. х. н., заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых, председатель учебно-методической комиссии специальности 21.05.04 Горное дело, специализации 06 Обогащение полезных ископаемых

**Суслина Людмила Алексеевна**

**Флотационные процессы обогащения** : методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 21.05.04 Горное дело, специализации 06 Обогащение полезных ископаемых / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, Кафедра обогащения полезных ископаемых ; сост.: Л. А. Суслина. – Кемерово : КузГТУ, 2026. – 1 файл (1949 Кб). – Текст : электронный.

Приведены темы для лабораторных работ, краткое содержание теоретических основ по изучаемым темам, вопросы для контроля, описание установок с фотографиями, порядок проведения лабораторных работ, порядок обработки и оформления данных, таблицы, пояснительные рисунки, критерии оценивания, список литературы, содержащей теоретические основы изучаемых тем. Таблицы, подготовленные для ксерокопирования с последующим их заполнением, занесены в приложения в конце описания каждой работы.

© Кузбасский государственный  
технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева, 2026

© Суслина Л. А., составление, 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1	Изучение кинетики флотационного процесса	3
Приложение № 1		13
Лабораторная работа № 2	Исследование флотации с примени- ем планирования многофакторного эксперимента с целью получения оп- тимальных результатов (с изменением крупности измельчения угля, плотно- сти пульпы, режима съема пены и др.)	16
Приложение № 2		24
Лабораторная работа № 3	Определение оптимального времени флотации согласно заданной зольности концентрата	31
Приложение № 3		39
Лабораторная работа № 4	Расчет принципиальной схемы обога- щения руды. Выбор реагентного ре- жима	42
Лабораторная работа № 5	Основные виды флотационных про- цессов	54
	Порядок защиты работ по лаборатор- ному практикуму	60
	Учебно-методическое и информацион- ное обеспечение дисциплины	61

## Лабораторная работа № 1

### Изучение кинетики флотационного процесса

**Цель работы:** определение характера изменения скорости флотационного процесса угля; изучение влияния реагентного режима флотации, плотности пульпы и др. основных факторов на скорость флотации.

#### *Теоретическая часть*

Кинетические процессы – это процессы, протекающие во времени. Для решения задачи изучения кинетики флотации необходимо: изучить элементарный акт флотации (закрепление минеральных частиц на воздушных пузырьках); влияние на скорость процесса основных факторов флотации (крупности частиц, реагентного режима, аэрации, плотности пульпы и др.); построить модель флотационного процесса.

Кинетика флотационного процесса характеризуется зависимостью извлечения  $\varepsilon$  флотирующегося минерала от времени  $t$ , т. е.  $\varepsilon = f(t)$ . Скорость флотационного процесса в любой момент времени описывается производной –  $d\varepsilon/dt$  и определяется тангенсом угла наклона кривой  $\varepsilon = f(t)$ .

Скорость флотации характеризуется ее продолжительностью (в минутах), необходимой для получения определенного извлечения полезного компонента в продукт обогащения или удельной производительностью флотационных машин. Скорость флотации зависит от условий, при которых осуществляется флотация. Следовательно, изучая кинетику флотации, можно оценить степень влияния различных параметров процесса флотации на конечный результат. Изучение закономерностей изменения скорости флотации с течением времени является перспективным направлением в оптимизации флотационного процесса. Определив зависимость скорости флотации от основных параметров процесса флотации: от реагентного режима, от гидродинамических условий, плотности пульпы и др. основных факторов, можно полностью автоматизировать флотационный процесс.

Определение скорости флотации необходимо для оценки технологии процесса. Иногда определяют скорость флотации как среднюю скорость по уравнению

$$V_{\text{cp}} = \varepsilon / t, \quad (1.1)$$

где  $\varepsilon$  – извлечение, %;  $t$  – время флотации, мин.

Будучи весьма простой для расчета, средняя скорость флотации не всегда дает правильную характеристику процесса. Она не показывает скорости изменения флотации в пределах времени  $\Delta t$ : скорее или медленнее флотируются частицы в начале процесса, ускоряются или замедляются они к концу.

Правильнее определять скорость флотации на основании кинетических кривых, полученных по результатам флотации, при которой пенный продукт снимается в течение равных отрезков времени в отдельные сосуды и затем определяется вес полученных порций концентрата и содержание в них флотируемого минерала. Качественной оценки скорости флотации для одного и того же исходного материала в различных условиях – недостаточно. Необходимо иметь возможность количественного суждения о скорости флотации, что можно делать, анализируя результаты дробной флотации. Например, методом Белоглазова К. В., который вывел следующее уравнение скорости флотации:

$$\lg \frac{1}{1-\varepsilon} = kt \quad (1.2)$$

где  $\varepsilon$  – извлечение, %;  $k$  – константа, учитывающая эффективность закрепления минерала на пузырьках и число пузырьков;  $t$  – продолжительность флотации, мин;  $\lg \frac{1}{1-\varepsilon}$  – коэффициент удельной скорости флотации. Кривые изменения скорости флотации, построенные в координатах  $(t; \lg \frac{1}{1-\varepsilon})$  на основании результатов дробной флотации могут иметь четыре формы (рис. 1.1).

**Прямолинейная** зависимость (кривая 1, рис. 1.1) свидетельствует о том, что флотация протекает все время с постоянной скоростью. **Выпуклая** форма кривой 2 свидетельствует об уменьшении скорости флотации к завершению процесса (что может быть следствием массового удаления из пульпы в начале флотации легко флотируемых минералов или уменьшения концентрации реагентов). **Вогнутая** форма кривой 3 показывает, что к концу процесса скорость флотации увеличивается. Возможные причины: дробная подача реагентов, что обеспечивает более дли-

тельный контакт реагентов с частицами, улучшение аэрации, выведение тонких шламов из пульпы в первые минуты флотации.

Кривая 4, *имеющая максимум*, возможна при резком изменении концентрации реагентов.

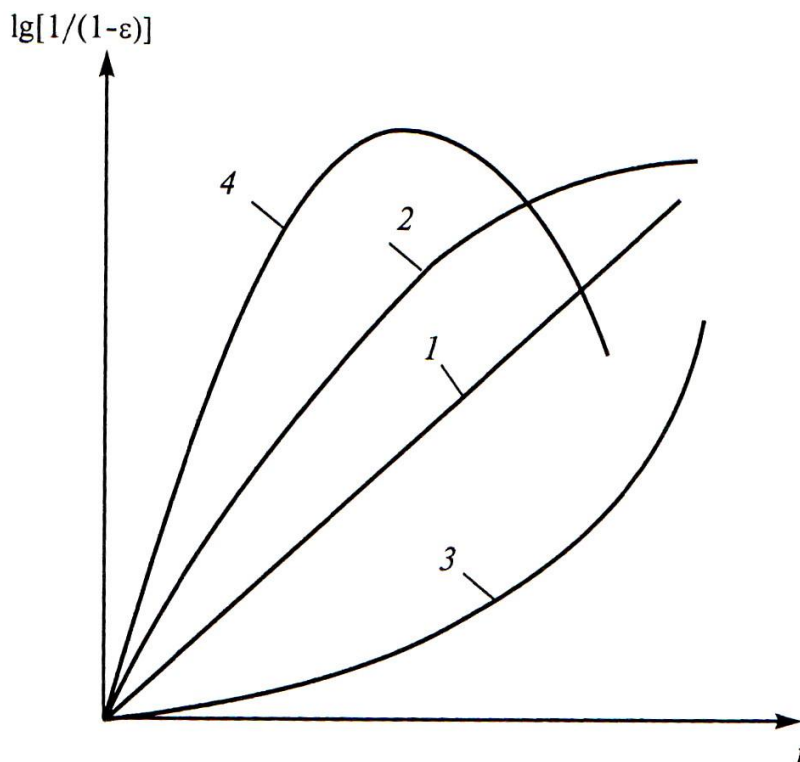


Рис. 1.1. Изменение коэффициента удельной скорости флотации:  
1 – прямолинейная зависимость; 2 – выпуклая форма кривой;  
3 – вогнутая форма кривой, 4 – кривая, имеющая максимум

Оценить эффективность процесса флотации можно по формуле К. Ф. Белоглазова:

$$\eta = \frac{\lg\left[\frac{1}{1-\varepsilon_1}\right]}{\lg\left[\frac{1}{1-\varepsilon_2}\right]},$$

где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – извлечения в один концентрат разделяемых компонентов в долях единиц:  $\varepsilon_1$  – извлечение угля в концентрат,  $\varepsilon_2$  – извлечение пустой породы в концентрат.

$$\varepsilon_2 = 1 - \varepsilon_1$$

**Оборудование и материалы:** лабораторная флотационная машина, комплекты посуды для приготовления пульпы и сбора продуктов флотации, мерный цилиндр, промывалка лабораторная или резиновая груша, технические и аналитические весы; сушильный шкаф, муфельная печь, секундомер; угольные шламы; флотационные реагенты: керосин, КОБС.

### **Описание установки**

Установка (рис. 1.2) состоит из флотационной камеры (1) со сливным порогом (2), закрепленной на литом корпусе зажимной гайкой (8); блока аэратора (3), трубки для подачи воздуха (4). Привод импеллера осуществляется от электродвигателя (6) через клиноременную передачу (7).

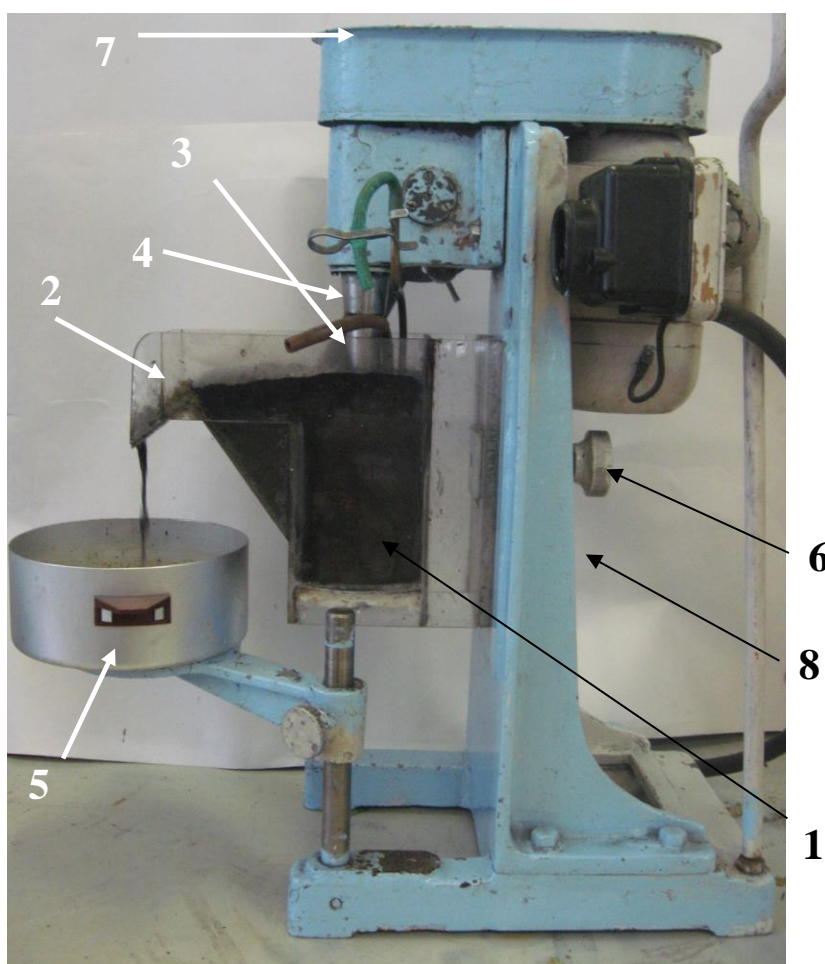


Рис. 1.2. Схема установки: 1 – флотационная камера; 2 – сливной порог камеры; 3 – блок аэратора, 4 – трубка для подачи воздуха; 5 – емкость для сбора продуктов флотации; 6 – электродвигатель; 7 – электропривод с клиноременной передачей; 8 – зажимная гайка, фиксирующая положение камеры флотомашины

Аэрационный узел машины (рис. 1.3.) состоит из импеллера с шестью радиальными лопатками (1), закрепленного на валу (4); и статора (6) с лопатками, расположенными под углом  $60^\circ$  (2). Статор неподвижно закреплен на трубе (3). Труба импеллера имеет в нижней части надымпеллерный диск с отверстием для регулирования внутрикамерной циркуляции пульпы. Трубка (7) для подачи воздуха.

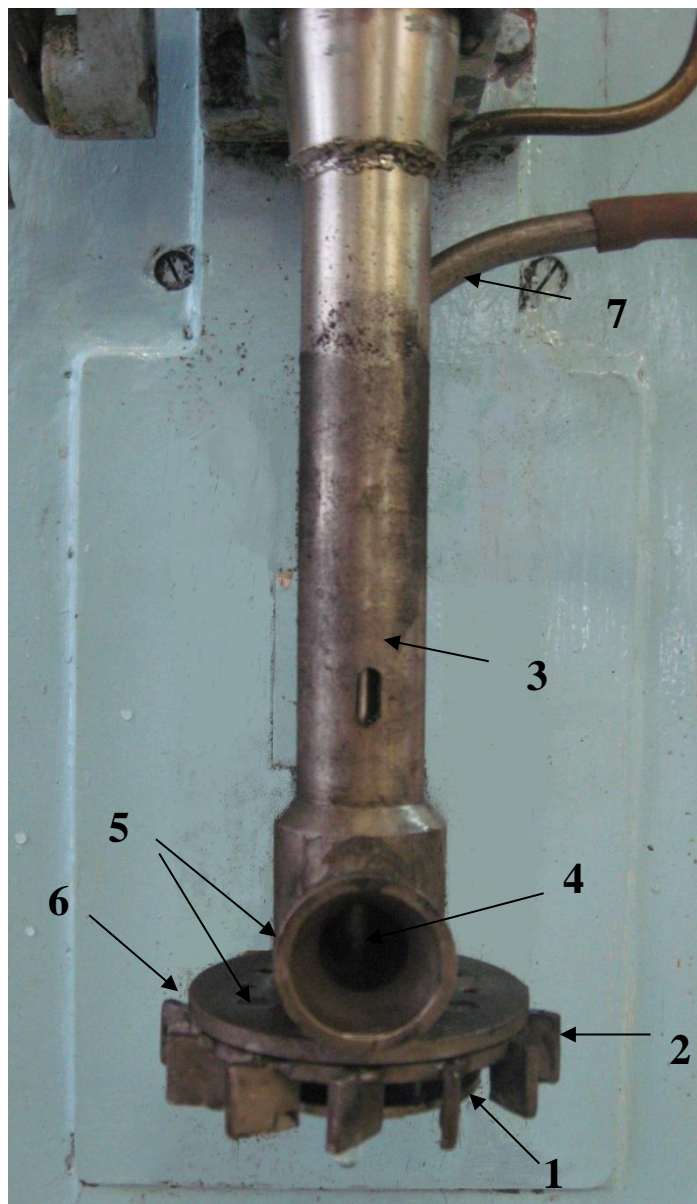


Рис. 1.3. Схема блока аэратора. 1 – диск импеллера с шестью радиальными лопатками; 2 – лопатки статора; 3 – труба импеллера, 4 – вал импеллера, 5 – отверстия для регулирования внутрикамерной циркуляции пульпы; 6 – надымпеллерный диск статора; 7 – трубка для подачи воздуха



### ***Порядок проведения работы***

**I.** Ознакомиться с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выписать название, цель, оборудование, изучить табл. 1.1 и 1.2.

Получите задание у преподавателя и занесите данные в таблицу: крупность угля, мм, массовое отношение жидкого к твердому Ж/Т ( $R$ ), название реагента, расход на тонну угля  $G$ , г/т, режим подачи собирателя и вспенивателя.

В работе необходимо сравнить кинетики флотации углей при разных условиях: при различном расходе собирателя, разных режимах подачи его в камеру (единовременно в зону агитации и дробно в процессе флотации или же в эмульсионном или капельном режимах) и др.

**II.** Перед началом исследований необходимо выполнить ряд подготовительных расчетов и измерений:

- определение рабочего объема камеры;
- аэрированности пульпы при данном гидроаэрационном режиме работы машины;
- определение и подготовка массы исходной навески пробы угля;
- определение расхода подаваемых флотационных реагентов.

#### ***1. Определение рабочего объема камеры флотационной машины – $V$***

Сначала определяется полезный объем камеры флотационной машины –  $V_{\text{п}}$ .

С помощью мерного цилиндра измеряется объем камеры, заполненный до ее сливного порога –  $V_1$ .

Зажимом перекрывается доступ воздуха в камеру. Включается привод импеллера. Определяется объем воды –  $V_2$ , которая выльется через сливной порог в емкость (5) (рис. 1.1), установленную на столике.

Полезный объем камеры флотационной машины –  $V_{\text{п}}$  определяется по разности

$$V_{\text{п}} = V_1 - V_2.$$

Затем определяется рабочий объем камеры флотационной машины –  $V$ .

Подают в камеру воздух, снимая зажим с трубки (4) (рис. 1.1.) и замеряют объем воды –  $V_3$ , вытесненной из камеры. Рабочий объем находят по формуле

$$V = V_{\Pi} - V_3.$$

## **2. Определение азрированности пульпы – $A$**

Азрированность (%) определяют по формуле

$$A = 100 \frac{V_3}{V_{\Pi}}.$$

## **3. Определение и подготовка массы исходной навески пробы угля**

Необходимую массу исходной навески (г) определяют в зависимости от заданного преподавателем  $R$  (массового отношения жидкого к твердому Ж/Т) по формуле

$$Q = \frac{V\delta}{R\delta + 10^3},$$

где  $\delta$  – плотность угля, принимаем  $\delta = 1400$  кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – рабочий объем камеры флотационной машины, мл.

## **4. Определение расхода подаваемых флотационных реагентов**

Для подачи реагента в камеру применяют капельные пипетки (если рассчитанный объем реагента  $V_p < 1$  мл) или мерные пипетки (если рассчитанный объем реагента  $V_p > 1$  мл). Для каждого реагента должна использоваться отдельная посуда. Необходимое число капель на навеску угля (на один опыт) рассчитывают по формуле

$$n = \frac{g}{p_k},$$

где  $g$  – необходимый расход реагентов на навеску, г;  $p_k$  – масса одной капли, г.

Необходимый расход реагентов на навеску рассчитывают по формуле

$$g = \frac{GQ}{10^6},$$

где  $G$  – заданный преподавателем расход реагентов на одну тонну угля, г/т;  $Q$  – масса исходной навески, г.

**III.** После проведения измерений и расчетов значений физических величин массу исходной навески  $Q$ , г, расход реагентов на навеску  $g$ , г, число капель на навеску угля  $n$  занести в табл. 1.1.

**IV.** Затем необходимо подготовить пробу к испытанию и приступить к выполнению эксперимента.

1. Исходную навеску помещают в кружку и заливают водой примерно на  $2/3$  рассчитанного объема пульпы. Замачивают ее в воде в течение 15–20 мин. Замоченную пробу переводят в камеру флотомашины, смывая осевшие частицы в кружке водой при помощи промывалки лабораторной или груши. Доливают в камеру воду до уровня рабочего объема пульпы.

2. Включают привод импеллера при закрытом вентиле подачи воздуха, и согласно условиям опыта по данным таблицы, вводят необходимый объем реагентов: собиратель в начале агитационного периода (выдерживают 1 мин при перемешивании импеллером пульпы), затем подают вспениватель (выдерживают 1 мин до конца периода агитации).

3. По истечении времени агитационного контактирования открывают вентиль подачи воздуха (**начало флотации**) и включают секундомер (для отсчета времени флотации).

4. Отсчет времени флотации производят с начала процесса – от начала подачи воздуха в камеру флотационной машины.

5. Через каждые 15 секунд после начала флотации необходимо собирать пену. При этом необходимо доливать воду в камеру смывая пену с ее внутренних поверхностей и поверхности импеллера, но **необходимо не допустить перелива пульпы в емкость для сбора продуктов флотации.**

6. Пенный продукт, снятый по истечению заданных периодов времени в отдельные емкости, подвергается фильтрации и сушке.

7. Флотация продолжается до появления «пустой» пены.

8. Определяется масса снятых и высушенных в сушильном шкафу порций пенного концентрата. Внимание! **Нельзя взвешивать горячие продукты.**

9. Отходы флотации угля переносят из камеры в специальную емкость, добавляют флокулянты, фильтруют и сушат осадок.

10. От продуктов флотационного опыта (концентратов и отходов) *после сушки необходимо отобрать примерно 1 г пробы методом квадратования с перемешиванием методом кольца и конуса, взвесить и высыпать в тигли*. Тигли передать лаборанту для сжигания проб.

11. Рассчитайте зольность продуктов по массе золы.

12. Определите извлечение горючей массы по формуле

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

13. Результаты флотационных опытов и расчетов заносят в табл. 1.1 и 1.2.

14. По результатам опыта начертите кинетические кривые в координатах  $(t; \lg \frac{1}{1 - \varepsilon})$  и проанализируйте.

15. Сделайте вывод по результатам эксперимента.

### Контрольные вопросы

1. В чем заключается процесс флотации?
2. Чем отличаются гидрофобные минералы от гидрофильных?
3. Какие классы крупности частиц руды подвергаются обогащению флотационными методами?
4. Расскажите, какие вы знаете типы флотационных процессов?
5. Что представляет собой пенная флотация минералов на пузырьках воздуха?
6. В чем заключается актуальность применения флотационных методов обогащения, например, для полиметаллических, тонковкрапленных руд, угольных шламов и т. д.?
7. Какие типы флотационных машин по способу передачи нагрузки из камеры в камеру вам известны?
8. Какие типы флотационных машин по способу аэрации пульпы вы знаете?
9. Опишите конструкцию, принцип действия, достоинства и недостатки, требования к конструкции механической флотационной машины «Механобр».
10. В чем особенность конструкции современных флотационных угольных машин?

11. О чем свидетельствует выпуклая форма кривой изменения коэффициента удельной скорости флотации с течением времени?
12. О чем свидетельствует вогнутая форма кривой изменения коэффициента удельной скорости флотации с течением времени?

## Приложение 1

Таблица 1.1.

## Влияние условий флотации на выход продуктов обогащения

№ опыта	R	Q, г	Тип, расход и режим подачи реагента										Время флотации, с	Продукты	Выход, γ		Примечание
			Собиратель					Вспениватель							г	%	
			Название реагента	Расход			Режим подачи	Название реагента	Расход			Режим подачи					
				G, кг/т	g, г	n			G, кг/т	g, г	n						
1												15	К-т 1				
												15	К-т 2				
												15	К-т 3				
												15	К-т 4				
												15	К-т 5				
												15	К-т 6				
													К-т окончательный				
												–	Общий к-т				
													Отходы				
											0,0	Исходный продукт					
2												15	К-т 1				
												15	К-т 2				
												15	К-т 3				
												15	К-т 4				
												15	К-т 5				
												15	К-т 6				
													К-т окончательный				
												–	Общий к-т				
													Отходы				
												0,0	Исходный продукт				

Таблица 1.2

## Результаты эксперимента по кинетике флотации

№ опыта	Время флотации $t$ , с	Продукты	Выход $\gamma$ , %	Зольность $A^d$ , %	Извлечение горючей массы $\varepsilon$ , %	Суммарное извлечение горючей массы $\varepsilon$ , %	Суммарное извлечение горючей массы $\varepsilon$ , д. е.	$1 - \varepsilon$	$\lg \frac{1}{1 - \varepsilon}$	$\eta = \frac{\lg[\frac{1}{1 - \varepsilon_1}]}{\lg[\frac{1}{1 - \varepsilon_2}]}$
1	15	К-т 1								
	15	К-т 2								
	15	К-т 3								
	15	К-т 4								
	15	К-т 5								
	15	К-т 6								
		К-т окончательный								
	-	Общий к-т								
		Отходы								
		Исходный продукт								
2	15	К-т 1								
	15	К-т 2								
	15	К-т 3								
	15	К-т 4								
	15	К-т 5								
	15	К-т 6								
		К-т окончательный								
	-	Общий к-т								
		Отходы								
	0	Исходный продукт								



## Лабораторная работа № 2

### **Исследование флотации с применением планирования многофакторного эксперимента с целью получения оптимальных результатов**

#### ***Цель работы***

Получение оптимальных результатов с наименьшими затратами с помощью статистической модели эксперимента. Выбор факторов: крупности измельчения угля, плотности пульпы, режима съема пены и др. на технологические характеристики процесса и продуктов флотации, используя планы оптимизации многофакторных экспериментов по латинским квадратам. Построение математической модели флотационного процесса, проверка работы модели и прогнозирование факторов, при которых получаются наилучшие технологические характеристики флотации.

#### ***Введение***

На технологические характеристики флотации, качество угольных концентратов оказывают влияние множество факторов, в ряде случаев взаимосвязанных друг с другом: продолжительность флотации, крупность измельчения угля, плотность пульпы, режим съема пены и др. факторы.

Исследования процесса флотации, проводимые в предыдущих работах, проводились частично по полному факторному эксперименту, носили демонстрационный характер и не учитывали действие остальных стабилизированных факторов, также оказывающих влияние на процесс. В данной работе, благодаря построению плана эксперимента по латинскому квадрату можно при увеличении числа изменяемых факторов сократить количество опытов и в результате получить условия с получением наиболее выгодных результатов.

В квадраты можно включать любые изучаемые факторы. В этой работе факторы и их значения выдаются преподавателем. Все расчеты, оборудование и материалы, описание установки, порядок проведения работы изучаются и проводятся аналогично описанию в работах № 1.

## Латинский квадрат

Количество реагента, $j$	Тип флотационной машины, $i$			
	1	2	3	4
I	$A$	$B$	$C$	$D$
II	$C$	$D$	$A$	$B$
III	$B$	$A$	$D$	$C$
IV	$D$	$C$	$B$	$A$

$k - (A, B, C, D)$  типы реагентов

Для выполнения поставленных задач проводят исследования согласно плану. Например, опыт № 1 проводят при следующих условиях: тип флотационной машины № 1; тип реагента  $A$ ; количество реагента № I. Полученный результат опыта – значение функции записывают в квадрат рядом с буквой  $A$  на пересечении цифр 1 и I. Затем проводят опыт № 2 при условиях: тип флотационной машины № 2; тип реагента  $B$ ; количество реагента № I. Полученный результат опыта – значение функции записывают в квадрат рядом с буквой  $B$  на пересечении цифр 2 и I и так далее.

### ***Пример создания статистической модели эксперимента, используя планы в виде латинских квадратов***

Определить условия максимального выхода черного концентрата флотации манганитовой руды при изменении факторов: типа (буквы) и расхода реагентов (арабские цифры), типа флотационных машин (римские цифры).

По плану в виде латинского квадрата провели 16 опытов. Каждый фактор изменяли на четырех уровнях.

Результаты поместили в таблицу.

Количество реагента, $i$	Тип флотационной машины, $j$			
	I	II	III	IV
1	$B47$	$A90$	$C79$	$D50$
2	$D46$	$C74$	$B63$	$A69$
3	$A62$	$B61$	$D58$	$C66$
4	$C76$	$D63$	$A87$	$B59$

I – SmartCell™ WEMCO; II – WEMCO 1+1™; III – ФМР-63; IV – PNEUFLOT® cell HUMBOLDT WEDAG; А – техническая олеиновая кислота; В – окисленный петролатум (ОП); С – сырое талловое масло; D – смесь низкомолекулярных нафтенных кислот; 1 – 0,25 кг/т; 2 – 0,5 кг/т; 3 – 0,75 кг/т; 4 – 1,0 кг/т.

### Решение

1. Определяем суммы построчные и по столбцам:

Количество реагента, <i>i</i>	Тип флотационной машины, <i>j</i>				Итого
	I	II	III	IV	
1	B47	A90	C79	D50	266
2	D46	C74	B63	A69	252
3	A62	B61	D58	C 66	247
4	C76	D63	A87	B59	285
Итого	231	288	287	244	1050

Определяем суммы по латинским буквам:

Сумма А = 308, сумма В = 230, сумма С = 295, сумма D = 217.

2. Определяем ошибку точности результатов для этого находим:

1) суммы квадратов (факторные)

$$C_F = \frac{\sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^n x_{ij} \right)^2}{n} - \frac{\left( \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_{ij} \right)^2}{n^2}$$

– для разного типа флотационных машин

$$C_j = \frac{231^2 + 288^2 + 287^2 + 244^2}{4} - \frac{1050^2}{4^2} = 646,25;$$

– для различных расходов реагентов

$$C_i = \frac{266^2 + 252^2 + 247^2 + 285^2}{4} - \frac{1050^2}{4^2} = 217,25;$$

– для разного типа реагентов

$$C_k = \frac{308^2 + 230^2 + 295^2 + 217^2}{4} - \frac{1050^2}{4^2} = 1563,25.$$

2) Определяем общую сумму квадратов отклонений

$$C_x = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 - \frac{\left( \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_{ij} \right)^2}{n^2}.$$

$$C_k = 47^2 + 90^2 + 79^2 + \dots + 87^2 + 59^2 - \frac{1050^2}{4^2} = 2545,75.$$

3) Определяем сумму квадратов отклонений для нахождения остаточной дисперсии:

$$C_{\text{ост}} = C_x - C_j - C_i - C_k,$$

$$C_{\text{ост}} = 2545,75 - 646,25 - 217,25 - 1563,25 = 119,0.$$

4) Определяем средние квадраты отклонений:

$$S_F = \frac{C_F}{f_F},$$

$$S_{\text{ост}} = \frac{C_{\text{ост}}}{f_x},$$

где  $F = i, j$  или  $k$ .

$$f_F = n - 1, \quad f_F = 4 - 1 = 3,$$

$$f_x = (n^2 - 1) - 3(n - 1), \quad f_x = (4^2 - 1) - 3(4 - 1) = 6.$$

$$S_j = \frac{646,25}{3} = 215,4 \quad (\text{для типа флотационных машин}),$$

$$S_i = \frac{217,25}{3} = 72,4 \quad (\text{для различного расхода реагентов}),$$

$$S_k = \frac{1563,25}{3} = 521,1 \quad (\text{для разного типа реагентов}).$$

$$S_{\text{ост}} = \frac{119,0}{6} = 19,8.$$

5) Вычисляем факторные дисперсии:

$$\sigma_F^2 = \frac{S_F - S_{\text{ост}}}{n},$$

$$\sigma_j^2 = \frac{215,4 - 19,8}{4} = 48,9 \quad (\text{для разного типа флотационных машин}),$$

$$\sigma_i^2 = \frac{72,4 - 19,8}{4} = 13,2 \quad (\text{для различного расхода реагентов}),$$

$$\sigma_k^2 = \frac{521,4 - 19,8}{4} = 125,3 \quad (\text{для разного типа реагентов}).$$

6) Вычисляем дисперсию каждого среднего:

$$\sigma_{\text{ост}}^2 = \frac{S_{\text{ост}}}{n},$$

$$\sigma_{\text{ост}}^2 = \frac{19,8}{4} = 5,0.$$

7) Производим проверку равнозначности результатов по критерию Фишера:

$$F_F = \frac{\sigma_F^2}{\sigma_{\text{ост}}^2}.$$

$$F_j = \frac{48,9}{5} = 9,78 \quad (\text{для разного типа флотационных машин})$$

$$F_i = \frac{13,2}{5} = 2,64 \quad (\text{для различного расхода реагентов}),$$

$$F_k = \frac{125,3}{5} = 25,06 \quad (\text{для разного типа реагентов}).$$

Табличное значение критерия для  $f_F = 3$  и  $f_x = 6$   
 $F_m = 4,76$ . (Приложение 2.1, табл. 2.4).

$F_j > F_m$ ,  $(9,76 > 4,76)$  (для разного типа флотационных машин),

$F_i < F_m$ ,  $(2,64 < 4,76)$  (для различного расхода реагентов),

$F_k > F_m$ ,  $(25,06 > 4,76)$  (для разного типа реагентов).

**Следовательно, различие средних, вызванное использованием различных флотационных машин и различных типов реагентов, статистически значимо.**

**Тогда как использование реагентов в изученном диапазоне концентраций не оказывает влияние на выход флотационного концентрата.**

3. Определяем факторы вызывающие максимальное значение искомой функции. Используем *статистическую модель эксперимента*:

$$f(i, j, k) = b_0 + b_i + b_j + b_k + b_{ijk}.$$

– определяем общее среднее

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}}{n^2},$$

$$b_0 = \frac{1050}{4^2} = 65,6,$$

– определяем эффекты по факторам

$$b_F = \frac{\sum_{F=1}^n x_F}{n} - b_0,$$

– определяем эффекты для различных расходов реагентов

$$b_1 = \frac{266}{4} - 65,6 = 0,8;$$

$$b_2 = \frac{252}{4} - 65,6 = -2,6;$$

$$b_3 = \frac{247}{4} - 65,6 = -3,9;$$

$$b_4 = \frac{285}{4} - 65,6 = 5,7.$$

– определяем эффекты для флотационных машин:

$$b_I = \frac{231}{4} - 65,6 = -7,8;$$

$$b_{II} = \frac{288}{4} - 65,6 = 6,3;$$

$$b_{III} = \frac{287}{4} - 65,6 = 6,1;$$

$$b_{IV} = \frac{244}{4} - 65,6 = -4,6.$$

– определяем эффекты для разного типа реагентов

$$b_A = \frac{308}{4} - 65,6 = 11,4;$$

$$b_B = \frac{230}{4} - 65,6 = -8,0;$$

$$b_C = \frac{295}{4} - 65,6 = 8,0;$$

$$b_D = \frac{217}{4} - 65,6 = -11,4.$$

$$b_{ijk} = \sqrt{S_{\text{ост}}};$$

$$b_{ijk} = \sqrt{19,75} = \pm 4,45.$$

### Проверка работы модели

Необходимо убедиться, что расчеты сделаны верно. Для этого *выбираем любую клетку на вашем латинском квадрате*. Я выбрала клетку 2, II, C из условия этой задачи.

$$f(2, II, C) = 65,6 - 2,6 + 6,3 + 8,0 \pm 4,45 = 77,3 \pm 4,45.$$

Фактическое значение максимального выхода чернового концентрата флотации манганитовой руды соответствует эксперименту с применением флотационной машины II, реагента C с расходом 2–74% (см. латинский квадрат). Следовательно, модель правильно описывает экспериментальные результаты.

### Прогнозирование максимального результата

Для прогнозирования максимального результата принимаем условия, имеющие максимальные (или, в зависимости от условия задачи, минимальные) эффекты. В нашей задаче речь идет о выходе концентрата. Логично предположить, что производитель заинтересован в максимальном значении выхода.

Максимальные эффекты в этой задаче:

$$4 - b_4 = 5,7;$$

$$II - b_{II} = 6,3;$$

$$A - b_A = 11,4.$$

Следовательно,

$$f(4, II, A) = 65,6 + 5,7 + 6,3 + 11,4 \pm 4,45 = 89,0 \pm 4,45.$$

### Анализ результатов эксперимента

Согласно этим данным дальнейшие исследования необходимо производить, опираясь на начальные условия II, 4, А, т. е. максимальный выход черного концентрата флотации манганитовой руды будет достигнут на флотационной машине (II) Wemco 1+1<sup>TM</sup> при использовании в качестве собирателя (А) технической олеиновой кислоты.

Но принять условие 4 как опорное для дальнейших экспериментов невозможно, учитывая то, что *расход реагентов в изученном диапазоне не оказал влияния на выход флотационного концентрата*. (Рабочий критерий Фишера меньше критического по этому условию). Следовательно, необходимо провести исследования с целью определения минимального расхода реагента. Для этого необходимо опираться на начальные условия, соответствующие не факторам {4, II, А} а факторам {1, II, А}, т. е. расход реагентов целесообразно взять минимальный, но необходимо убедиться, что диапазон расхода реагентов не выбран в слишком малых концентрациях.

### Вывод

Максимальный выход черного концентрата флотации манганитовой руды можно получить, используя флотационную машину WEMCO 1+1<sup>TM</sup> (II), применяя в качестве собирателя техническую олеиновую кислоту (А) с расходом 0,25 кг/т (1).

Рекомендуется продолжить исследования в области уменьшения расхода собирателя.

### Порядок обработки и оформления данных

1. Ознакомиться с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выписать название, цель, оборудование. Подготовить таблицы 2.1, 2.3.
2. Получить задание у преподавателя. Построить матрицу плана по латинскому квадрату (табл. 2.2).
3. Провести флотационные опыты по условиям согласно плану эксперимента. Все условия кроме испытуемых оставлять постоянными. Заполнить табл. 2.3.
4. Построить статистическую модель, проверить ее работоспособность, проанализировать результаты. Спрогнозировать



условия оптимального эксперимента с наилучшими показателями флотации.

### **Контрольные вопросы**

1. Каким образом для исследования флотации можно применить методы планирования многофакторного эксперимента для получения оптимальных результатов?
2. Какие методы планирования многофакторного эксперимента можно применить?
3. Какие факторы оказывают влияние на флотацию?
4. Какое влияние крупность флотируемых частиц оказывает на результат флотации?
5. В каком случае применяют разбавленные пульпы, а в каком случае более плотные?
6. В каком порядке добавляются реагенты?
7. Какое влияние при флотации минералов оказывают аэрация и перемешивание пульпы?
8. Какое влияние на качество концентратов оказывает интенсивность съёма пены?
9. Какое влияние на расход реагентов оказывает температура пульпы?
10. Какие типы флотационных машин по способу передачи нагрузки из камеры в камеру вам известны?
11. Какие типы флотационных машин по способу аэрации пульпы вы знаете?
12. Опишите конструкцию, принцип действия, достоинства и недостатки, требования к конструкции механической флотационной машины «Механобр».
13. В чем особенность флотационных угольных машин МФУ?
14. Как вы понимаете явление кавитации?

## Приложение № 2

Таблица 2.1

## Исследуемые факторы и их значения при флотации

№	Наименование	Значения факторов			Единицы измерения
1	Крупность частиц	1 – 0-0,5	2 – 0-0,2	3 – 0,2-0,5	мм
2	Соотношение жидкого к твердому R	I – 10	II – 8	III – 12	–
3	Режим подачи собирателя – керосина	A – В зону агитации	B – В зону агитации в эмульсии	C – Дробно	–

Таблица 2.2

## Матрица планирования

Фактор № 1	Фактор № 2			Итого
	I	II	III	
1	B –	C –	A –	
2	C –	A –	B –	
3	A –	B –	C –	
Итого				

Фактор № 3 – A, B, C

Таблица 2.3

№ опыта	R	Масса навески, г	Тип, расход и режим подачи реагента								Время флотации, мин	Продукты	Выход		Условия по латинскому квадрату
			Собиратель				Вспениватель - КОБС						г	%	
			Расход, кг/т			Режим подачи	Расход, кг/т			Режим подачи					
			G, кг/т	g, г	n		G, кг/т	g, г	n						
1					2				1			Общий к-т			1, I, B
												Отходы			
2					2				1			Общий к-т			1, II, C
												Отходы			
3					2				1			Общий к-т			1, III, A
												Отходы			
4					2				1			Общий к-т			2, I, C
												Отходы			

№ опыта	R	Масса навески, г	Тип, расход и режим подачи реагента								Время флотации, мин	Продукты	Выход		Условия по латинскому квадрату
			Собиратель				Вспениватель - КОБС						г	%	
			Расход, кг/т			Режим подачи	Расход, кг/т			Режим подачи					
			G, кг/т	g, г	n		G, кг/т	g, г	n						
5					2				1			Общий к-т			2, II, A
												Отходы			
6					2				1			Общий к-т			2, III, B
												Отходы			
7					2				1			Общий к-т			3, I, A
												Отходы			
8					2				1			Общий к-т			3, II, B
												Отходы			

№ опыта	R	Масса навески, г	Тип, расход и режим подачи реагента								Время флотации, мин	Продукты	Выход		Условия по латинскому квадрату
			Собиратель				Вспениватель - КОБС						г	%	
			Расход, кг/т			Режим подачи	Расход, кг/т			Режим подачи					
			G, кг/т	g, г	n		G, кг/т	g, г	n						
9					2				1			Общий к-т			3, III, C
												Отходы			

Таблица 2.4

Значение критерия Фишера  $F$  при доверительной вероятности  $P = 95 \%$   
 ( $f_1$  – число степеней свободы для большей дисперсии, которая является числителем)

	$f_1$														
$f_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	
1	161	200	216	225	230	230	237	239	241	242	244	246	248	250	254
2	18,51	19,0	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	19,46	19,50
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	9,01	8,89	8,85	8,81	8,70	8,74	8,70	8,66	8,62	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,26	6,09	6,04	6,00	5,94	5,91	5,86	5,80	5,75	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	5,05	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,50	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,39	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	4,87	3,81	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,97	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,38	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,69	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,08	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,48	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,86	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,33	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,70	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,20	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,57	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,11	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,47	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	3,02	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,38	2,22
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,96	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,31	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,90	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,25	2,07

## Лабораторная работа № 3

### Определение оптимального времени флотации согласно заданной зольности концентрата

**Цель работы:** построение кривых обогатимости с целью определения оптимального времени флотации согласно заданной зольности концентрата.

#### Теоретическая часть

Определение оптимального времени флотации при заданной зольности концентрата осуществляется на основе экспериментального построения кинетических кривых флотации с последующим анализом зависимости между временем флотации, выходом и зольностью продуктов обогащения. На практике это сводится к тому, чтобы определить момент времени, после которого дальнейшая флотация не приводит к существенному повышению зольности, а лишь увеличивает энергопотребление и снижает производительность.

Строят кинетические кривые флотации по типу построения кривых обогатимости (табл. 3.1, 3.2, рис. 3.1).

Таблица 3.1

#### Практические результаты флотации угля

Время флотации, мин	Выход, %	Зольность, %	Суммарные характеристики			
			Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %
1	34,2	3,5				
1	21,0	6,1				
1	17,3	13,0				
1	9,1	26,2				
1	3,2	35,4				
1	2,0	53,8				
Отходы	13,2	72,3				
Итого	100		—	—	—	—



Таблица 3.2

## Результаты флотации угля с расчетом суммарных характеристик

Время флотации, мин	Выход, %	Зольность, %	Суммарные характеристики			
			Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %
1	34,2	3,5	34,2	3,5	100	18,9
1	21,0	6,1	55,2	4,5	65,8	26,8
1	17,3	13,0	72,5	6,5	44,8	36,6
1	9,1	26,2	81,6	8,7	27,5	51,4
1	3,2	35,4	84,8	9,7	18,4	63,9
1	2,0	53,8	86,8	10,7	15,2	69,9
Отходы	13,2	72,3	100	18,9	13,2	72,3
Итого	100	18,9	—	—	—	—
1	2	3	4	5	6	7

По данным таблицы строятся кривые обогатимости (рис. 3.1).

$\lambda$  – кривая элементарных зольностей показывает зависимость между выходом (колонка 4) и зольностью (колонка 3) проб, отобранных через одинаковые промежутки времени в течение процесса флотации.

$t$  – кривая времени флотации показывает зависимость выхода концентрата, полученного из суммарных проб, отобранных через одинаковые промежутки времени (колонка 4) от времени флотации (колонка 1);

$\beta$  – кривая средних зольностей концентрата, показывает зависимость между суммарным выходом пенного продукта (колонка 4) и их зольностью (колонка 5);

$\theta$  – кривая средних зольностей отходов, показывает зависимость между суммарным выходом отходов флотации (колонка 6) и их зольностью (колонка 7);

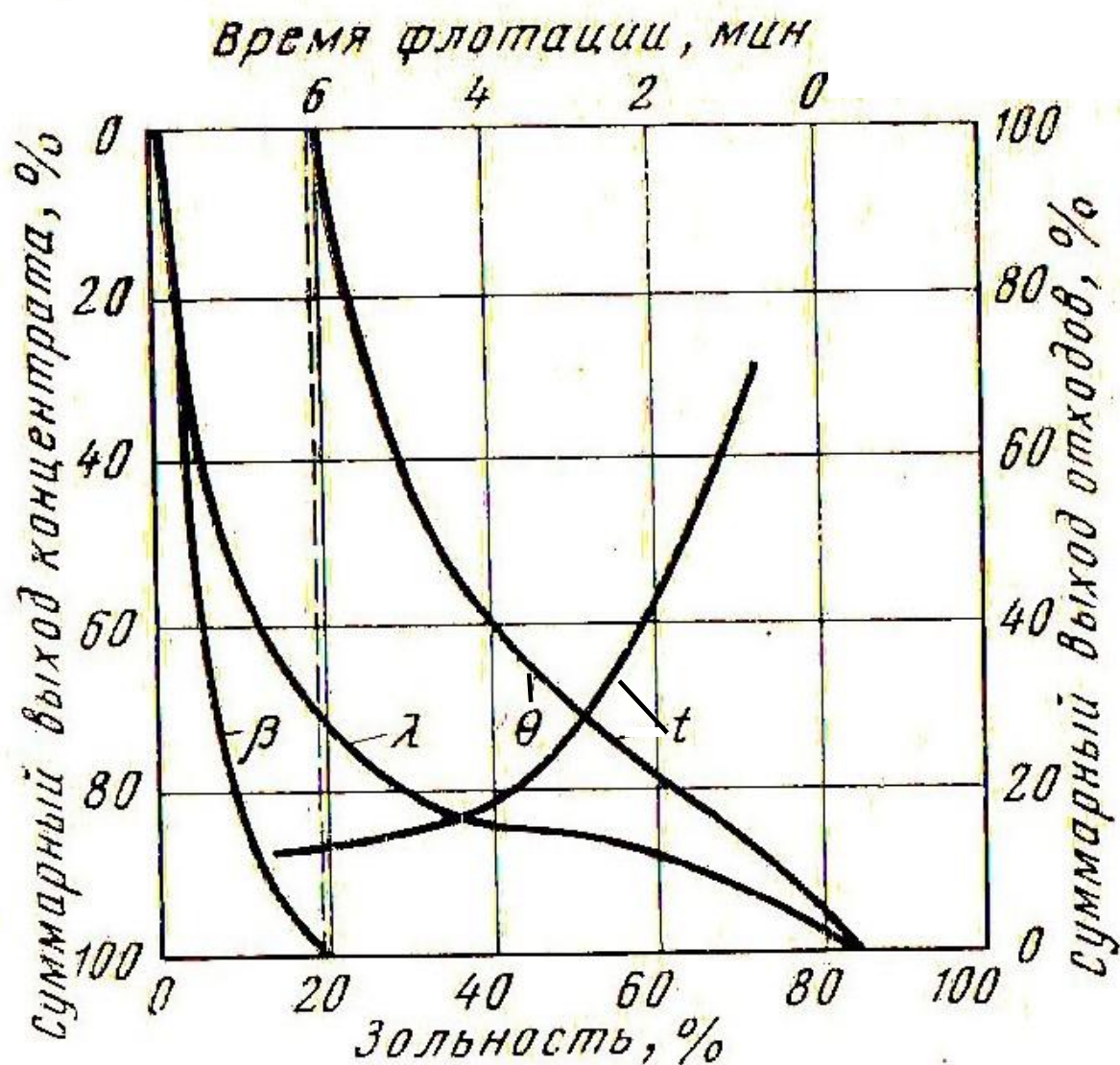


Рис. 3.1. Кривые флотируемости угля

По заданной зольности концентрата определяем выход пенного продукта, выход и зольность отходов и оптимальное время флотации.

Пусть требуемая зольность концентрата 10 %. Тогда выход концентрата – 80 %, выход отходов – 20 %, зольность отходов – 62 %, время флотации – 3 минуты 50 с (рис. 3.2).

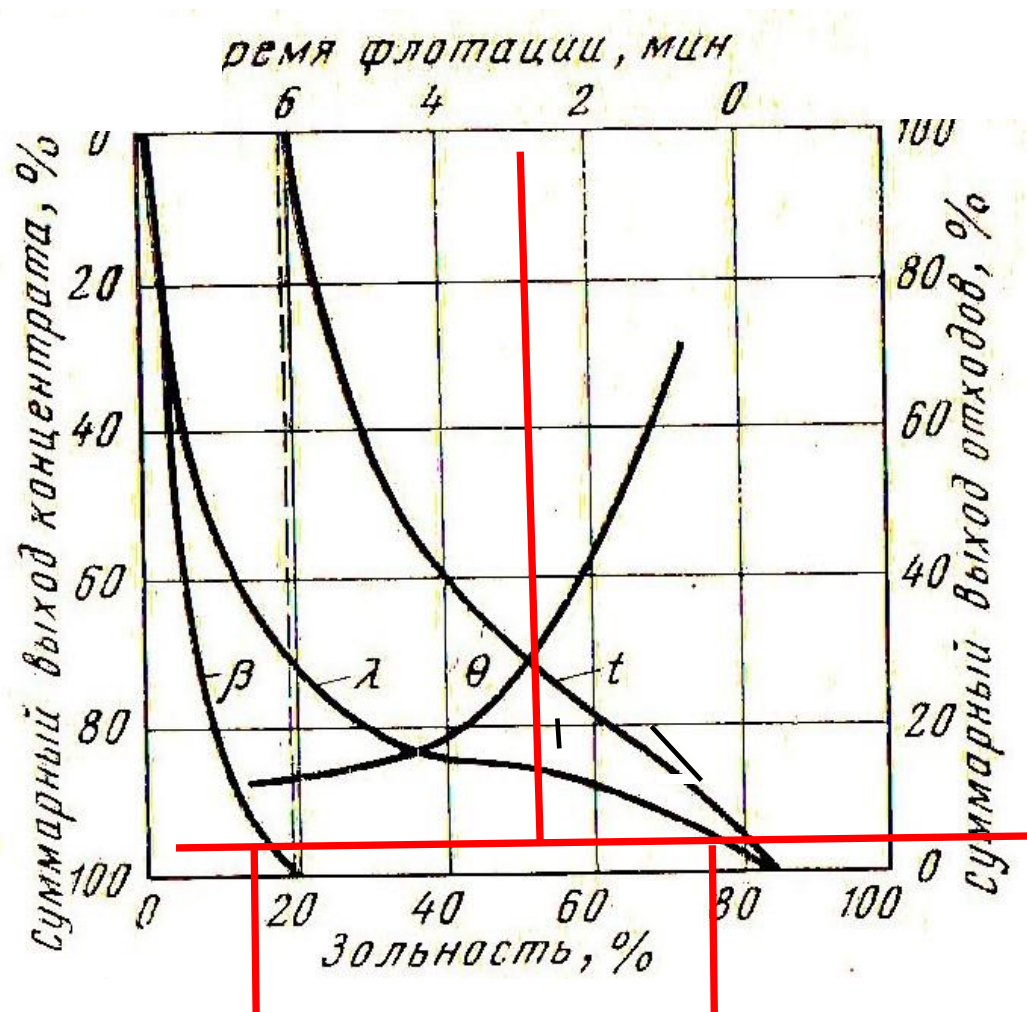


Рис. 3.2. Определение технологических характеристик процесса по кривым флотуемости угля

Извлечение горючей массы в концентрат можно рассчитать по формуле

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

В данной задаче

$$\varepsilon_k = \frac{80(100 - 10)}{(100 - 18,9)} = \frac{7200}{81,1} = 88,8 \text{ \%}.$$

### ***Порядок проведения работы***

**I.** Ознакомиться с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выписать название, цель, оборудование, изучить табл. 3.1 и 3.2 в Приложении 3.

Получите задание у преподавателя и занесите данные в таблицу: крупность угля, мм, массовое отношение жидкого к твердому Ж/Т (R), название реагента, режим подачи собирателя и вспенивателя. Рассчитайте расход реагента на тонну угля.

В работе необходимо рассчитать все данные для построения кривых флотиремости угля. Определить технологических характеристик процесса по заданной зольности концентрата (задается преподавателем): выход пенного продукта, выход и зольность отходов и оптимальное время флотации. Рассчитать извлечение горючей массы в концентрат

Флотацию проводить при разных условиях: при различном расходе собирателя, разных режимах подачи его в камеру (единовременно в зону агитации и мелко в процессе флотации или же в эмульсионном или капельном режимах) и др.

**II.** Перед началом исследований необходимо выполнить ряд подготовительных расчетов и измерений:

- определение рабочего объема камеры;
- аэрированности пульпы при данном гидроаэрационном режиме работы машины;
- определение и подготовка массы исходной навески пробы угля;
- определение расхода подаваемых флотационных реагентов.

#### ***1. Определение рабочего объема камеры флотационной машины – V***

Сначала определяется полезный объем камеры флотационной машины –  $V_{\text{п}}$ .

С помощью мерного цилиндра измеряется объем камеры, заполненный до ее сливного порога –  $V_1$ .

Зажимом перекрывается доступ воздуха в камеру. Включается привод импеллера. Определяется объем воды –  $V_2$ , которая выльется через сливной порог в емкость (5) (рис. 2.1), установленную на столике.

Полезный объем камеры флотационной машины –  $V_{\text{п}}$  определяется по разности

$$V_{\Pi} = V_1 - V_2.$$

Затем определяется рабочий объем камеры флотационной машины –  $V$ .

Подают в камеру воздух, снимая зажим с трубки (4) (рис. 1.1.) и замеряют объем воды –  $V_3$ , вытесненной из камеры. Рабочий объем находят по формуле

$$V = V_{\Pi} - V_3.$$

## **2. Определение азрированности пульпы – $A$**

Аэрированность (%) определяют по формуле

$$A = 100 \frac{V_3}{V_{\Pi}}.$$

## **3. Определение и подготовка массы исходной навески пробы угля**

Необходимую массу исходной навески (г) определяют в зависимости от заданного преподавателем  $R$  (массового отношения жидкого к твердому Ж/Т) по формуле

$$Q = \frac{V\delta}{R\delta + 10^3}.$$

где  $\delta$  – плотность угля, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – рабочий объем камеры флотационной машины, мл.

## **4. Определение расхода подаваемых флотационных реагентов**

Для подачи реагента в камеру применяют капельные пипетки (если рассчитанный объем реагента  $V_p < 1$  мл) или мерные пипетки (если рассчитанный объем реагента  $V_p > 1$  мл). Для каждого реагента должна использоваться отдельная посуда. Необходимый расход реагентов на навеску в граммах (на один опыт) рассчитывают по формуле

$$g = np_k,$$

где  $n$  – необходимое число капель на навеску угля (задается преподавателем);  $p_k$  – масса одной капли, г.

Расход реагентов на одну тонну угля, г/т, рассчитывают по формуле

$$G = \frac{g10^6}{Q},$$

где  $g$  – необходимый расход реагентов на навеску, г;  $Q$  – масса исходной навески, г.

**III.** После проведения измерений и расчетов значений физических величин: массу исходной навески  $Q$ , г, расход реагентов на навеску  $g$ , г, число капель на навеску угля  $n$  занести в табл. 3.1.

**IV.** Затем необходимо подготовить пробу к испытанию и приступить к выполнению эксперимента.

1. Исходную навеску помещают в кружку и заливают водой примерно на  $2/3$  рассчитанного объема пульпы. Замачивают ее в воде в течение 15–20 мин. Замоченную пробу переводят в камеру флотомашины, смывая осевшие частицы в кружке водой при помощи промывалки лабораторной или груши. Доливают в камеру воду до уровня рабочего объема пульпы.
2. Включают привод импеллера при закрытом вентиле подачи воздуха, и согласно условиям опыта по данным таблицы, вводят необходимый объем реагентов: собиратель в начале агитационного периода (выдерживают 1 мин при перемешивании импеллером пульпы), затем подают вспениватель (выдерживают 1 мин до конца периода агитации).
3. По истечении времени агитационного контактирования открывают вентиль подачи воздуха (**начало флотации**) и включают секундомер (для отсчета времени флотации).
4. Отсчет времени флотации производят с начала процесса – от начала подачи воздуха в камеру флотационной машины.
5. Через каждые 15 секунд после начала флотации необходимо собирать пену. При этом необходимо доливать воду в камеру смывая пену с ее внутренних поверхностей и поверхности импеллера, но **необходимо не допустить перелива пульпы в емкость для сбора продуктов флотации**.
6. Пенный продукт, снятый по истечению заданных периодов времени в отдельные емкости, подвергается фильтрации и сушке.
7. Флотация продолжается до появления «пустой» пены.
8. Определяется масса снятых и высушенных в сушильном шкафу порций пенного концентрата. Внимание! **Нельзя взвешивать горячие продукты**.

9. Отходы флотации угля переносят из камеры в специальную емкость, добавляют флокулянты, фильтруют и сушат осадок.
10. От продуктов флотационного опыта (концентратов и отходов) *после сушки необходимо отобрать примерно 1 г пробы методом квадратования с перемешиванием методом кольца и конуса, взвесить и высыпать в тигли*. Тигли передать лаборанту для сжигания проб.
11. Рассчитайте зольность продуктов по массе золы.
12. Определите извлечение горючей массы по формуле
 
$$\varepsilon_i = \frac{\gamma_i(100 - A_i^d)}{(100 - A_{\text{исх}}^d)}.$$
13. Результаты флотационных опытов и расчетов заносят в табл. 3.1 и 3.2.
14. По результатам опыта произведите расчет суммарных характеристик согласно табл. 3.2, начертите кривые флотиремости угля и проанализируйте.
15. Сделайте вывод по результатам эксперимента.

### Контрольные вопросы

1. Как осуществляется определение оптимального времени флотации при заданной зольности концентрата?
2. Как производится расчет вспомогательной таблицы для построения кинетических кривых флотации?
3. Почему необходимо придерживаться оптимального времени флотации?
4. Что показывает кривая элементарных зольностей  $\lambda$ ?
5. Как строится кривая времени флотации  $t$ ?
6. Зависимость между какими характеристиками определяет кривая средних зольностей концентрата  $\beta$ ?
7. Зависимость между какими характеристиками определяет кривая средних зольностей отходов  $\theta$ ?
8. По какой формуле можно рассчитать извлечение горючей массы в концентрат?

## Приложение 3



Таблица 3.1.

Влияние условий флотации на выход продуктов обогащения

№ опыта	R	Q, г	Тип, расход и режим подачи реагента										Время фло- тации, с	Продукты	Выход γ, г	Примечание
			Собиратель					Вспениватель								
			Название реагента	Расход			Режим подачи	Название реагента	Расход			Режим подачи				
G, кг/т	g, г	n		G, кг/т	g, г	n										
1	10		керосин			2	в зону агитации				в зону агитации подается последним за минуту до начала флотации	15	К-т 1			
												15	К-т 2			
												15	К-т 3			
												15	К-т 4			
												15	К-т 5			
												15	К-т 6			
													К-т окончательный			
												-	Общий к-т			
													Отходы			
	0,0	Исходный продукт														
2	10		керосин			2	дробно				в зону агитации подается последним за минуту до начала флотации	15	К-т 1			
												15	К-т 2			
												15	К-т 3			
												15	К-т 4			
												15	К-т 5			
												15	К-т 6			
													К-т окончательный			
												-	Общий к-т			
													Отходы			
													0,0	Исходный продукт		

Таблица 3.2.

## Результаты флотации угля с расчетом суммарных характеристик

Время флотации, с	Выход,		Зольность, %	Суммарные характеристики			
	г	%		Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %
15							
15							
15							
15							
15							
до пустой пены							
Отходы							
Итого		100		—	—	—	—

## **Лабораторная работа № 4**

### **Расчет принципиальной схемы обогащения руды.**

### **Выбор реагентного режима**

**Цель работы:** ознакомиться с технологиями обогащения руд, освоить расчет принципиальной схемы обогащения руды; изучить конструкцию и принцип действия выбранной машины, ее достоинства и недостатки.

**Задание 1. Рассчитать принципиальную схему обогащения руды.**

Данные для расчета необходимо взять из табл. 4.1. Вариант выбирается в соответствии с последней цифрой шифра зачетной книжки.

Необходимо вспомнить из геологии, что представляют собой минералы по варианту вашей контрольной работы. Относятся ли руды, имеющие одни и те же полезные химические минералы (например, галенит и церуссит) к сульфидным или окисленным рудам. Внимательно изучить режимы обогащения этих руд. Выделить все полезные компоненты, подлежащие извлечению в концентраты. Определить необходимость обогащения каждого из минералов, учитывая их промышленную важность, а также величину значения их содержания в исходной руде. При расчете принципиальной схемы обогащения минералы, имеющие один и тот же полезный химический элемент, можно объединить в один концентрат, но описать режим обогащения каждого минерала отдельно. Необходимо найти описание работы обогатительной фабрики, перерабатывающей соответствующие руды, используя прилагаемый список литературы и информацию из сети Интернет. Изучить технологию обогащения выделяемых в концентраты минералов, реагентные режимы, технологические схемы обогащения и т. д. Для расчета схемы использовать литературу, содержащую данные по извлечению полезных компонентов в концентраты и их содержанию в товарных концентратах. Содержания полезных компонентов в не одноименных концентратах необходимо найти в литературных источниках, исходя из опыта обогатительных фабрик.

Таблица 4.1

## Состав исходного сырья

Минерал	Химическая формула	Наименование компонента	Содержание компонента в исходной руде										
			Номера вариантов										А
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
халькопирит	$\text{CuFeS}_2$	халькопирит (Cu)		9,5 (3,3)			5,1 (1,8)	6,1 (2,1)			5,6 (1,9)		4,1 (1,4)
ковеллин	$\text{CuS}$	ковеллин (Cu)	3,1 (2,0)								4,1 (2,6)		
галенит	$\text{PbS}$	галенит (Pb)	3,5 (3,0)		4,5 (3,9)	3,0 (2,6)						4,5 (3,9)	3,1 (2,7)
сфалерит	$\text{ZnS}$	сфалерит (Zn)	4,7 (3,2)		3,4 (2,3)	3,5 (2,3)		5,5 (3,7)					4,5 (3,0)
пирит	$\text{FeS}_2$	пирит	18,1	20,0	5,1		15,6	5,6			21,5	1,7	4,1
кальцит	$\text{CaCO}_3$	кальцит	5,2	26,8	20,1			8,7		19,80	8,9		
кварц	$\text{SiO}_2$	кварц	49,9		55,0	47,8	60,9	52,8		66,31	38,4	71,2	31,1
англезит	$\text{PbSO}_4$	англезит (Pb)				6,7 (4,9)						1,5 (0,1)	5,3 (3,9)
полевошпат	алюмосиликаты натрия и калия	полевошпат	15,5			11,5	9,0	10,1	2,3	7,20			
пирротин	$\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$	пирротин (Ni)		13,2 (1,1)									
пентландит	$(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_9\text{S}_8$	пентландит (Ni)		2,1 (0,61)									
слюда	алюмосиликаты калия, магния и др.	слюда		28,4			7,25	9,7	1,2	2,12	20,1		

Таблица 4.1 (продолжение)

## Состав исходного сырья

Минерал	Химическая формула	Наименование компонента	Содержание компонента в исходной руде										
			Номера вариантов										А
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
барит	BaSO <sub>4</sub>	барит				19,3						21,1	22,3
церуссит	PbCO <sub>3</sub>	церуссит (Pb)			0,7 (0,54)								5,4 (4,2)
доломит	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	доломит			11,2	8,2							20,1
молибденит	MoS <sub>2</sub>	молибденит (Mo)					0,25 (0,15)			0,17 (0,1)			
шеелит	CaWO <sub>4</sub>	шеелит (WO <sub>3</sub> )								4,4 (3,5)	1,4 (1,2)		
малахит	Cu <sub>2</sub> [(OH) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ]	малахит (Cu)					1,9 (1,1)	1,5 (0,9)					
апатит	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·(F,Cl,OH)	апатит (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )							40,4 (17,5)				
нефелин	Na <sub>6</sub> K <sub>2</sub> Al <sub>8</sub> Si <sub>9</sub> O <sub>34</sub>	нефелин (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )							31,1 (10,3)				
титаномагнетит	FeTiO <sub>3</sub> ·Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	титаномагнетит (TiO <sub>2</sub> )							25 (5,2)				

## Пример расчета принципиальной схемы обогащения руды

Задание 1. Расчет принципиальной схемы обогащения руды  
по варианту А (табл. 4.1).

Состав исходного сырья

Минерал	Химическая формула	Содержание компонента в исходной руде	
		Наименование компонента	А
халькопирит	$\text{CuFeS}_2$	халькопирит (Cu)	4,1 (1,4)
галенит	$\text{PbS}$	галенит (Pb)	3,1 (2,7)
сфалерит	$\text{ZnS}$	сфалерит (Zn)	4,5 (3,0)
пирит	$\text{FeS}_2$	пирит	4,1
кварц	$\text{SiO}_2$	кварц	31,1
англезит	$\text{PbSO}_4$	англезит (Pb)	5,3 (3,9)
барит	$\text{BaSO}_4$	барит	22,3
церуссит	$\text{PbCO}_3$	церуссит (Pb)	5,4 (4,2)
доломит	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	доломит	20,1

Из анализа исходного сырья можно сделать вывод, что это полиметаллическая сульфидная руда, содержащая барит.

Полезные минералы:

сульфидные:

халькопирит, с содержанием меди – 1,4 %;

галенит, с содержанием свинца – 2,7 %;

сфалерит, с содержанием цинка – 3,0 %;

окисленные:

англезит, с содержанием свинца – 3,9 %;

церуссит, с содержанием свинца – 4,2 %;

барит, с содержанием – 22,3 %.

Содержание пирита в исходной руде невелико – 4,1 %, поэтому не имеет смысла извлекать его в отдельный концентрат.

Ориентируясь на литературные источники, опираясь на опыт работы обогатительных фабрик, определяем содержание полезных компонентов в концентратах и извлечение полезных компонентов в родные концентраты. В нашем случае ближе всего к нашему варианту «А» представлено описание обогащения руд свинцово-цинковых баритсодержащих [6, стр. 97].

Выбираем технологические показатели для кондиционных концентратов:

свинцового:

содержание свинца –  $\beta_{Pb}^{Pb} = 51,8 \%$ . (В источнике [6, стр. 101] соответствующие цифры по трем концентратам: 47,06 %, 43,5 % и 53,41 %. Необходимо выбрать любую цифру, ориентируясь на диапазон 43,5–53,41 или найти кондиции на концентраты в других источниках);

содержание меди –  $\beta_{Pb}^{Cu} = 1,1 \%$ . (На изучаемой фабрике не выделяются медные концентраты, следовательно, необходимо посмотреть значения содержания меди в свинцовых концентратах на других фабриках. Можно воспользоваться табл. 1.48 на [6, стр. 141]. Содержание меди в свинцовых концентратах: 0,97, 1,27. Можно принять, например, 1,1);

содержание цинка принимаем, ориентируясь на данные табл. 1.30 стр. 101 [6] –  $\beta_{Pb}^{Zn} = 5,5 \%$ ;

содержание барита находим аналогично, можно выбрать, например, –  $\beta_{Pb}^{BaSO_4} = 1,1 \%$ .

Извлечение свинца в свинцовый концентрат можно принять, опираясь на опыт этих же фабрик (выбираем из диапазона 32,9 % – 74 %), например –  $\beta_{Pb}^{Pb} = 71,8 \%$ .

Таким же образом, находим технологические показатели по остальным концентратам.

Заносим выбранные и принятые технологические показатели в табл. 3.2 и определяем недостающие.

Итак, принципиальная схема обогащения полиметаллической руды имеет вид

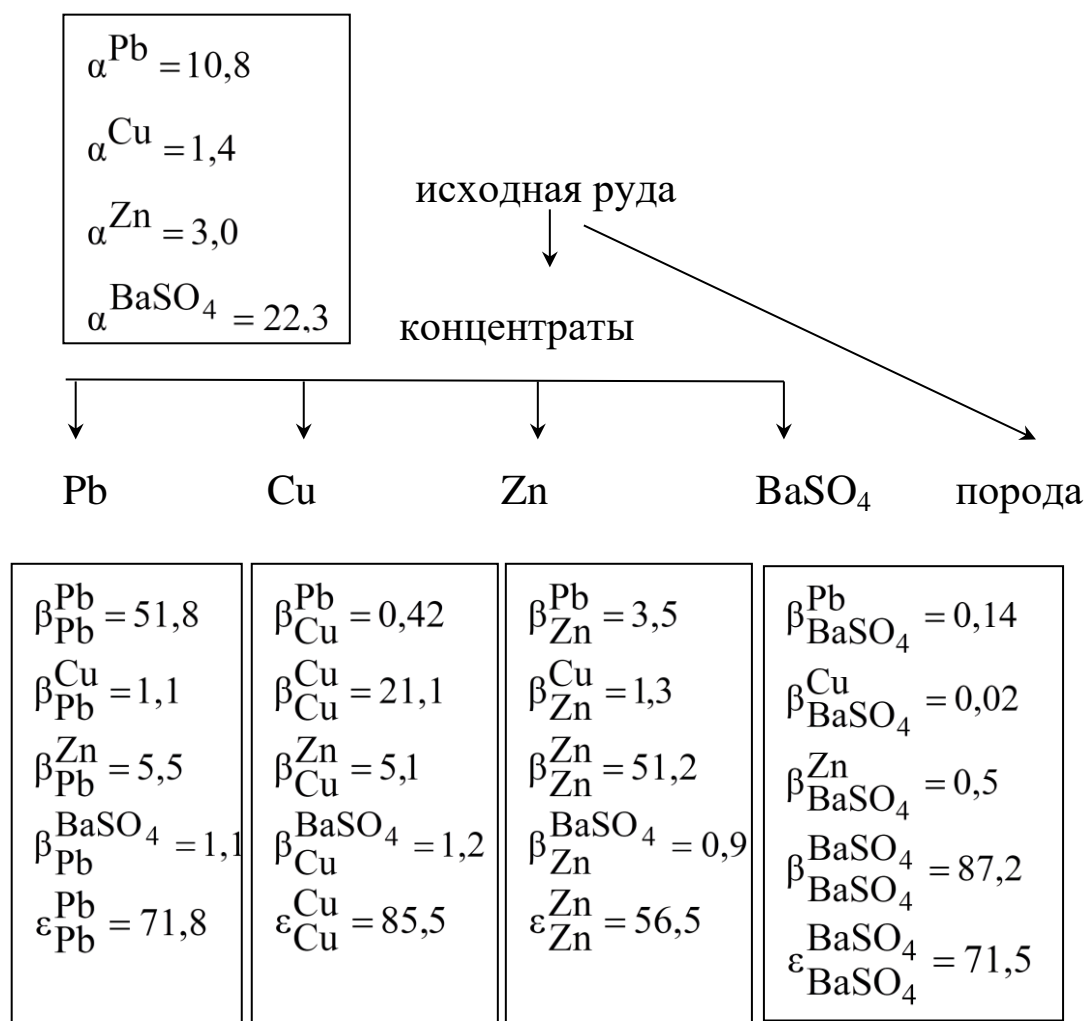


Таблица 4.2  
Баланс по конечным продуктам флотации

Наименование продуктов	Вы- ход, %	Содержание, %				Извлечение, %			
		Pb	Cu	Zn	BaSO <sub>4</sub>	Pb	Cu	Zn	BaSO <sub>4</sub>
Концентрат Pb		51,8	1,1	5,5	1,1	71,8			
Концентрат Cu		0,42	21,1	5,1	1,2		75,5		
Концентрат Zn		3,5	1,3	51,2	0,9			56,5	
Концентрат BaSO <sub>4</sub>		0,14	0,02	0,5	87,2				71,5
Отходы									
Исходная руда	100,0	10,8	1,4	3,0	22,3	100,0	100,0	100,0	100,0



Проводим расчеты для выполнения недостающих позиций в табл. 3.2.

Определяем выходы продуктов принципиальной схемы обогащения по формуле

$$\gamma_{\text{к-т}} = \frac{\varepsilon_{\text{к-т}}^{\text{ПК}} \cdot \alpha^{\text{ПК}}}{\beta_{\text{к-т}}^{\text{ПК}}},$$

где «к-т» означает концентрат, «ПК» – полезный компонент.

$$\gamma_{\text{Pb}} = \frac{\varepsilon_{\text{Pb}}^{\text{Pb}} \cdot \alpha^{\text{Pb}}}{\beta_{\text{Pb}}^{\text{Pb}}} = \frac{71,8 \cdot 10,8}{51,8} = 15,0 \text{ \%};$$

$$\gamma_{\text{Cu}} = \frac{\varepsilon_{\text{Cu}}^{\text{Cu}} \cdot \alpha^{\text{Cu}}}{\beta_{\text{Cu}}^{\text{Cu}}} = \frac{75,5 \cdot 1,4}{21,1} = 5,01 \text{ \%};$$

$$\gamma_{\text{Zn}} = \frac{\varepsilon_{\text{Zn}}^{\text{Zn}} \cdot \alpha^{\text{Zn}}}{\beta_{\text{Zn}}^{\text{Zn}}} = \frac{56,5 \cdot 3,0}{51,2} = 3,3 \text{ \%};$$

$$\gamma_{\text{BaSO}_4} = \frac{\varepsilon_{\text{BaSO}_4}^{\text{BaSO}_4} \cdot \alpha^{\text{BaSO}_4}}{\beta_{\text{BaSO}_4}^{\text{BaSO}_4}} = \frac{71,5 \cdot 22,3}{87,2} = 18,3 \text{ \%};$$

$$\gamma_{\text{отх}} = 100,0 - \sum \gamma_{\text{к-т}} = 100,0 - (15,0 + 5,01 + 3,3 + 18,3) = 58,39 \text{ \%};$$

Далее проводим расчет извлечений полезных компонентов в не одноименные концентраты.

$$\varepsilon_{\text{к-т}}^{\text{ПК}} = \frac{\gamma_{\text{к-т}} \cdot \beta_{\text{к-т}}^{\text{ПК}}}{\alpha^{\text{ПК}}};$$

$$\varepsilon_{\text{Pb}}^{\text{Cu}} = \frac{\gamma_{\text{Pb}} \cdot \beta_{\text{Pb}}^{\text{Cu}}}{\alpha^{\text{Cu}}} = \frac{15,0 \cdot 1,1}{1,4} = 11,7 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{Pb}}^{\text{Zn}} = \frac{\gamma_{\text{Pb}} \cdot \beta_{\text{Pb}}^{\text{Zn}}}{\alpha^{\text{Zn}}} = \frac{15,0 \cdot 5,5}{3,0} = 27,5 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{Pb}}^{\text{BaSO}_4} = \frac{\gamma_{\text{Pb}} \cdot \beta_{\text{Pb}}^{\text{BaSO}_4}}{\alpha^{\text{BaSO}_4}} = \frac{15,0 \cdot 1,1}{22,3} = 0,7 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{Cu}}^{\text{Pb}} = \frac{\gamma_{\text{Cu}} \cdot \beta_{\text{Cu}}^{\text{Pb}}}{\alpha^{\text{Pb}}} = \frac{5,01 \cdot 0,42}{10,8} = 0,19 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{Cu}}^{\text{Zn}} = \frac{\gamma_{\text{Cu}} \cdot \beta_{\text{Cu}}^{\text{Zn}}}{\alpha^{\text{Zn}}} = \frac{5,01 \cdot 5,1}{3,0} = 8,5 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{Cu}}^{\text{BaSO}_4} = \frac{\gamma_{\text{Cu}} \cdot \beta_{\text{Cu}}^{\text{BaSO}_4}}{\alpha^{\text{BaSO}_4}} = \frac{5,01 \cdot 1,2}{22,3} = 0,27 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{Zn}}^{\text{Pb}} = \frac{\gamma_{\text{Zn}} \cdot \beta_{\text{Zn}}^{\text{Pb}}}{\alpha^{\text{Pb}}} = \frac{3,3 \cdot 3,5}{10,8} = 1,1 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{Zn}}^{\text{Cu}} = \frac{\gamma_{\text{Zn}} \cdot \beta_{\text{Zn}}^{\text{Cu}}}{\alpha^{\text{Cu}}} = \frac{3,3 \cdot 1,3}{1,4} = 3,1 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{Zn}}^{\text{BaSO}_4} = \frac{\gamma_{\text{Zn}} \cdot \beta_{\text{Zn}}^{\text{BaSO}_4}}{\alpha^{\text{BaSO}_4}} = \frac{3,3 \cdot 0,9}{22,3} = 0,13 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{BaSO}_4}^{\text{Pb}} = \frac{\gamma_{\text{BaSO}_4} \cdot \beta_{\text{BaSO}_4}^{\text{Pb}}}{\alpha^{\text{Pb}}} = \frac{18,3 \cdot 0,14}{10,8} = 0,24 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{BaSO}_4}^{\text{Cu}} = \frac{\gamma_{\text{BaSO}_4} \cdot \beta_{\text{BaSO}_4}^{\text{Cu}}}{\alpha^{\text{Cu}}} = \frac{18,3 \cdot 0,02}{1,4} = 0,26 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{BaSO}_4}^{\text{Zn}} = \frac{\gamma_{\text{BaSO}_4} \cdot \beta_{\text{BaSO}_4}^{\text{Zn}}}{\alpha^{\text{Zn}}} = \frac{18,3 \cdot 0,5}{3,0} = 3,1 \text{ \%};$$

Определяем извлечения полезных компонентов в отходы

$$\varepsilon_{\text{отх}} = 100,0 - \sum \varepsilon_{\text{к-т}};$$

$$\varepsilon_{\text{отх}}^{\text{Pb}} = 100,0 - (71,8 + 0,19 + 1,1 + 0,24) = 26,67 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{отх}}^{\text{Cu}} = 100,0 - (11,7 + 75,5 + 3,1 + 0,26) = 9,44 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{отх}}^{\text{Zn}} = 100,0 - (27,5 + 8,5 + 56,5 + 3,1) = 4,4 \text{ \%};$$

$$\varepsilon_{\text{отх}}^{\text{BaSO}_4} = 100,0 - (0,74 + 0,27 + 0,13 + 71,5) = 9,44 \text{ \%}.$$

Рассчитываем содержание полезных компонентов в отходах

$$\beta_{\text{отх}}^{\text{ПК}} = \frac{\varepsilon_{\text{отх}}^{\text{ПК}} \cdot \alpha^{\text{ПК}}}{\gamma_{\text{отх}}};$$

$$\beta_{\text{отх}}^{\text{Pb}} = \frac{\varepsilon_{\text{отх}}^{\text{Pb}} \cdot \alpha^{\text{Pb}}}{\gamma_{\text{отх}}} = \frac{26,67 \cdot 10,8}{58,39} = 4,9;$$

$$\beta_{\text{отх}}^{\text{Cu}} = \frac{\varepsilon_{\text{отх}}^{\text{Cu}} \cdot \alpha^{\text{Cu}}}{\gamma_{\text{отх}}} = \frac{9,44 \cdot 1,4}{58,39} = 0,23;$$

$$\beta_{\text{отх}}^{\text{Zn}} = \frac{\varepsilon_{\text{отх}}^{\text{Zn}} \cdot \alpha^{\text{Zn}}}{\gamma_{\text{отх}}} = \frac{4,4 \cdot 3,0}{58,39} = 0,23;$$

$$\beta_{\text{отх}}^{\text{BaSO}_4} = \frac{\varepsilon_{\text{отх}}^{\text{BaSO}_4} \cdot \alpha^{\text{BaSO}_4}}{\gamma_{\text{отх}}} = \frac{27,36 \cdot 22,3}{58,39} = 10,44.$$

Заносим недостающие расчетные технологические показатели в таблицу.

### Баланс по конечным продуктам флотации

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %				Извлечение, %			
		Pb	Cu	Zn	BaSO <sub>4</sub>	Pb	Cu	Zn	BaSO <sub>4</sub>
Концентрат Pb	15,0	51,8	1,1	5,5	1,1	71,8	11,7	27,5	0,74
Концентрат Cu	5,01	0,42	21,1	5,1	1,2	0,19	75,5	8,5	0,27
Концентрат Zn	3,3	3,5	1,3	51,2	0,9	1,1	3,1	56,5	0,13
Концентрат BaSO <sub>4</sub>	18,3	0,14	0,02	0,5	87,2	0,24	0,26	3,1	71,5
Отходы	58,39	4,9	0,23	0,23	10,44	26,67	9,44	4,4	27,36
Исходная руда	100,0	10,8	1,4	3,0	22,3	100,0	100,0	100,0	100,0

Производим проверку подведением баланса по каждому  $i$ -му полезному компоненту

$$\alpha_i = \frac{\sum \beta_i \gamma_i}{100};$$

баланс по свинцу:

$$\alpha_{Pb} = \frac{51,8 \cdot 15,0 + 0,42 \cdot 5,01 + 3,5 \cdot 3,3 + 0,14 \cdot 18,3 + 4,9 \cdot 58,39}{100} = 10,8;$$

баланс по меди:

$$\alpha_{Cu} = \frac{1,1 \cdot 15,0 + 21,1 \cdot 5,01 + 1,3 \cdot 3,3 + 0,02 \cdot 18,3 + 0,23 \cdot 58,39}{100} = 1,4;$$

баланс по цинку:

$$\alpha_{Zn} = \frac{5,5 \cdot 15,0 + 5,1 \cdot 5,01 + 51,2 \cdot 3,3 + 0,5 \cdot 18,3 + 0,23 \cdot 58,39}{100} = 3,0;$$

баланс по бариту:

$$\alpha_{\text{BaSO}_4} = \frac{1,1 \cdot 15,0 + 1,2 \cdot 5,01 + 0,9 \cdot 3,3 + 87,2 \cdot 18,3 + 10,44 \cdot 58,39}{100} = 22,3.$$

Следовательно, расчеты проведены правильно.

**Задание 2. Описать одну из возможных схем обогащения руды, имеющих место в России или за рубежом, описанных в литературных источниках, например, [6] с выделением товарных концентратов, близких по типу схемы, согласно варианту задания.**

Далее следует приступать к выполнению заданий 3, 4.

**Задание 3. Описать реагентные режимы обогащения каждого из минералов (по каждому циклу обогащения): назначение каждого реагента, расход, место подачи.**

В нашем случае возможна, например, технологическая схема обогащения руды, представленная на рис. 3.1. (Вместо типа реагента, необходимо указать конкретный, выбранный вами реагент.)

**Задание 4. Выбрать и начертить схему флотационной машины. Описать конструкцию и принцип действия выбранной машины, ее достоинства и недостатки.**

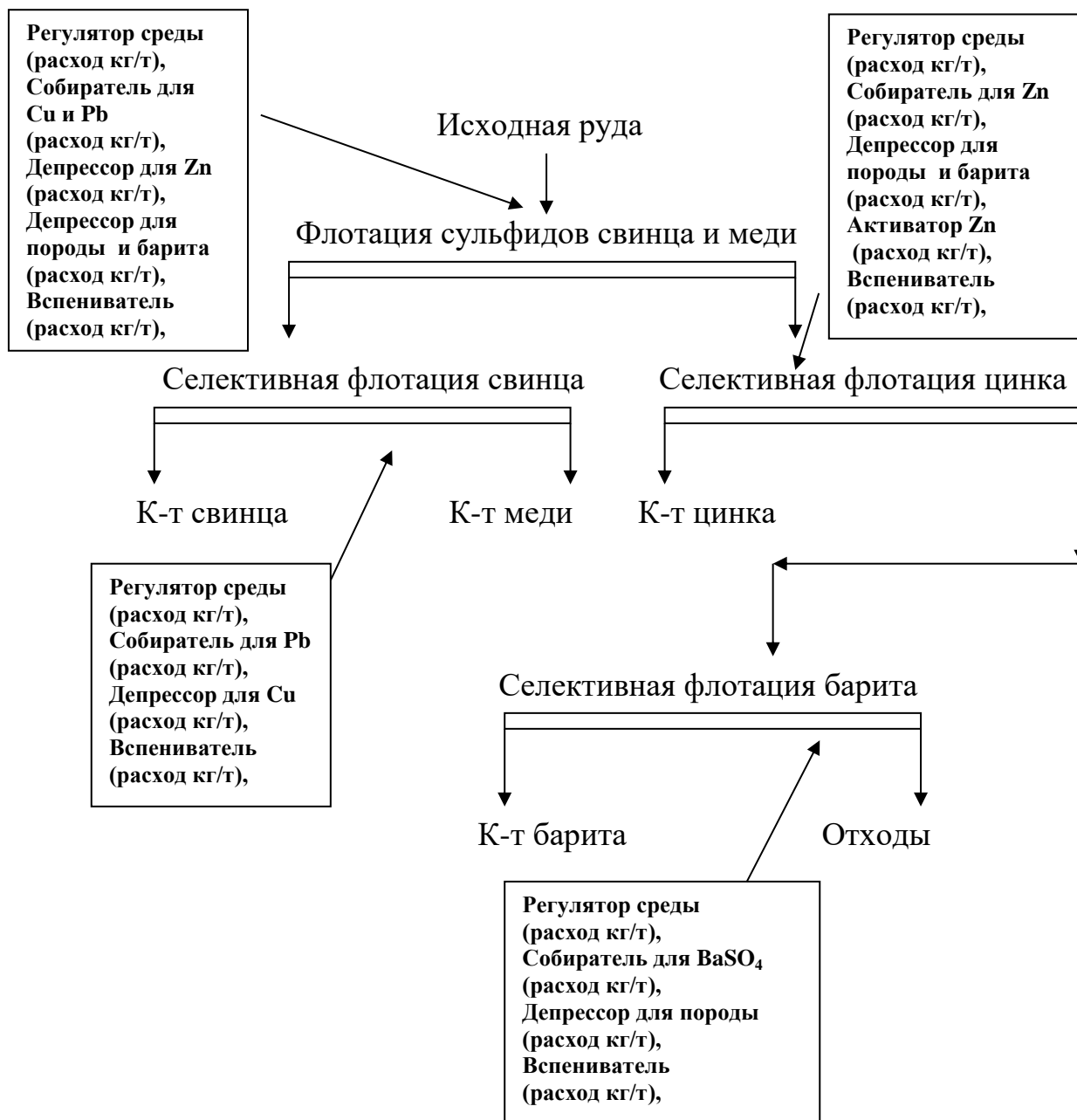


Рис. 4.1. Принципиальная технологическая схема обогащения полиметаллической сульфидной руды с баритом

## Лабораторная работа № 5

### Основные виды флотационных процессов

**Цель работы:** получить представление о существующих видах флотационного обогащения минералов.

Флотация состоит в том, что компоненты измельченного полезного ископаемого (в основном размерами менее 0,5 мм) разделяются на основе различной их способности удерживаться на границе раздела двух фаз. Закрепление минеральных частиц происходит избирательно. Гидрофобные частицы прилипают к границе раздела фаз, например, вода-воздух. Ярким примером является закрепление гидрофобной частицы на поверхности пузырька, которые затем всплывают за счет его подъемной силы, в отличие от гидрофильных частиц, поверхность которых не способна к прилипанию.

#### Классификация процессов флотации

Существуют различные виды флотационных процессов.

**Пленочная флотация** – это процесс, при котором гидрофильные частицы тонут, а гидрофобные частицы, попадая на поверхность движущегося потока воды, остаются на ней. Процесс пленочной флотации малопроизводителен, весьма чувствителен к технике проведения. В настоящее время ограничен в применении, так как требует большого различия во флотационных свойствах разделяемых минеральных частиц. В практике обогащения применяется только при доводке золото- и алмазосодержащих руд.

**Масляная флотация** – это процесс, при котором гидрофобные частицы прилипают к каплям масла в пульпе и всплывают наверх, а гидрофильные частицы остаются взвешенными в пульпе. Процесс масляной флотации вследствие большого расхода масла (10–20 % от веса руды) широкого промышленного применения не получил.

**Флотация на жировых поверхностях** – флотационный процесс разделения минералов на поверхности жир-вода. Примером такого разделения может служить обогащение алмазов на жировых поверхностях.

**Флотация твердой стенкой** – это процесс флотации тонких шламов (–10 мкм) с помощью носителя – гидрофобных ча-

стиц флотационной крупности, селективно взаимодействующих с извлекаемыми шламами, при этом образующиеся агрегаты подвергаются обычной пенной флотации.

**Пенная сепарация** – это разновидность процесса флотации, при котором исходная суспензия подается сверху на заранее подготовленный пенный слой без его разрушения. При этом гидрофильные частицы проникают сквозь слой пены в камерный продукт флотационной машины, а гидрофобные частицы закрепляются в пенном слое.

**Пенная флотация** – это процесс, при котором гидрофобные частицы прилипают пузырькам воздуха или любого газа в пульпе, поднимаются за счет подъемной силы пузырька, образуя пену, а гидрофильные частицы остаются в пульпе во взвешенном состоянии. При обычной пенной флотации в качестве газа используется засасываемый или подаваемый под давлением воздух, который диспергируется в пульпе на мелкие пузырьки с помощью различных устройств.

**Флотация кипячением** – осуществляется пузырьками из извлеченного из воды растворенного в ней воздуха и водяного пара, получаемого при кипячении воды

**Вакуумная флотация** – основана на понижении давления ниже атмосферного во флотационной камере. При этом происходит выделение воздуха, растворенного в воде, и его концентрация во флотационные пузырьки.

**Флотация под давлением** – насыщение пульпы воздухом происходит под повышенным давлением, а образование пузырьков воздуха – при сбрасывании давления на пульпу.

**Электрофлотация** – это процесс флотации минерального сырья пузырьками кислорода и водорода, образующимися при электролизе воды.

**Химическая флотация** – процесс флотации на пузырьках газа, полученного в результате химической реакции, например, газ получали действием кислоты на известняк, который для этого загружали в пульпу.

**Ионная флотация** – это процесс, предназначенный для извлечения из растворов ионов, образующих при взаимодействии с реагентами-собирателями тонкодисперсные гидрофобные осадки,



частицы которых сорбируются на поверхности пузырьков и извлекаются в пену так же, как и при пенной флотации.

**Флокулярная флотация** – это процесс флотации, который проявляется в том, что мелкие минеральные зерна под влиянием флотационного реагента собираются в крупные агломераты, которые так же, как и отдельные зерна, флотируются и извлекаются в пенный продукт.

**Флотогравитация** – это процесс гравитационного обогащения минерального сырья, при котором, в обработанной реагентами пульпе, благодаря введению в нее пузырьков воздуха, образуются аэрофлокулы с гидрофобными минералами. Образованные аэрофлокулы (флотационные комплексы пузырек-частица) имеют плотность гораздо меньшую, чем частица без пузырька. Таким образом достигается больший контраст между плотностями разделяемых гравитационными методами минералов. Флотогравитационное обогащение может осуществляться на спиральных сепараторах, концентрационных столах, отсадочных машинах, суживающихся желобах.

### ***Оборудование и материалы***

Смеси чистых минералов крупностью (минус)  $-0,2$  мм: кварца-серы (1:1), кварца-угля (1:1) или кварца-талька (1:1); технические весы с разновесами, фарфоровые чашки ( $d = 50$  мм); сушильный шкаф, шпатели, предметные стекла, пробирки, химические стаканы емкостью  $250 \div 500$  см<sup>3</sup>, штатив, бюретка, тигли, пипетки, флотационные реагенты: машинное масло или другой аполярный собиратель, КОБС.

### ***Методика проведения опытов***

#### **Пленочная флотация**

В химический стакан с водой всыпьте навеску минеральной смеси кварца и серы (1:1) массой 2 г. Загрузку смеси необходимо производить осторожно, с небольшой высоты, легким встряхиванием и одновременным наклоном стеклянной пластинки, на которой помещена навеска, чтобы минеральная смесь попадала на поверхность воды тонким слоем. Одновременно в стакан из бюретки подведите тонкую струю воды. Воду со слоем не смачивающихся минеральных частиц из стакана через носик слейте в

подставленную фарфоровую чашку. Утонувший материал необходимо подвергнуть обезвоживанию, сушке и взвешиванию. После взвешивания материал перенесите в тигель и прокалите в печи в течение 15 мин при  $t = 300 \div 400^\circ\text{C}$ , затем остудите и взвесьте. По разнице массы определите состав отходов.

### **Пример расчета**

Пусть масса навески до опыта равна 2 г. Содержание серы в исходном продукте  $\alpha = 50 \%$ . Допустим, что в результате опыта получили выход отходов  $\gamma_{\text{отх}} = 1,3$  г до прокаливания, т. е.  $\gamma_{\text{отх}} = 65 \%$ , после прокаливания  $\gamma'_{\text{отх}} = 0,97$  г.

Отсюда содержание серы в отходах

$$\beta_{\text{отх}} = \frac{1,3 - 0,97}{1,3} 100 = 25,38 \%,$$

извлечение серы в отходы

$$\varepsilon_{\text{отх}} = \frac{\gamma_{\text{отх}} \beta_{\text{отх}}}{\alpha},$$

$$\varepsilon_{\text{отх}} = \frac{65 \cdot 25,38}{50} = 33 \%,$$

Определив  $\beta_{\text{отх}}$  и  $\varepsilon_{\text{отх}}$ , находим показатели для концентрата: извлечение серы в концентрат  $\varepsilon_{\text{к}}$

$$\varepsilon_{\text{к}} = 100 - \varepsilon_{\text{отх}} = 100 - 33 = 67 \%,$$

выход концентрата:

$$\gamma_{\text{к}} = 100 - \gamma_{\text{отх}} = 100 - 65 = 35 \%,$$

содержание серы в концентрате:

$$\beta_{\text{к}} = \frac{\varepsilon_{\text{к}} \alpha}{\gamma_{\text{к}}},$$

$$\beta_{\text{к}} = \frac{67 \cdot 50}{35} = 95,7 \%,$$

### **Масляная флотация**

В пробирку, до половины наполненную водой, насыпьте 2 г смеси, например, кварца и угля (1:1). Пробирку закройте пробкой и несколько раз встряхните. Затем добавьте в пробирку 1÷2 мл машинного масла и снова встряхните. Дайте отстояться и через 3÷5 мин слейте слой масла, содержащий угольные частицы. Оставшийся в пробирке материал перенесите в фарфоровую чаш-

ку и просушите. После охлаждения отходы взвесьте. По разнице массы определите состав отходов. Сделать расчеты технологических характеристик отходов аналогично вышеописанным.

### **Пенная флотация**

В пробирку, до половины наполненную водой, насыпьте 2 г кварца и угля (1:1). Пробирку закройте и несколько раз встряхните. Затем добавьте одну каплю керосина и одну каплю КОБСа. Пробирку закройте и снова энергично встряхните. Дать отстояться и через 3÷5 мин. Слейте или соберите ложечкой пену и большую часть воды из пробирки. Осадок перенесите в фарфоровые чашки, высушите, взвесьте, перенесите в тигель, прокалите в печи 15 мин. Дайте остыть и взвесьте. По разнице массы определите состав отходов.

#### ***Порядок обработки и оформления данных***

1. Ознакомьтесь с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выпишите название, цель, оборудование, подготовьте табл. 5.1.
2. Получите задание у преподавателя.
3. По каждому виду флотации проведите расчеты по выходу, содержанию серы, кварца и горючей массы угля, извлечению серы, кварца или угля в продукты обогащения.
4. Занесите в табл. 5.1 расчетные данные.
5. Сопоставьте результаты опытов, сделайте вывод об эффективности различных флотационных процессов.

Таблица 5.1

#### **Технологические характеристики процессов пленочной, масляной и пенной флотации**

Вид флотации	Материал	Продукт	Выход,	Содержание	Извлечение
Пленочная		Концентрат			
		Отходы			
Масляная		Концентрат			
		Отходы			
Пенная		Концентрат			
		Отходы			

### ***Контрольные вопросы***

1. Какие существуют разновидности флотационных процессов разделения минералов?
2. Какой вид флотации используется при флотогравитации?
3. Для каких материалов применяется процесс пенной сепарации?

## **Порядок защиты работ по лабораторному практикуму**

Студенты выполняют задания в течение пяти занятий. Они должны изучить необходимую литературу по курсу в соответствии с программой, особенно обращая внимание на указанные ссылки. Условие каждого задания следует полностью переписать в тетрадь. Задания должны быть выполнены согласно методическим указаниям для лабораторных работ и написаны четко и разборчиво. Возникающие в процессе работы вопросы по решению заданий можно разрешить в процессе консультации с преподавателем дистанционно или лично. Работа будет допущена к защите в случае правильного и полного оформления сделанной работы.

Критерии оценивания:

- 100 баллов – при правильном и полном ответе на два вопроса;
- 75...99 баллов – при правильном и полном ответе на один из вопросов и правильном, но не полном ответе на другой из вопросов;
- 50...74 баллов – при правильном и неполном ответе на два вопроса или правильном и полном ответе только на один из вопросов;
- 25...49 баллов – при правильном и неполном ответе только на один из вопросов;
- 0...24 баллов – при отсутствии правильных ответов на вопросы.

Количество баллов	0...24	25...49	50...64	65...74	75...99	100
Шкала оценивания	Не зачтено			Зачтено		

## **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Основная литература**

1. Мелик-Гайказян, В. И. Методы решения задач теории и практики флотации : учебное пособие. – Москва : Издательство «Горная книга», 2013. – 363 с.: ил. (ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ)
2. Абрамов, А. А. Флотационные методы обогащения Т. 4 : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» направления подготовки «Горн. дело» / А. А. Абрамов. – Москва : МГГУ, 2008. – 710 с.  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=79171>

### **Дополнительная литература**

3. Фоменко, Т. Г. Исследование углей на обогатимость. – Москва : Недра, 1978. – 262 с.
4. Глембоцкий, В. А. Флотационные методы обогащения : учебник для вузов / В. А. Глембоцкий, В. И. Классен. – Москва : Недра, 1981. – 304 с.
5. Абрамов, А. А. Флотационные методы обогащения : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» / А. А. Абрамов. – Москва : Недра, 1984. – 384 с.
6. Глембоцкий, В. А. Аполярные реагенты и их действие при флотации / В. А. Глембоцкий, Г. М. Дмитриева, М. М. Сорокин; Ин-т горн. дела им А. А. Скочинского. – Москва : Наука, 1968. – 144 с.
7. Справочник по обогащению руд. Обоганительные фабрики / под ред. О. С. Богданова, Ю. Ф. Ненарокова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1984. – 358 с.
8. Обогащение полезных ископаемых. Т. 19 [Реагенты во флотационных и рудоподготовительных процессах : обзор / Л. Я. Шубов, И. М. Алабян]; Гос. ком. Совмина СССР по науке и технике, АН СССР, ВИНТИ; науч. ред. Л. А. Барский. – Москва : Недра, 1985. – 96 с.
9. Шубов, Л. Я. Запатентованные флотационные реагенты : справочное пособие / Л. Я. Шубов, С. И. Иванков. – Москва : Недра, 1992. – 361 с.

10. Шубов, Л. Я. Запатентованные флотационные реагенты и их применение / под общ. ред. С. И. Митрофанова. – Москва : Недра, 1973. – 140 с.
11. Водное хозяйство промышленных предприятий. Кн. 6. Флокулянты : справ. изд. / под ред. В. И. Аксёнова. – Москва : Теплотехник, 2008. – 256 с.
12. Вейцер, Ю. И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод / Ю. И. Вейцер, Д. М. Минц. – Москва : Стройиздат, 1984. – 201 с.
13. Запольский, А. К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды : Свойства. Получение. Применение / А. К. Запольский, А. А. Баран. – Ленинград : Химия, 1987. – 208 с.
14. Баран, А. А. Флокулянты в биотехнологии / А. А. Баран, А. Я. Тесленко. – Ленинград : Химия, 1990. – 144 с.

### **Программное обеспечение**

КузГТУ обеспечен необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения.

### **Интернет-ресурсы**

Информацию обо всех имеющихся электронных ресурсах можно получить в аудитории 1211 (зал электронных ресурсов) и на сайте библиотеки <http://library.kuzstu.ru>, в том числе по разделам:

- тематический указатель периодических изданий
- учебные пособия, изданные в КузГТУ
- информационная система «Технонорматив»
- интернет-ресурсы по профилю КузГТУ (<http://elib.kuzstu.ru>)

Можно воспользоваться сайтами ведущих фирм – производителей оборудования для переработки полезных ископаемых:

<http://rgt.ru/production/detail/362.html>;

<https://poly-chem.ru/catalog/flotoreagenty/>;

<https://www.irgiredmet.ru/activities/index.php?ID=603&SID=148>;

<https://reasib.com/rs-231>;

<https://reasib.com/reagents-for-the-mining> и др.

Полезно воспользоваться поисковыми системами Яндекс, Rambler, Yahoo, Google, MSN.