

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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
для студентов всех форм обучения**

Рекомендованы учебно-методической комиссией специализации
21.05.04.06 «Обогащение полезных ископаемых»
в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2018

Рецензенты
Рецензенты

Клейн М. С., доктор технических наук, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых

Удовицкий В. И., доктор технических наук, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых, председатель учебно-методической комиссии специализации 21.05.04.06 «Обогащение полезных ископаемых»

Суслина Людмила Алексеевна

Флотационные процессы обогащения: методические указания к лабораторным работам [Электронный ресурс]: для студентов направления подготовки 21.05.04 «Горное дело», образовательная программа «Обогащение полезных ископаемых», всех форм обучения / сост.: Л. А. Суслина; КузГТУ. – Кемерово, 2018. – Систем. требования : Pentium IV; ОЗУ 8 Мб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены темы для лабораторных работ, краткое содержание теоретических основ изучаемых тем, 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.

© КузГТУ, 2018
© Суслина Л. А.,
составление, 2018

Лабораторная работа № 1

Основные виды флотационного процесса

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 большой 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 –0,2 мм: кварца-серы (1:1), кварца-угля (1:1) или кварца-талька (1:1); технические весы с разновесами, фарфоровые чашки ($d = 50\text{мм}$); сушильный шкаф, шпатели, предметные стекла, пробирки, химические стаканы емкостью $250\div 500\text{ см}^3$, 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 $t = 300 \div 400$ °С, 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 таблицу 1.1.
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 таблицу 1.1 расчетные данные.
5. Сопоставьте результаты опытов, сделайте вывод об эффективности различных флотационных процессов.

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?

Приложение № 1

Таблица 1.1

Технологические характеристики процессов пленочной,
масляной и пенной флотации

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

Лабораторная работа № 2

Определение краевого угла смачивания поверхности различных минералов

Цель работы: Определение краевых углов смачивания различных минералов. Расчет показателей флотиремости различных минералов, как в естественном состоянии, так и при обработке их поверхности флотационными реагентами.

Введение

Различие в смачиваемости поверхности частиц играет важную роль при флотации минералов. На практике можно изменять свойства поверхности с помощью флотационных реагентов. Благодаря им можно управлять процессом флотации минералов, распределяя минеральные компоненты по продуктам, т. е. переводить минерал по необходимости либо в пенный, либо в камерный продукт.

Степень смачиваемости минералов характеризуется важным показателем флотационной активности – равновесным краевым углом смачивания – θ_p . Показатель флотиремости минералов – f характеризует изменение поверхностной энергии системы при элементарном акте флотации, отнесенной к единице площади поверхности контакта газ – твердое тело. Для обычных условий флотации, когда размер частиц значительно меньше размера пузырьков

$$f = \sigma_{г-ж}(1 - \cos \theta_p),$$

где $\sigma_{г-ж}$ – удельная поверхностная энергия на границе раздела газ – жидкость (для воды $\sigma_{г-ж} = 72,8$), $\text{мН}\cdot\text{м}^{-1}$; θ_p – равновесный краевой угол смачивания.

В действительности в точках контакта периметра наблюдается не равновесный, а гистерезисный краевой угол θ_k . Он возникает на трехфазной границе при наличии дополнительной силы, тормозящей перемещение периметра смачивания. В редких

случаях, когда гистерезис смачивания можно считать отсутствующим $\theta_{\text{к}} = \theta_{\text{р}}$.

Для определения равновесного краевого угла смачивания можно применить два метода:

1 – метод непосредственного измерения, когда нельзя пренебречь гистерезисом смачивания и

2 – метод расчета угла по форме капли.

Метод непосредственного измерения

Наиболее точно показатель флотуемости можно определить с помощью измерения *гистерезисных углов натекания* $\theta_{\text{н}}$ и *оттекания* $\theta_{\text{о}}$ жидкой фазы на газообразную. Для этого измеряют оба угла контакта капли, расположенной на наклонной поверхности шлифа минерала. Равновесный угол рассчитывают по формуле

$$\theta_{\text{р}} \cong \frac{(\theta_{\text{н}} + \theta_{\text{о}})}{2}.$$

Метод расчета угла по форме капли

Гистерезисом краевого угла называют разность значений максимального и минимального углов смачивания

$$\Delta\theta = \theta_{\text{н}} - \theta_{\text{о}}.$$

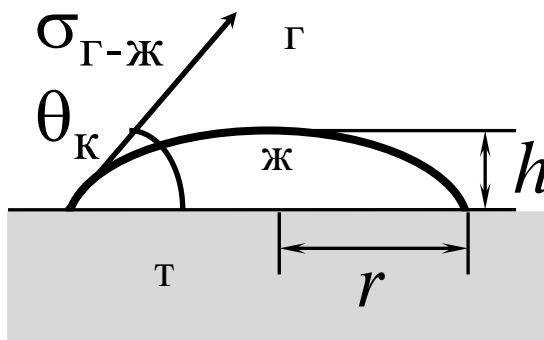


Рис. 2.1. Измерение краевого угла смачивания

Метод расчета применяют при небольшом гистерезисе краевого угла. Например, он не пригоден для измерения θ_k на наклонных плоскостях. Краевой угол смачивания определяют по формулам

$$\begin{aligned}\theta < 90^\circ \quad \cos \theta_k &= (r^2 - h^2) / (r^2 + h^2); \\ \theta > 90^\circ \quad \cos \theta_k &= 1 - (h/r).\end{aligned}$$

Оборудование и материалы

Прибор Ребиндера для определения краевых углов смачивания; минералы со шлифованной поверхностью (например, кальцит или магнетит); фильтровальная бумага; лезвие бритвы; стаканы для приготовления растворов; мерный цилиндр; пипетка с делениями; флотационные реагенты собиратели (например, олеат натрия) и депрессоры (например, жидкое стекло); дистиллированная вода.

Описание установки

Прибор состоит из проекционной системы (1), экрана (2) с измерительным устройством (3) для определения значения краевых углов по проекции капли, предметного столика (4) с исследуемым образцом минерала.

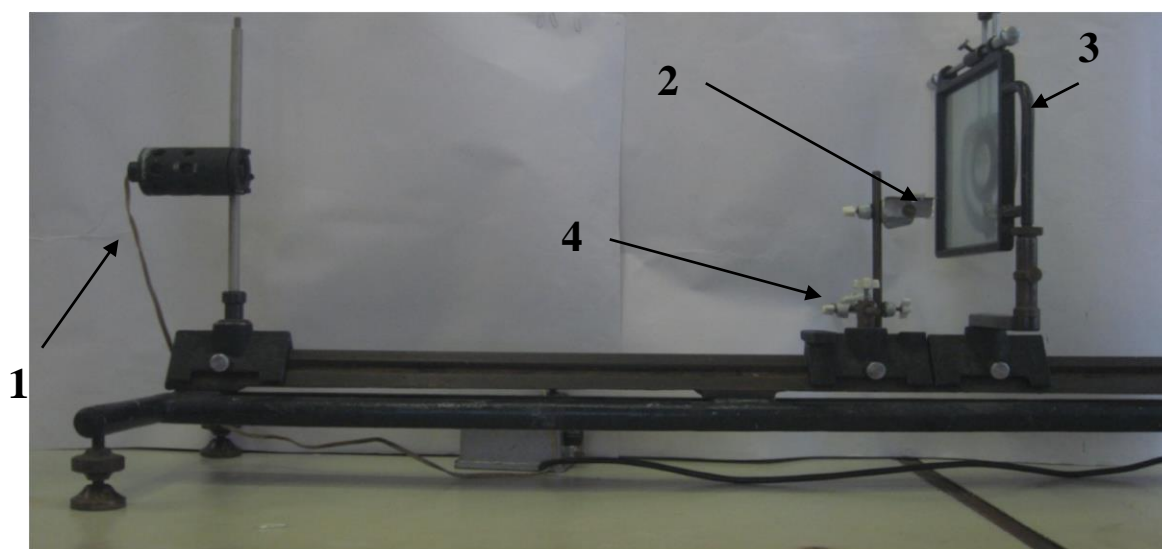


Рис. 2.2. Схема установки Ребиндера

Измерительное устройство представляет собой транспор-
тир. Шарнирная упругая система крепления транспорта (5)
позволяет перемещать его в любом направлении, изменять угол
его установки и фиксировать нужное положение.

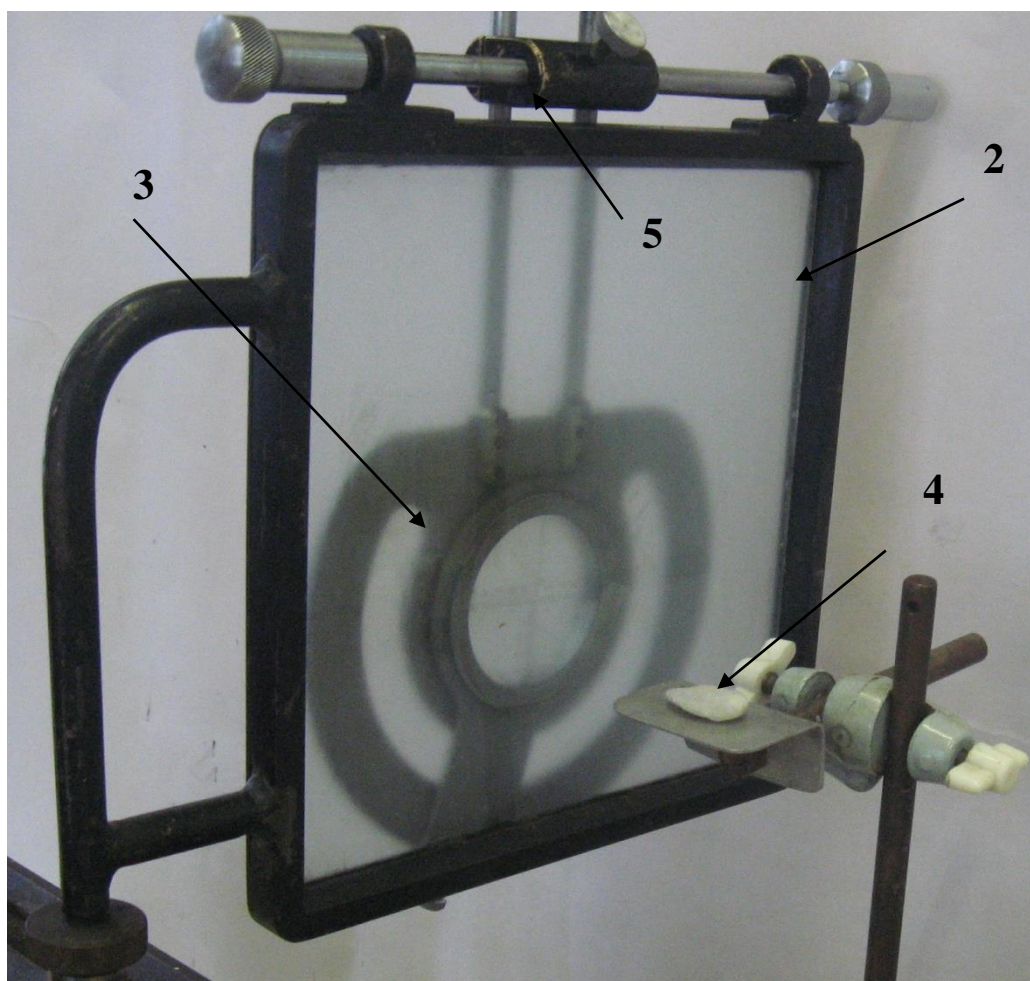


Рис. 2.3. Измерительное устройство и предметный столик

Порядок проведения работы

1. Тщательно почистите шлифованную поверхность минерала от остатков адсорбированных реагентов лезвием бритвы. (Не прикасайтесь к исследуемой поверхности руками!)
2. Слегка осушите шлифованную поверхность минерала фильтровальной бумагой и нанесите на нее каплю дистиллированной воды.

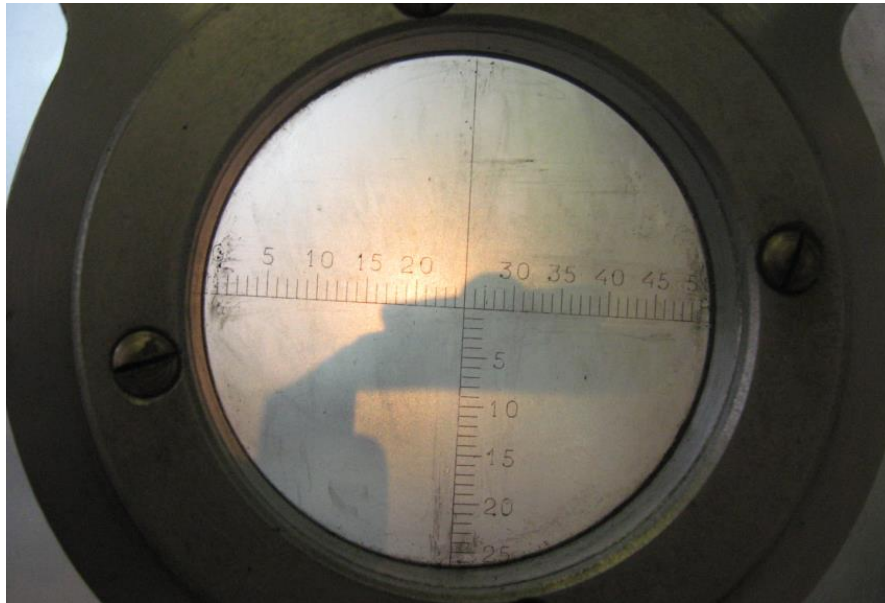


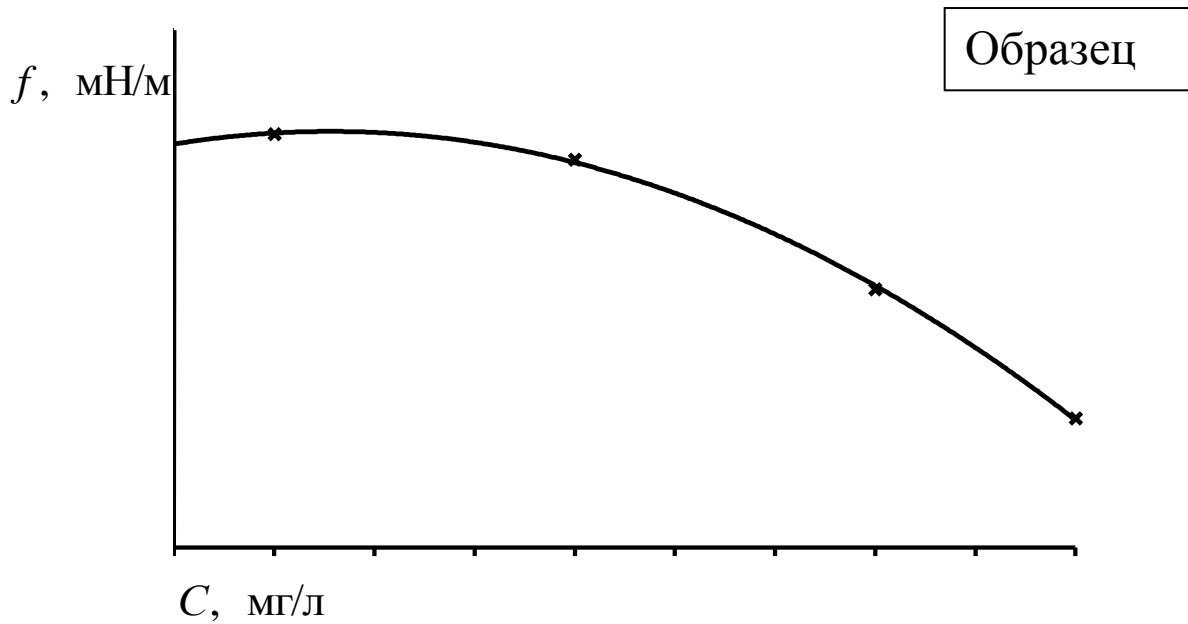
Рис. 2.4. Проекция капли на экране измерительного устройства

3. Выдержите минерал в течение 5 минут в дистиллированной воде. Измерьте краевые углы натекания $\theta_{\text{н}}$ и оттекания $\theta_{\text{о}}$, параметры h и r . Рассчитайте краевой угол $\theta_{\text{к}}$ двумя методами и показатель флотуруемости минералов – f .
4. Приготовьте раствор заданной концентрации. Выдержите в нем минерал в течение пяти минут перед измерением.
5. Далее приготавливают раствор большей концентрации и повторяют опыт.
6. Оцените погрешность измерений, исключите промахи по каждому опыту с разными концентрациями растворов, в которых выдерживается минерал, используя приложение 7.
7. Данные каждого измерения занесите в таблицу.

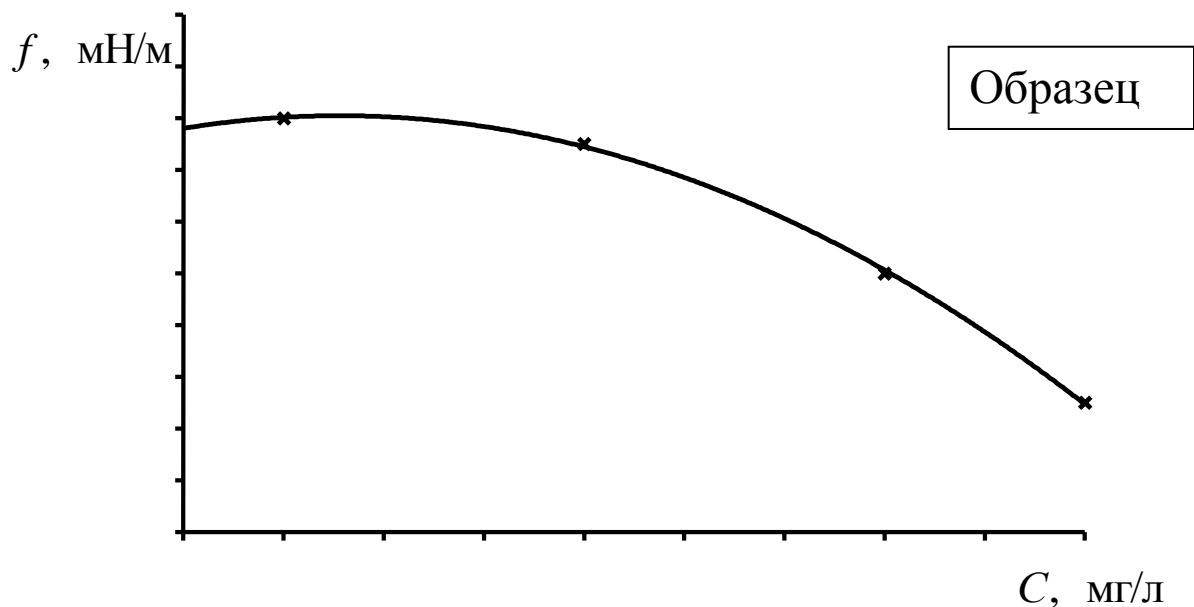
Порядок обработки и оформления данных

1. Ознакомьтесь с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выписать название, цель, оборудование, подготовить таблицы 2.1.
2. Получить задание у преподавателя. По каждой концентрации провести не менее трех измерений значений каждого краевого угла натекания и оттекания.
3. Провести расчеты и занести в таблицу расчетные данные после каждого измерения.

4. Оцените погрешность измерений, исключите промахи, результаты оценки опишите в отчете работы.
5. Построить графические зависимости показателя флотируемости от концентрации реагентов:
- собирателя



- депрессора



6. Сделать вывод, отражающий влияние типа и концентрации реагента на флотационные свойства минерала.

Контрольные вопросы

1. Какие гипотезы элементарного акта флотации существовали в истории развития флотации?
2. В чем заключается гипотеза смачивания?
3. Дайте определение краевому углу смачивания.
4. Со стороны какой из фаз принято измерять краевой угол?
5. Что такое гистерезисная сила?
6. Какую роль играет гистерезис при отрыве частицы от пузырька и при закреплении ее?

Приложение № 2

Таблица 2.1.

Результаты измерения краевых углов смачивания
различных минералов

№ п/п	С, мг/л	№ из- мере- ния	Краевой угол смачивания								f, мН/м
			Непосредственное из- мерение				Расчет по форме капли				
			θ_H	θ_O	θ_K	$\bar{\theta}_K$	r, мм	h, мм	θ_K	$\bar{\theta}_K$	
Наименование реагента собирателя:											
1	0,0	1									
		2									
		3									
2		1									
		2									
		3									
3		1									
		2									
		3									
4		1									
		2									
		3									
Наименование реагента депрессора:											
1		1									
		2									
		3									
2		1									
		2									
		3									
3		1									
		2									
		3									
Наименование реагента собирателя:											
1		1									
		2									
		3									

Лабораторная работа № 3

Измерение силы отрыва частицы от пузырька воздуха

Цель работы: Определение влияния различных флотационных реагентов на прочность контакта частица-пузырек.

Введение

Сила отрыва частицы от пузырька воздуха равна по модулю флотационной силе, удерживающей частицу на пузырьке. Флотационной силой F_{ϕ} , называется проекция сил поверхностного натяжения $\sigma_{\Gamma-ж}$, приложенных к частице по периметру смачивания, на направление, по которому действует сила, отрывающая частицу от поверхности раздела газ-жидкость (рис. 3.1.).

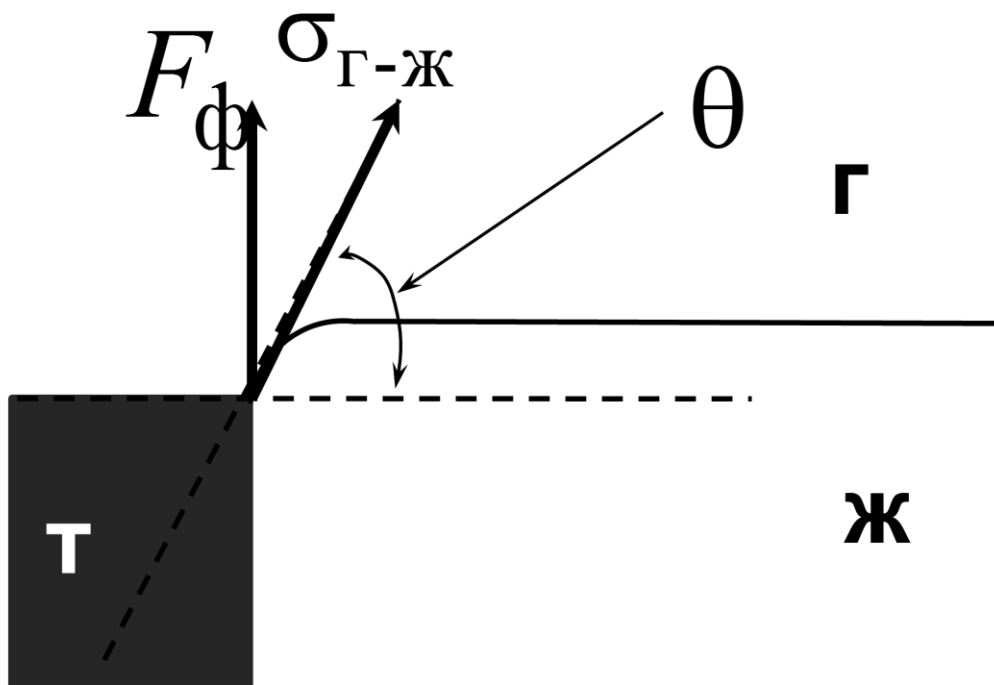


Рис. 3.1. Связь флотационной силы и силы поверхностного натяжения $\sigma_{\Gamma-ж}$.

$$F_{\phi} = \pi a \sigma_{\Gamma-ж} \sin \theta.$$

Оборудование и материалы

Инерционный прибор для измерения силы отрыва; блок питания электродвигателя; исследуемый минеральный порошок; стаканы для приготовления растворов; пипетка с делениями; флотационные реагенты собиратели (например, олеат натрия) и депрессоры (например, жидкое стекло); дистиллированная вода.

Описание установки

Для измерения силы отрыва используется инерционный прибор (рис. 3.2). В основе прибора заложено инерционное устройство, которое используется для встряхивания держателя с минерализованным пузырьком. Встряхивание достигается за счет эксцентрика, посаженного на вал электродвигателя.

Скорость вращения вала электродвигателя изменяется с помощью реостата. Возвратно-поступательные движения сообщаются пузырьку с частицей минерала, а при этом изменяется величина инерционной силы отрыва, действующей на частицу минерала. Частица при этом движется с ускорением

$$a = \varepsilon \frac{4\pi^2 \cdot n^2}{3600},$$

где a – ускорение движения пузырька с частицей, см/с²; ε – эксцентриситет вала двигателя, равный 0,1 см; n – частота вращения вала электродвигателя в момент отрыва, об/мин.

Флотационная сила равна по модулю силе отрыва частицы от пузырька

$$F = ma = m\varepsilon \frac{4\pi^2 \cdot n^2}{3600},$$

где m – усредненная масса частицы минерала, г.

$$m = \rho V_{\text{куб}} K_{\text{ф}},$$

$\rho = 2,8 \text{ г/см}^3$ – плотность фосфорита

$$V_{\text{куб}} = d^3,$$

$$K_{\text{ф}} = 1,75,$$

где $V_{\text{куб}}$ – объем частицы минерала, м^3 , $K_{\text{ф}}$ – коэффициент формы.

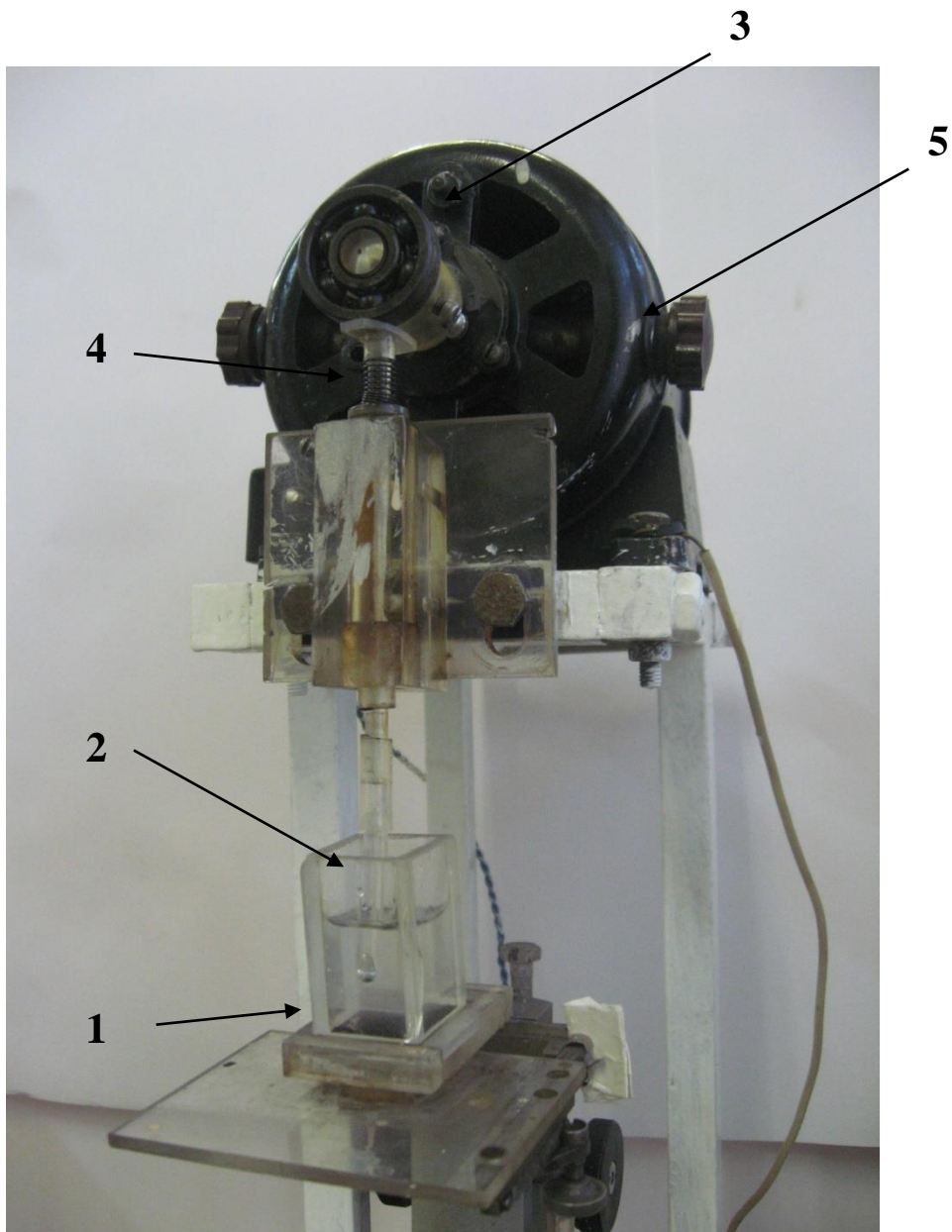


Рис. 3.2. Установка для измерения сил отрыва: 1 – кювета; 2 – держатель пузырька; 3 – эксцентриковый вал; 4 – пружина, 5 – электродвигатель

Порядок проведения работы

1. Получите задание у преподавателя, в том числе концентрации реагентов и крупность минеральных частиц.
2. Выдержите порошок минерала в количестве 3-5 г (крупность частиц задается преподавателем) в течение 20 минут в 50 мл дистиллированной воды.
3. Измерьте объем кюветы и проведите расчеты для приготовления растворов заданной концентрации.
4. В кювету с плоскопараллельными стенками перенесите небольшое количество замоченной навески минерала, распределите порошок тонким слоем.
5. Столик с кюветой поднимите вверх так, чтобы держатель пузырька был погружен в воду. К держателю прикрепите пузырек воздуха специальной пипеткой. Продолжайте поднимать столик с кюветой до момента касания пузырька с порошком минерала до тех пор, пока не подцепите частицу к пузырьку. Затем опустите столик на 10-15 мм вниз (рис. 3.3).
6. Включите блок питания электродвигателя. С помощью реостата на электродвигатель плавно подайте и увеличивайте напряжение. Держатель пузырька начинает совершать возвратно-поступательное движение с ускорением, изменяющимся в зависимости от подаваемого напряжения. Наблюдение за пузырьком с частицей минерала удобно проводить с помощью линзы. Напряжение необходимо фиксировать в момент отрыва частицы от пузырька. Опыт повторить на 10 частицах, каждый раз подсчитывая среднее значение силы отрыва. Заполните табл. 3.1.
7. Оцените погрешность измерений, исключите промахи по каждому опыту с разными концентрациями растворов, в которых выдерживается минеральный порошок, используя приложение 6.
8. Эксперимент повторите в растворах реагентов, каждый раз наращивая концентрацию раствора в кювете, сначала собирателя, затем депрессора. Выдержите перед измерением частицы минералов в новом растворе пять минут.

9. Затем, используя калибровочный график, определите частоту вращения двигателя n при опытах с каждой концентрацией растворов (рис. 3.4).
10. По формулам рассчитайте величину инерционной силы отрыва частицы от пузырька.
11. Данные каждого измерения и расчета занесите в таблицу.

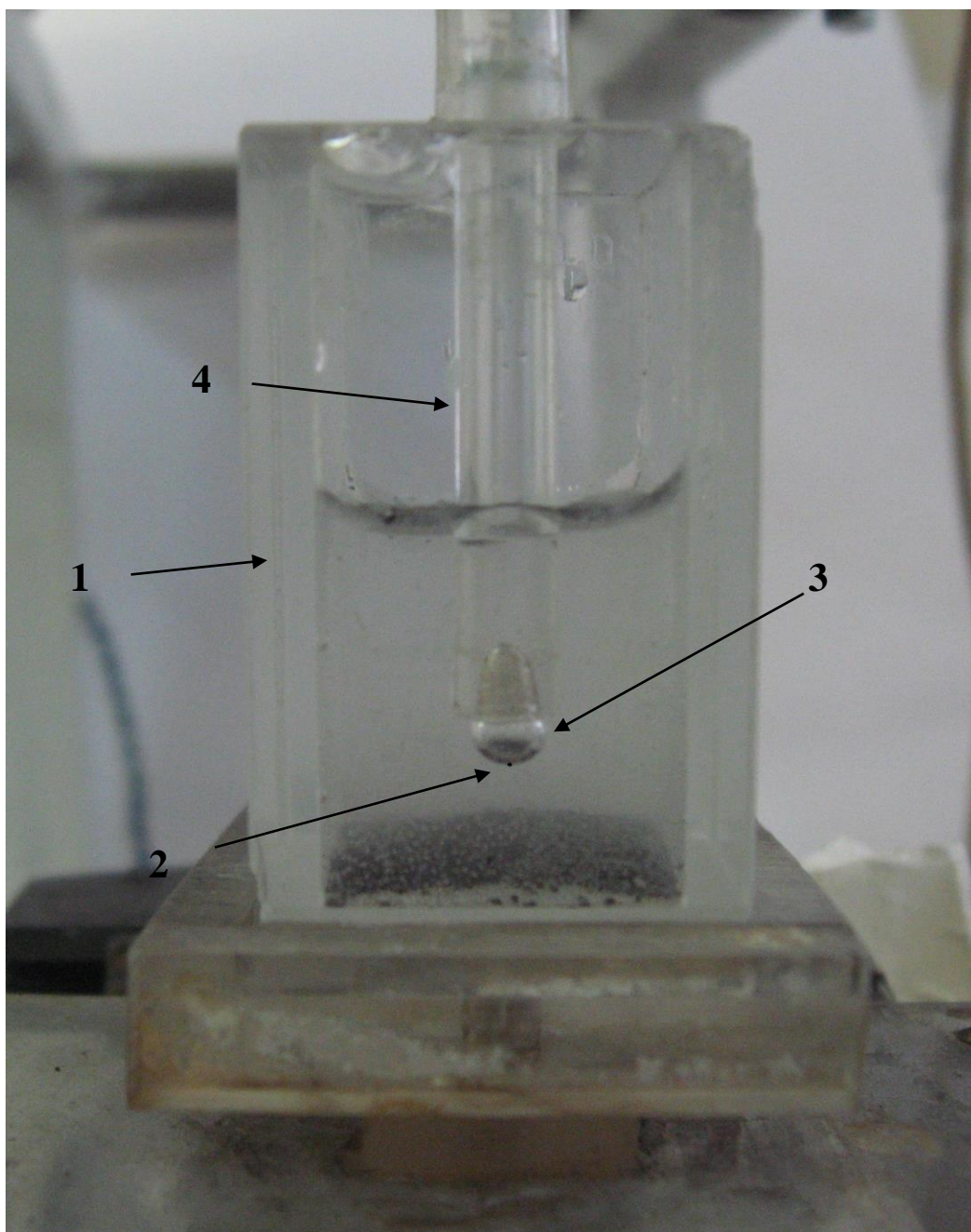
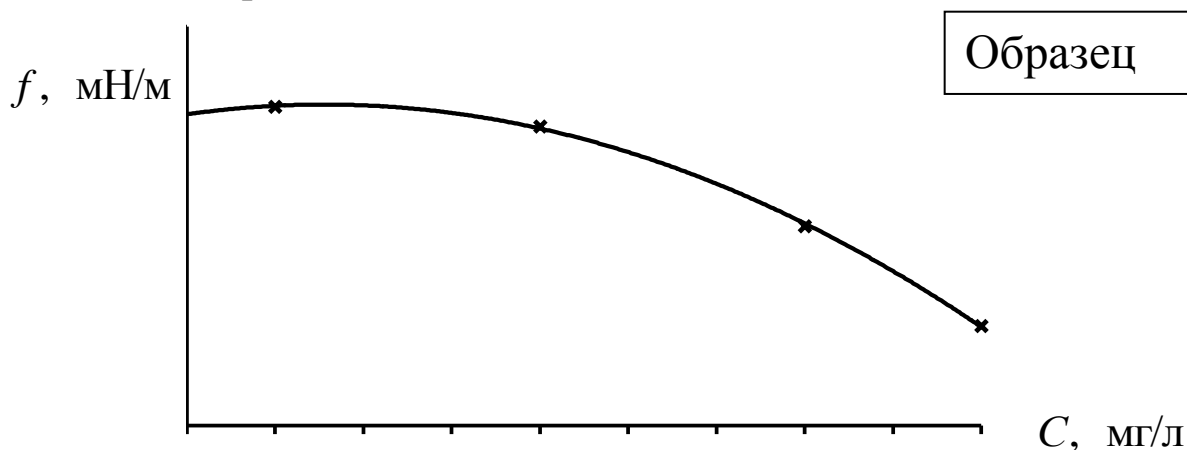


Рис. 3.3. Кювета на предметном столике: 1 – кювета; 2 – частица исследуемого материала; 3 – пузырек; 4 – держатель пузырька

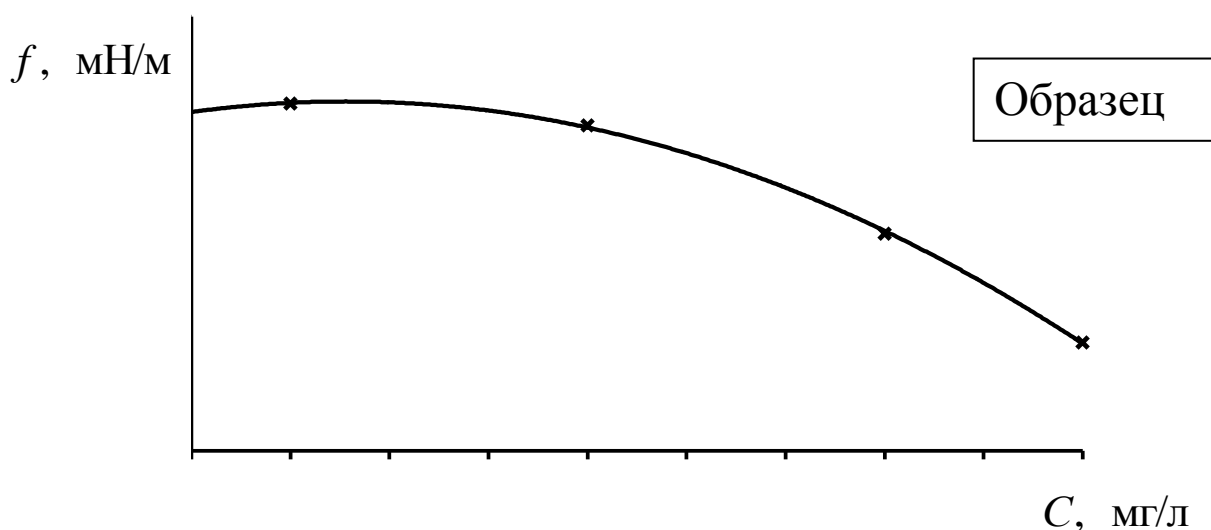
Порядок обработки и оформления данных

1. Ознакомьтесь с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выписать название, цель, оборудование, подготовить таблицы 3.1. и 3.2.
2. Получить задание у преподавателя. По каждой концентрации провести не менее десяти измерений значений напряжения, при котором происходит отрыв пузырька.
3. Оцените погрешность измерений, исключите промахи, результаты оценки опишите в отчете работы.
4. Провести расчеты и занести в таблицу расчетные данные после каждого измерения.
5. Построить графические зависимости флотационной силы от концентрации реагентов:

- собирателя



- депрессора



6. Сделать вывод, отражающий влияние типа и концентрации реагента на флотационные свойства минерала.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой явление смачивания? Определите понятия «гидрофобные и гидрофильные частицы».
2. Дайте определение краевому углу смачивания.
3. Дайте определение гистерезису смачивания.
4. Что представляют собой силы поверхностного натяжения, действующие на единицу длины периметра смачивания?
5. Как связан равновесный краевой угол с силами поверхностного натяжения?
6. Как влияет величина краевого угла на явление смачивания?
7. Что представляет собой флотационная сила, и от каких физических величин она зависит?
8. В чем заключается роль двойного электрического и гидратных слоев на границе раздела фаз при закреплении минералов к пузырьку?
9. Как изменяется энергия прослойки воды между пузырьком и частицей при элементарном акте флотации.
10. Объясните понятия «сухая» и «мокрая» флотации.
11. Что такое угол формы, и какое значение имеет при флотации?
12. Напишите условие флотационного равновесия.

n , об/мин

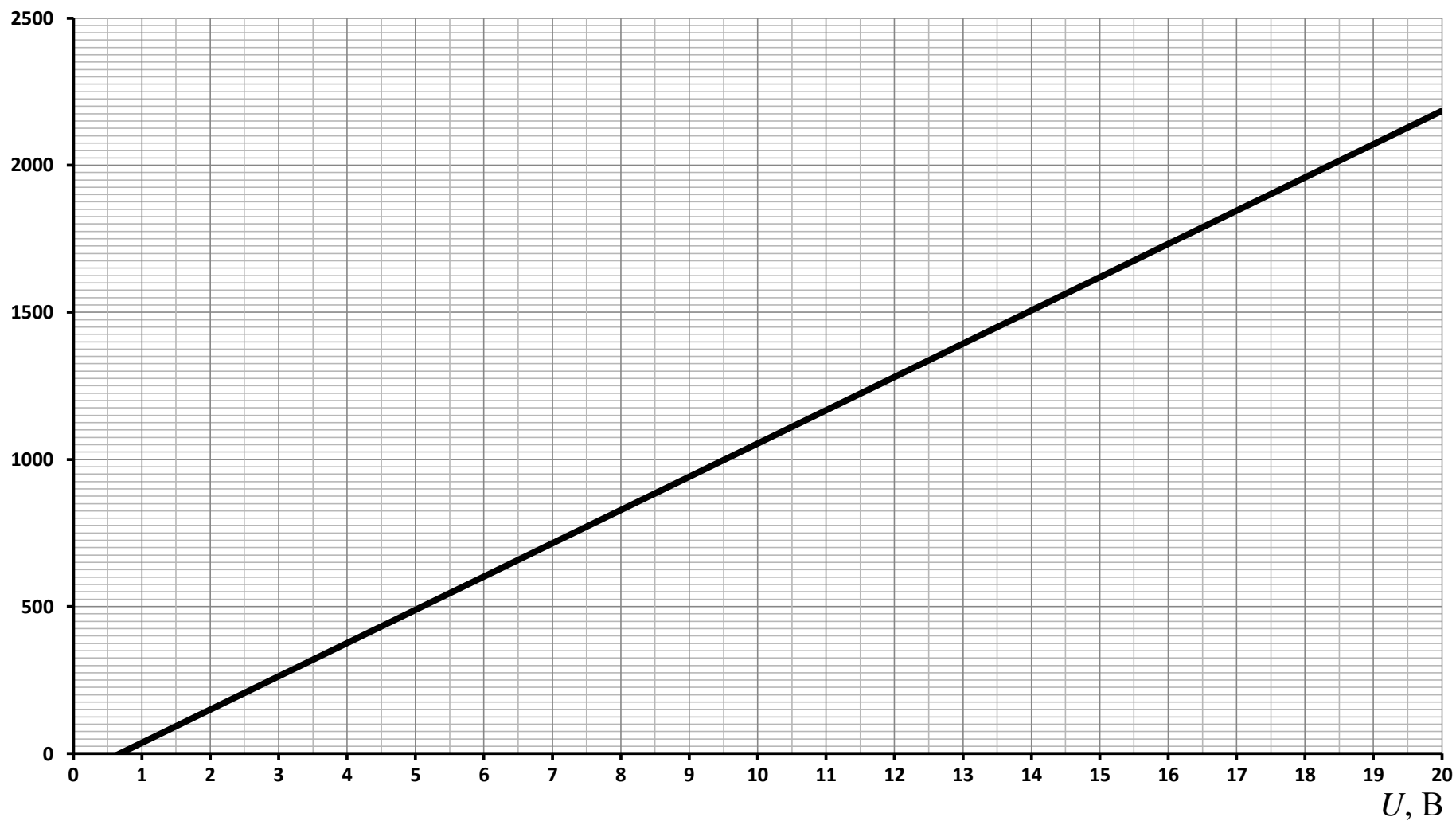


Рис. 3.4. Зависимость частоты вращения двигателя n от подаваемого напряжения

Приложение № 3

Лабораторная работа № 4

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.

Введение

Кинетику флотации углей характеризует зависимость извлечения горючей массы от времени, 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 характеризует производительность флотационных машин, 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.

Скорость флотации может быть изменяться в процессе флотации. В течении времени флотации частицы могут флотироваться быстрее или медленнее, причем по различным причинам извлечение флотируемых частиц может увеличиваться в начале процесса и замедляться к концу или наоборот.

По Белоглазову К.В. скорость флотации можно оценить, анализируя зависимость

$$\lg \frac{1}{1-\varepsilon} = kt,$$

где ε – извлечение, %; k – константа, учитывающая число пузырьков и эффективность закрепления частиц на пузырьках; t –

время флотации, мин; $\lg \frac{1}{1-\varepsilon}$ – коэффициент удельной скорости флотации.

Снимая пенный концентрат в течение равных отрезков времени и определив извлечение полезного компонента в концентрат, можно построить кривые зависимости скорости флотации от времени в координатах $(t; \lg \frac{1}{1-\varepsilon})$.

Кривые зависимости скорости флотации от времени могут принимать четыре вида (рис. 4.1).

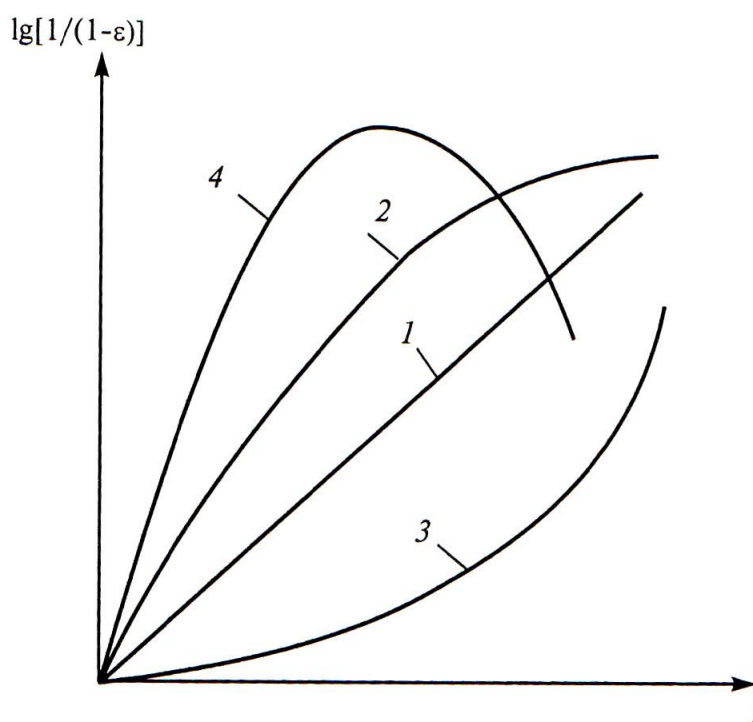


Рис. 4.1. Изменение коэффициента удельной скорости флотации с течением времени

Кривая 1 – прямолинейная свидетельствует о том, что скорость флотации не меняется со временем.

Кривая 2 имеет выпуклую форму, что указывает на уменьшение скорости флотации к завершению процесса. Это может происходить, например, вследствие массового удаления из пульпы в начале флотации легко флотируемых минералов.

Кривая 3 имеет вогнутую форму, что указывает на увеличение скорости флотации ближе к завершению процесса. Возможные причины: дробная подача реагентов, что обеспечивает более

длительный контакт реагентов с частицами, улучшение аэрации и т. д.

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

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 ε_1 и ε_2 – извлечение в один концентрат разделяемых компонентов в долях единиц: ε_1 – извлечение угля в концентрат, ε_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; секундомер; угольные шламы; флотационные реагенты: керосин, КОБС.

Описание установки

Установка (рис. 4.2.) 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).

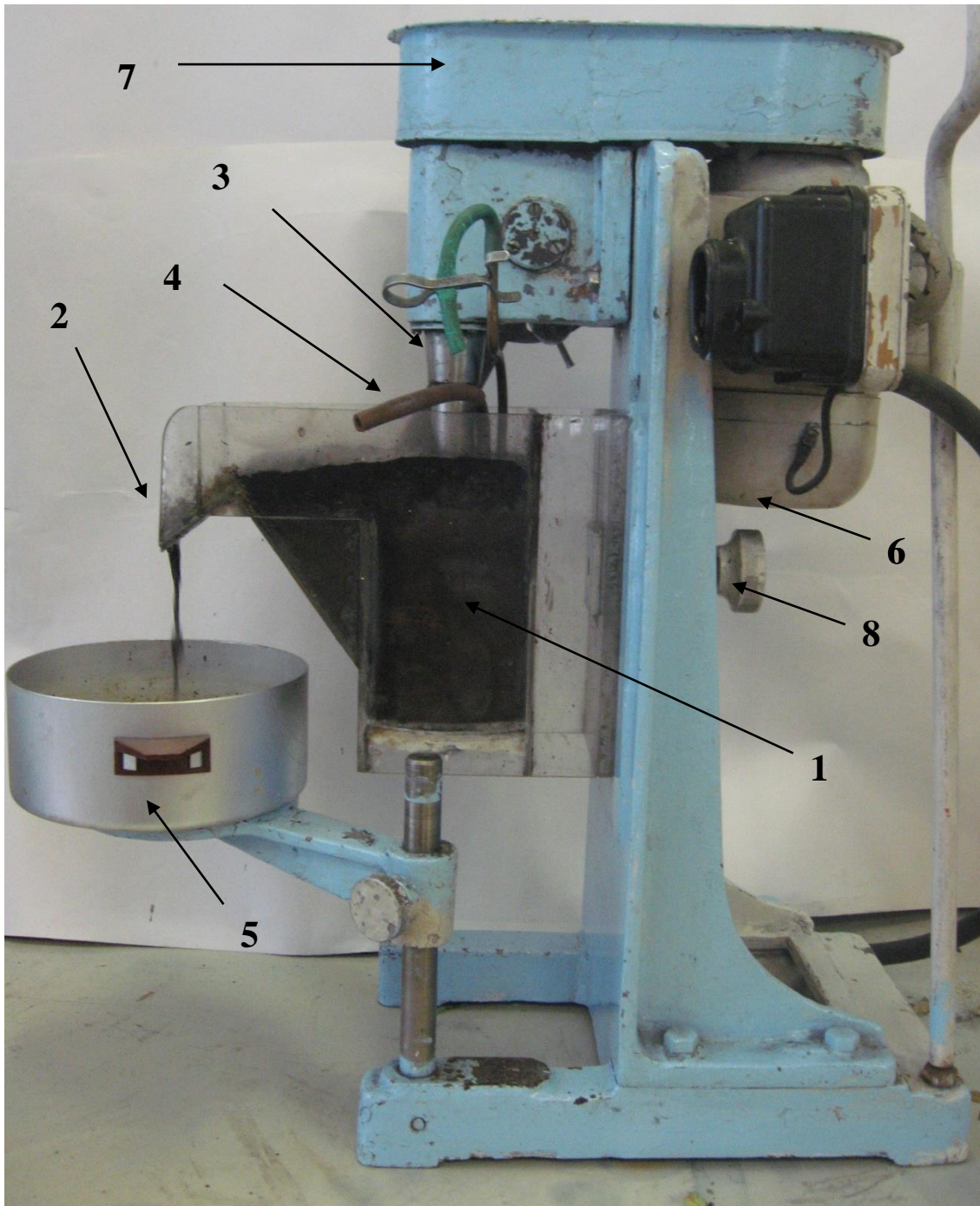


Рис. 4.2. Схема установки. 1 – флотационная камера; 2 – сливной порог камеры флотомашины; 3 – блок аэратора, 4 – трубка для подачи воздуха; 5 – емкость для сбора продуктов флотации; 6 – электродвигатель; 7 – электропривод с клиноременной передачей; 8 – зажимная гайка, фиксирующий положение камеры флотомашины

Аэрационный узел машины (рис. 4.3.) состоит из импеллера с шестью радиальными лопатками (1), закрепленного на валу (4);

и статора (6) с лопатками (2). Статор неподвижно закреплен на трубе (3). Труба импеллера имеет в нижней части надымпеллерный стакан с отверстием для регулирования внутрикамерной циркуляции пульпы.

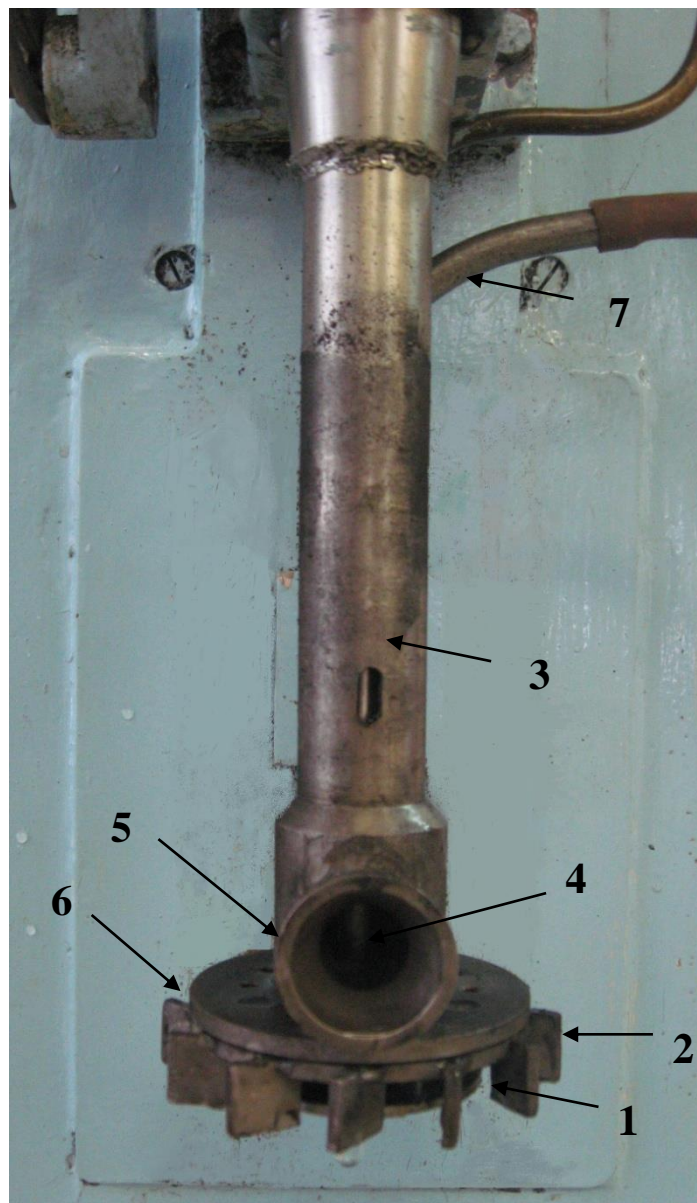


Рис. 4.3. Схема блока аэратора. 1 – диск импеллера с шестью радиальными лопатками; 2 – лопатки статора; 3 – труба импеллера, 4 – вал импеллера, 5 – отверстие для регулирования внутрикамерной циркуляции пульпы; 6 – надымпеллерный диск статора; 7 – трубка для подачи воздуха

Порядок проведения работы

I. Ознакомиться с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выписать название, цель, оборудование, изучить таблицы 4.1. и 4.2.

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 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. 4.1), 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. 4.1) 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 (g) 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 δ – плотность угля, kg/m^3 ; 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 значения физических величин: массу исходной навески Q , г, расход реагентов на навеску g , г, число капель на навеску угля n занести в табл. 4.1.

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 (1 мин.), вспениватель в конце периода агитации.

3. По истечении времени агитационного контактирования открывают вентиль подачи воздуха 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 полминуты после начала флотации необходимо собирать пену. Пенный продукт снимается по истечению заданных периодов времени в отдельные емкости, подвергается фильтрации и сушке.

6. Определяется масса снятых порций пенного концентрата. Внимание! Нельзя взвешивать горячие продукты.

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

8. 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.

9. Рассчитайте зольность продуктов по массе золы.

10. Определите извлечение горючей массы по формуле

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

11. Результаты флотационных опытов и расчетов заносят в табл. 4.1. и 4.2.

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

13. Сделать 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 флотационных угольных машин – МФУ?
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 4

Таблица 4.1.

Влияние условий флотации на выход продуктов обогащения

№ опыта	Крупность угля, мм	R	Q, г	Тип, расход и режим подачи реагента									Время флотации мин	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													0,5	К-т 1				
													0,5	К-т 2				
													0,5	К-т 3				
													0,5	К-т 4				
													0,5	К-т 5				
													0,5	К-т 6				
														К-т окончательный				
													-	Общий к-т				
														Отходы				
	0,0	Исходный продукт																
2													0,5	К-т 1				
													0,5	К-т 2				
													0,5	К-т 3				
													0,5	К-т 4				
													0,5	К-т 5				
													0,5	К-т 6				
														К-т окончательный				
													-	Общий к-т				
														Отходы				
	0,0	Исходный продукт																

Таблица 4.2.

Результаты эксперимента по кинетике флотации

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

Лабораторная работа № 5

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

Цель работы: изучение влияния типа, расхода и режима подачи аполярных реагентов, крупности измельчения угля, плотности пульпы, режима съема пены и др. факторов на технологические характеристики процесса и продуктов флотации, используя планы оптимизации многофакторных экспериментов по латинским квадратам. Построение математической модели флотационного процесса 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, температура пульпы, тип, расход и режим подачи реагентов, 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 работе № 4.

Латинский квадрат

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

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	<i>B47</i>	<i>A90</i>	<i>C79</i>	<i>D50</i>
2	<i>D46</i>	<i>C74</i>	<i>B63</i>	<i>A69</i>
3	<i>A62</i>	<i>B61</i>	<i>D58</i>	<i>C 66</i>
4	<i>C76</i>	<i>D63</i>	<i>A87</i>	<i>B59</i>

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 нафтеновых 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 $f_x = 6$

$$F_m = 4,76.$$

$F_j > F_m$, ($9,76 > 4,76$) (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:

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

Фактическое значение максимального выхода черного 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.

Для прогнозирования максимального результата принимаем условия, имеющие максимальные эффекты. Например,

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

Следует помнить, что расход реагентов в изученном диапазоне не оказал влияние на выход флотационного концентрата. Это значит, что дальнейшие исследования необходимо производить, опираясь на начальные условия, соответствующие не факторам {II, 4, A} а факторам {II, 1, A}, т. е. расход реагентов целесообразно взять минимальный.

Порядок обработки и оформления данных

1. Ознакомиться с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выписать название, цель, оборудование. Подготовить таблицы 5.1, 5.3.
2. Получить задание у преподавателя. Построить матрицу плана по латинскому квадрату (табл. 5.2)
3. Провести флотационные опыты по условиям согласно плану эксперимента. Все условия кроме испытываемых оставлять постоянными. Заполнить таблицу 5.3.
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 № 5

Таблица 5.1.

Исследуемые факторы и их значения при флотации

№	Наименование	Значения факторов				Единицы измерения
		1 –		2 –		
1		I –		II –		
2		A –		B –		
3						

Таблица 5.2.

Матрица планирования

Фактор № 1	Фактор № 2		Итого
	I	II	
1	A –	B –	
2	B –	A –	
Итого			

Таблица 5.3.

№ опыта	Крупность угля, мм	Тип, расход и режим подачи реагента										Время флотации, мин	Продукты	Выход		Условия по латинскому квадрату		
		Собиратель					Вспениватель							г	%			
		Название реагента	Расход			Режим подачи	Название реагента	расход, кг/т			Режим подачи							
			<i>G</i> , кг/ т	<i>g</i> , г	<i>n</i>			<i>G</i> , кг/ т	<i>g</i> , г	<i>n</i>								
1															Общий к-т			1, I, A
															Отходы			
2															Общий к-т			1, II, B
															Отходы			
3															Общий к-т			2, I, B
															Отходы			
4															Общий к-т			2, II, A
															Отходы			

Приложение № 6

ОЦЕНКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

При измерении любой физической величины невозможно получить ее истинное значение. Результат измерения дает лишь приблизительное значение. Это объясняется как принципиально ограниченной возможностью точности измерения, так и природой измеряемых объектов. Погрешности результата измерений определяются разностью измеренной и истинной величин и будут зависеть от многих причин. Их можно подразделить на систематические, случайные и промахи.

Систематические погрешности – погрешности, связанные с ограниченной точностью изготовления прибора (погрешностью прибора), ошибкой экспериментатора в выборе метода измерений, постоянные, повторяющиеся по определенному закону ошибки опытов. На уровень систематической ошибки не влияет количество повторов опыта. Необходимо исключить причины их вызывающие настолько, чтобы систематическая ошибка по величине не оказывала существенного влияния на точность измерений искомой величины.

Случайные погрешности вызываются, как правило, случайными причинами: ошибки параллакса при отсчете делений шкалы, погрешности, вызываемые сотрясением фундамента, движением воздуха, и другие ошибки, оказывающие влияние на ход эксперимента. При увеличении числа опытов случайная ошибка стремится к нулю.

Промахи – большие случайные ошибки. Результаты опытов, которые оцениваются как промахи, рассматриваться не должны.

Характеристиками величин, с помощью которых можно оценить величину погрешности эксперимента, являются:

– среднее арифметическое выборки \bar{x} , которое рассчитывается по формуле

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, \quad (1)$$

где x_i – значение i -го результата опыта; n – число опытов;

– среднее квадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (2)$$

– коэффициент вариации среднего арифметического значения

$$\psi = \frac{\sigma}{\bar{x}}; \quad (3)$$

– дисперсия выборки, которую можно оценить при достаточно большом количестве повторов опыта как квадрат среднего квадратичного отклонения σ^2 , рассчитывается по формуле

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}; \quad (4)$$

– ошибка воспроизводимости или средняя квадратичная погрешность среднего арифметического значения результата серии измерений определяется как

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad (5)$$

– интервал $(\bar{x} - \Delta x; \bar{x} + \Delta x)$, в который попадает истинное значение измеряемой величины x с заданной вероятностью называется доверительным интервалом. Здесь

$$\Delta x = x - \bar{x}$$

отклонение результата (или его среднего арифметического значения выборки) от истинного значения. Доверительный интервал определяется с использованием t -распределения Стьюдента (Приложение 7, табл. 1) и рассчитывается по формуле

$$\bar{x} \pm \Delta x = \bar{x} \pm \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}; \quad (6)$$

– надежность результата серии измерений P – вероятность того, что результат измерений попадает в доверительный интервал $(\bar{x} - \Delta x < x < \bar{x} + \Delta x)$.

Чем больше величина доверительного интервала, тем больше доверительная вероятность P , то есть искомая величина попадает в этот интервал с большей надежностью, тем больше погрешность эксперимента.

Оценка величины погрешностей измерений

Так как при измерении любой величины можно получить только ее приближенное значение, возникает задача оценить величину погрешности. Она складывается из погрешности прибора, равной той доле деления шкалы прибора, до которой с уверенностью в правильности результата можно производить отсчет, т. е. систематической погрешности и из случайной погрешности, которая вызывается большим числом случайных причин.

Если известны систематическая ошибка ε_c и случайная $\varepsilon_{сл}$, то общая ошибка эксперимента равна сумме их модулей

$$\varepsilon = \varepsilon_c + \varepsilon_{сл}. \quad (7)$$

Исключение промахов и оценка величины случайной погрешности

Допустим, при проведении эксперимента получены n значений измерения некоторой величины. Сначала необходимо убедиться в отсутствии больших случайных ошибок – промахов. Для этого необходимо выявить результаты x_i , выпадающие из общего ряда. Результат x_i будет промахом, если выполняется условие

$$|x_i - \bar{x}| > 3\sigma. \quad (8)$$

Внимание!

При вычислении \bar{x} и σ результат x_i , оцененный как промах, из расчетов необходимо исключить.

Для оценки величины случайной погрешности необходимо задать доверительную вероятность P и определить число степеней свободы $f = n - 1$. По справочным таблицам находим критерий Стьюдента t и рассчитываем случайную погрешность по формуле

$$\varepsilon_{сл} = t\sigma. \quad (9)$$

Определение систематической погрешности

Для выявления систематической погрешности проводится дополнительная серия опытов по определению значений измерения искомой величины на проверенной установке или надежным

способом, который не вызывает сомнений в надежности полученных результатов, близких к эталонным. По каждому ряду (выборке) повторов измерений величины, назовем их *испытуемым* и *контрольным*, рассчитываются \bar{x}_1 и \bar{x}_2 , а также σ_1 и σ_2 . Если наибольшая возможная ошибка

$$\varepsilon_c = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \quad (10)$$

с вероятностью P больше величины $2\sigma_{\bar{x}_k - \bar{x}_u}$

$$\sigma_{\bar{x}_k - \bar{x}_u} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}, \quad (11)$$

то систематическая ошибка выявлена на принятом уровне значимости результата.

Если же выполняется условие

$$|\varepsilon_c| < 2|\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}| \quad (12a)$$

или в развернутом виде

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| < \left| \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \right|, \quad (12б)$$

то систематическая ошибка не выявлена на принятом уровне значимости результата.

Выявить систематическую ошибку на данном уровне значимости можно, если увеличить число опытов, при этом случайная ошибка стремится к нулю, а систематическая – к истинному значению.

Таблица 6.1.

Критическое значение t -распределения Стьюдента

Число степеней свободы f	$p = 95 \%$	$p = 99 \%$
1	12,7	63,66
2	4,303	9,925
3	3,182	5,841
4	2,776	4,604
5	2,571	4,032
6	2,447	3,707
7	2,365	3,499
8	2,306	3,355
9	2,262	3,350
10	2,228	3,169
11	2,201	3,106
12	2,179	3,055
13	2,160	3,012
14	2,145	2,977
15	2,131	2,947
16	2,120	2,921
17	2,110	2,898
18	2,101	2,878
19	2,093	2,861
20	2,086	2,845
21	2,080	2,831
22	2,074	2,819
23	2,069	2,807
24	2,064	2,797
25	2,060	2,787
30	2,042	2,750
35	2,030	2,724
40	2,021	2,704
45	2,014	2,689
50	2,008	2,677
60	2,000	2,660

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Абрамов, А. А. Флотационные методы обогащения [Текст] Т. 4 : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полез. ископаемых» направления подготовки «Горн. дело» / А. А. Абрамов. – Москва : МГГУ, 2008. . – 710 с.
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=79171>
2. Федотов, К. В. Проектирование обогатительных фабрик [Текст] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. (специальности) 130400 «Горн. дело», специализация «Обогащение полез. ископаемых» / К. В. Федотов, Н. И. Никольская. – Москва : Горная книга, 2012. – 536 с. ил.

Дополнительная литература

1. Справочник по обогащению руд [Текст] Обогатительные фабрики / Г. И. Адамов [и др.]; под ред. О. С. Богданова [и др.]. – Москва : Недра, 1984. – 358 с.
2. Разумов, К. А. Флотационный метод обогащения [Текст] : конспект лекций / К. А. Разумов; Ленингр. горн. ин-т им. Г. В. Плеханова. – Ленинград : ЛГИ, 1975. – 272 с.
3. Суслина, Л. А. Флотационные методы обогащения [Электронный ресурс] : материалы к лекционному курсу для студентов очной и заочной формы обучения специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» / Л. А. Суслина; ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т», Каф. обогащения полезн. ископаемых. – Кемерово : Издательство КузГТУ, 2010. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)
<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=91622&type=utchposob:common>
4. Суслина, Л. А. Обогащение полезных ископаемых [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л. А. Суслина; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. . – Кемерово : Издательство КузГТУ, 2012. – 194 с.1 электрон. опт. диск (CD-ROM) – Доступна электронная версия:
<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90787&type=utchposob:common>

Методическая литература

1. Суслина, Л. А. Флотационные процессы обогащения [Электронный ресурс] : методические указания к самостоятельной рабо-

те для студентов специальности 130400.65 «Горное дело» специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых», очной формы обучения / Л. А. Суслина; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. обогащения полез. ископаемых. – Кемерово, 2014. – 36 с. – Режим доступа:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=7857>. – Загл. С экрана. (24.12.2016)

2. Суслина, Л. А. Флотационные процессы обогащения [Электронный ресурс] : методические указания к самостоятельной работе для студентов специальности 130400.65 «Горное дело» специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых», заочной формы обучения / Л. А. Суслина; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. обогащения полез. ископаемых. – Кемерово, 2014. – 51 с. – Режим доступа:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=7858>. – Загл. с экрана. (24.12.2016)

Критерии оценивания

При защите работы обучающимся будет задано два вопроса, на которые они должны дать ответы.

- 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		