

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

РЕАГЕНТЫ В ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ 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

Рецензент:

Бобровникова А. А. – кандидат химических наук, зав. кафедрой обогащения полезных ископаемых, председатель учебно-методической комиссии специальности 21.05.04 Горное дело, специализации 06 Обогащение полезных ископаемых

Суслина Людмила Алексеевна

Реагенты в физико-химических процессах 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 (2022 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, а также таблицы, подготовленные для ксерокопирования с последующим их заполнением, которые 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	Исследование процесса осветления оборотных вод с использованием реагентов	4
	Приложение 1.1	13
	Приложение 1.2	17
Лабораторная работа № 2	Исследование пенообразующих свойств реагентов-пенообразователей	23
	Приложение 2	30
Лабораторная работа № 3	Влияние расхода и режима подачи апольярных реагентов на флотацию угольных шламов	35
	Приложение 3	43
Лабораторная работа № 4	Влияние расхода и режима подачи реагентов-вспенивателей на флотацию угольных шламов	45
	Приложение 4	49
Лабораторная работа № 5	Исследование процесса флотации с применением планирования многофакторного эксперимента с целью получения оптимальных результатов (с изменением реагентного режима)	52
	Приложение 5.1	56
	Приложение 5.2. Оценка экспериментальных результатов методами математической статистики	61
	Приложение 5.3. Критерий Фишера для сравнения дисперсий двух выборок	70
	Защита работ по лабораторному практикуму	73
	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	74

Лабораторная работа № 1

Исследование процесса осветления оборотных вод с использованием реагентов

Цель работы. Определить влияние расхода реагентов (коагулянтов и флокулянтов) на процессы осветления шламовых вод. Определить оптимальный расход реагентов на тонну шламовых отходов и порог действия реагентов. Оценить влияние различных механизмов образования агрегатов на качество слива и осадка.

Оборудование и материалы. Измерительные цилиндры на 100 мл – 8 штук, стакан емкостью 500 мл, пипетки для подачи реагентов, технические весы, бюкс для взвешивания высушенного осадка, секундомер, линейка, питание радиального сгустителя или сухие отходы флотации угля, кусочек полиэтиленовой пленки, реагенты: флокулянты с концентрацией 0,1 %, 1 %, 5 %, коагулянт (1 % раствор сернокислого алюминия).

Общие сведения

Для очистки шламовых вод и снижения стоимости процессов сгущения и осветления в лабораториях обогатительных фабрик, научно-исследовательских институтов и ВУЗов постоянно испытываются и внедряются в производство новые реагенты и технологические режимы очистки оборотных вод. Важной задачей является поиск эффективных и дешевых реагентов для очистки оборотной воды на производстве.

Расход флокулянтов в год обычно составляет сотни тонн, поэтому в процессах очистки воды и обезвоживания осадков большое значение имеет рациональное использование реагентов. Определить оптимальный расход реагентов на тонну шламовых отходов – задача весьма сложная, так как в технологии очистки воды, как правило, зачастую изменяется ряд факторов, например, содержание твердого в пульпе, минеральный состав шламов, на осаждение частиц также оказывают влияние температура, рН пульпы. Поэтому важно определить зависимости, связывающие расход реагентов с факторами, которые оказывают влияние на осаждение шламов и осветление оборотной воды.

Отходы флотации представляют собой пульпу (синонимы: суспензия, взвесь), т. е. смесь твёрдых частиц – шламов (менее

0,5 мм) и жидкости. Следовательно, это обводненный продукт, который необходимо обезвоживать для того, чтобы шламовые отходы обогатительной фабрики можно было утилизировать с наименьшим ущербом для окружающей среды.

Суспензии делятся на устойчивые и неустойчивые. В неустойчивых суспензиях твердая фаза расслаивается вследствие осаждения довольно крупных частиц. Нижний предел крупности частиц 1 мкм. В устойчивых суспензиях твердая фаза поддерживается во взвешенном состоянии молекулярными силами взаимодействия частиц. Верхний предельный размер твердых частиц 0,1 мкм.

По крупности шлам углеобогатительных фабрик делится на зернистый, размером более 45 мкм, который относительно хорошо осаждается, улавливается, обогащается, и тонкий размером менее 45 мкм, который весьма трудно обрабатывается.

На углеобогатительных фабриках шлам бывает в необогащенном виде (рядовой), в обогащенном (концентрат флотации, гидроциклонов, концентрационных столов), а также в виде отходов (флотации, гидроциклонов и концентрационных столов).

Для обезвоживания флотационные и другие шламовые отходы направляют в радиальный сгуститель с целью сгущения пульпы и осветления оборотной воды.

В радиальном сгустителе осуществляется процесс осаждения шламов под действием силы тяжести с выделением жидкой фазы из пульпы. Этот процесс называется сгущением, если цель его получить сгущенный продукт, с концентрацией твердых частиц выше, чем в исходном питании, и осветлением, если целью его является получение чистого слива (осветленной воды с меньшей концентрацией твердого, как правило, менее 1 г на литр.).

Осветление шламовых вод, как и сгущение пульпы достаточно медленный процесс вследствие высокой дисперсности твердой фазы пульпы. Для интенсификации осаждения твердых частиц в пульпу добавляют специальные реагенты, которые способствуют агрегированию (коагуляции или флокуляции) твердых частиц. Агрегирование может происходить за счет коагуляции – сцеплению частиц друг с другом вследствие действия молекулярных сил сцепления и уменьшения сил отталкивания и флоку-

ляции – агрегированию частиц с образованием флокул в результате гидрофобизации поверхности частиц.

Наиболее известными реагентами-флокулянтами являются синтетические высокомолекулярные углеводородные соединения: полиакриламид (ПАА), полифлоки, гипан, сепаран, аэрофлоки, полиоксиэтилен (ПОЭ), ВПК, Магнафлоки и др. В качестве реагентов-коагулянтов применяют: известь, крахмал, едкий натр, хлорное железо, квасцы, сернокислый алюминий.

Технологические характеристики пульпы

Соотношение твердого к жидкому (разбавление)

$$R = \frac{W}{Q} \quad \left(R = \frac{Ж}{T} \right),$$

где Q – масса твердого в пульпе; W – масса воды.

Содержание твердого в пульпе

$$\beta_t = \frac{Q}{Q + W}.$$

Механизмы действия реагентов коагулянтов и флокулянтов

Поверхностный заряд частиц характеризуется величиной электрокинетического потенциала (ζ). Если ζ меньше некоторого критического значения, происходит флокуляция частиц, их осаждение и осветление суспензии. Если же ζ превышает критическое значение, то в осадок выпадают только наиболее крупные частицы. Поэтому необходимо снизить величину заряда частиц дисперсной фазы или изменить структуру и состав адсорбционно-сольватного слоя на их поверхности. [2] Для этого применяются реагенты флокулянты и коагулянты.

Коагулянты

В качестве коагулянтов применяют низкомолекулярные сольватирующиеся в воде неорганические вещества, например, соли железа или алюминия: сульфат алюминия, хлорное железо. Распадаясь в воде на ионы, они частично разрушают гидратный слой вокруг взвешенных в пульпе частиц, связанный с двойным слоем ионов поверхности частицы. В результате этого становится возможным преодоление частицами энергетического барьера за счет их кинетической энергии и сцепление частиц между собой. При этом образуются агрегаты, в которых частицы связаны меж-

ду собой молекулярными силами напрямую или через прослойку воды. Таким образом, происходит агрегация частиц и осаждение агрегатов. Агрегаты, получившиеся в результате коагуляции, остаются гидрофильными и образуют после осаждения плотные осадки.

Кроме солей железа и алюминия в качестве коагулянтов используют и другие вещества, распадающиеся в воде на ионы: известь, водорастворимые силикаты, гидроокись натрия, квасцы и другие. Однако применение коагулянтов ограничивается малой эффективностью действия и химической активностью по отношению к металлоконструкциям.

В качестве коагулянтов можно применять неорганические низкомолекулярные полиэлектролиты, такие как алюминат натрия NaAlO_2 , полиоксихлорид алюминия $\text{Al}(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$, сульфаты железа (II) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ и др.

Флокулянты

Процесс флокуляции вызывается реагентами гидрофобизирующими поверхность частиц полностью или частично, а также реагентами, связывающими частицы между собой. Такое действие оказывают флокулянты. Повышенная температура и перемешивание увеличивают вероятность сцепления частиц дисперсной фазы и образования агрегатов.

Флокулянтами называют высокомолекулярные растворимые в воде углеводородные химические соединения природные или синтетические. Например, полиакриламид, гипан, сепаран, сидипур, аэрофлоки, полифлоки, магнафлоки, экафон, флокалы, седомакс и др. Наиболее известен флокулянт – полиакриламид (ПАА). Число групп мономеров в ПАА достигает 10 000. Основным сырьем для получения ПАА является акрилнитрил.

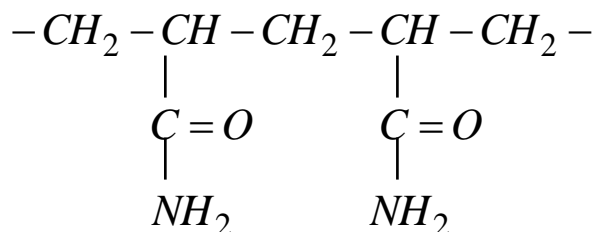


Рис. 1.1. Фрагмент молекулы полиакриламида

Однако в настоящее время наибольшую популярность заво-

евали флокулянты с числом атомов в молекуле более миллиона (обычно 2-3 млн атомов). Например, Магнафлок-156, 455, E10, ZETAG, ВПК, Floram и др. При помещении флокулянта в пульпу, содержащую угольный или глиняный шлам, частицы связываются друг с другом в агрегаты-флокулы и выпадают в осадок.

Механизм образования агрегатов флокулянтами отличается от механизма агрегации частиц коагулянтами.

Известно два механизма.

Первый – мостиковая флокуляция, образуется при сцеплении молекулой флокулянта отдельных частиц между собой. Сцепление молекулами-флокулянтами частиц между собой приводит к образованию многочисленных «мостиков», которые связывают частицы между собой в агрегаты. Гидратные слои препятствуют сближению твердых частиц. Поэтому длина молекул флокулянтов, образующих «мостики», должна превышать общую толщину гидратных слоев, препятствующих сближению твердых частиц.

Эти «мостики» образуются благодаря наличию активных групп в молекуле флокулянта. Адсорбционно-активные группы организуют закрепление флокулянтов за счет образования адсорбционных или химических связей на поверхности твердых частиц. Такими группами могут являться гидроксилы, аминогруппы и другие активные группы, которые способны связывать минеральные частицы. Молекула флокулянта, закрепившаяся на одной минеральной частице, может также образовать связь на поверхности другой частицы благодаря своим многочисленным адсорбционно-активными группам.

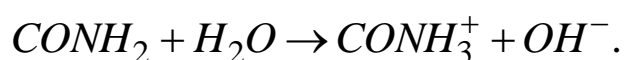
Агрегаты-флокулы, созданные из частиц, скрепленных флокулянтами-«мостиками» являются обводненной структурой, так как между отдельными частицами удерживается достаточное количество воды. Поэтому они после обезвоживания обладают большей остаточной влажностью, чем агрегаты, полученные в результате гидрофобной флокуляции.

Второй механизм закрепления – *гидрофобная флокуляция*, при которой молекула флокулянта гидрофобизирует полностью поверхность частицы или частично, покрывая отдельные участки поверхности, за счет адсорбционного взаимодействия с поверхностью минералов. При этом частично или полностью

устраняется гидратный слой вокруг взвешенных в пульпе минеральных частиц. Поверхность частиц, а также агрегатов гидрофобизируется, т. е. отличается слабой молекулярной связью с окружающей водной средой. Уменьшение гидратного слоя позволяет частицам приближаться друг к другу и образовывать агрегаты-флокулы. Осадок из агрегатов, полученных в результате гидрофобной флокуляции, более плотный, чем при мостиковой флокуляции и менее обводнен.

Флокулянты бывают *ионогенные*, распадающиеся в воде на ионы, и *неионогенные*, которые не ионизируются в воде. Ионогенные флокулянты в зависимости от знака заряда иона, содержащего углеводородный радикал, называют *анионными* или *катионными*.

Неионогенные, например ПАА – полиакриламид в водном растворе, гидролизуются частично, его амидная группа CONH_2 преобразуется в слабую катионную группу CONH_3^+ .



Известно, что, попадая в воду, частицы угля и породы получают отрицательный заряд. Положительно заряженные радикалы CONH_3^+ , контактируя с поверхностью частицы, снижают ее электрокинетический потенциал. При этом одновременно происходит электролитная коагуляция и мостиковая флокуляция частиц молекулами ПАА.

Флокулянты – поверхностно-активные вещества и, следовательно, их активность не повышается с увеличением концентрации флокулянта в пульпе. Необходимо осуществлять подбор «рабочего» диапазона флокулянтов для обезвоживания пульп индивидуально.

Флокулянты, как правило, используются в виде 0,1 %-ных растворов.

Порядок выполнения работы

1. Тщательно встряхните бутыл с питанием радиального сгустителя.
2. Отлейте пульпу в стакан емкостью 500 мл и перелейте ее в восемь измерительных цилиндров емкостью 100 мл до уровня метки, периодически перемешивая пульпу, не допуская осаждения осадка в стакане.

3. Возьмите первый цилиндр, перемешайте в нем пульпу пятикратным опрокидыванием цилиндра, зажимая горлышко рукой и кусочком полиэтилена.
4. Затем в первый цилиндр в пульпу влейте с помощью шприца или пипетки заданный объем раствора реагента – V , мл, с концентрацией – C , %.
5. После добавления реагента и пятикратного перемешивания по секундомеру замерьте время осаждения частиц.
6. Опишите структуру оседающих хлопьев (рыхлые, плотные, однородные или неоднородные) и их приблизительные размеры.
7. Дождитесь полного оседания флоккул и дайте характеристику осветленному слою (аналог качеству слива при сгущении): цвет, прозрачность,
8. Все исходные, расчетные данные, а также данные описательного характера занесите в табл. 1.1 и 1.2.
9. Затем повторите операции п. 3-8 с последующими четырьмя цилиндрами, добавляя в них заданное количество флокулянта.
10. В шестой цилиндр после перемешивания в нем пульпы пятикратным опрокидыванием добавьте минимальное количество заданного катионного реагента, которое в предыдущих опытах привело к наиболее чистому сливу.
11. Затем повторите операции п. 3-8, если в течение минуты не произошло осветление пульпы, занесите результаты наблюдений в таблицу, затем добавьте анионный флокулянт с тем же расходом.
12. В седьмой цилиндр после перемешивания в нем пульпы пятикратным опрокидыванием добавьте анионный флокулянт с тем же расходом.
13. Снова повторите операции п. 3-8, если в течение минуты не произошло осветление пульпы занесите результаты наблюдений в таблицу, а затем добавьте катионный флокулянт с тем же расходом.
14. В восьмой цилиндр после перемешивания в нем пульпы пятикратным опрокидыванием добавьте заданное количество коагулянта.
15. Повторите операции п. 3-8.

16. Отфильтруйте пульпу из каждого цилиндра, предварительно взвесив фильтр.
17. Высушите фильтр с осадком до постоянного веса. Остудите и взвесьте. Определите массу осадка в цилиндре – m , г. Внимание: никогда не взвешивайте нагретые образцы.
18. Рассчитайте расход реагента на тонну шламовых отходов для каждого опыта по формуле

$$Q = \frac{V \cdot C}{m} 10^4,$$

где Q – расход реагента на тонну шламовых отходов, г/т; V – объем раствора реагента, мл; m – масса шламовых отходов в цилиндре, г; C – массовая концентрация раствора реагента, %.

19. Рассчитайте содержание твердого в пульпе по формуле

$$\beta_T = \frac{m}{v} 10^3,$$

где β_T – содержание твердого в пульпе, г/л; v – объем пульпы, мл; m – масса шламовых отходов в цилиндре, г.

20. Данные расчетов занесите в таблицы 1.1 и 1.2 и 1.3.
21. Рассчитайте ошибку эксперимента по содержанию твердого в пульпе и коэффициент вариации средней величины, используя таблицу 1.4 (прил. 1.2).
22. Данные расчетов занесите в таблицу 1.3.
23. Постройте график скорости осаждения от расхода реагента на тонну шламовых отходов.
24. Сделайте вывод по всем результатам эксперимента.

Вопросы для самоконтроля

1. В каких аппаратах осуществляются процессы сгущения?
2. Какие аппараты для сгущения вам известны?
3. Почему необходимы процессы сгущения шламов?
4. Назовите факторы, влияющие на процесс осветления.
5. Какие шламы подвергают сгущению в радиальных сгустителях?
6. Что называют суспензиями?
7. Чем отличаются устойчивые суспензии от неустойчивых?
8. Какие реагенты используют для интенсификации осаждения твердых частиц в пульпе?
9. Назовите наиболее известные реагенты-флокулянты.

10. Назовите наиболее известные реагенты-коагулянты.
11. Какие процессы протекают в пульпе на границе раздела фаз жидкость-твердое, если действует механизм коагуляции?
12. Чем ограничивается применение коагулянтов?
13. Какие механизмы образования агрегатов флокулянтами вы знаете?
14. Какие процессы протекают в пульпе на границе раздела фаз жидкость-твердое, если действует механизм мостиковой флокуляции?
15. Какие процессы протекают в пульпе на границе раздела фаз жидкость-твердое при гидрофобной флокуляции?
16. Чем отличаются осадки и флокулы, которые образуются в результате действия различных механизмов флокуляции?
17. Какие типы флокулянтов вы знаете?

Приложение 1.1

Таблица 1.1

Результаты расчета расхода реагента на тонну шламовых отходов и скорости осаждения флоккул

№ опыта	Реагент	Концентрация раствора реагента C , %	Добавляемый в пульпу объем раствора реагента V , мл	Масса твердой фазы в цилиндре m , г	Расход реагента на тонну твердой фазы Q , г/т	Время t , с	Высота осветленного слоя H , мм	Высота осадка h , мм	Скорость осаждения H/t , мм/с
1									
2									
3									
4									
5									
6	Коагулянт: сернокислый алюминий								
7									
8									
9									
10									

Таблица 1.2

Результаты наблюдений

№ опыта	Характеристика осветленного слоя	Относительная высота осадка h/m , мм/г	Размеры флокул	Структура флокул	Название наиболее вероятно- го механизма флокуляции или их комбинации	Другие особенности
1						
2						
3						
4						
5						
6	Коагулянт: сернокислый алюминий					
7						
8						
9						
10						

Таблица 1.3

Результаты расчета ошибки эксперимента

№ опыта	Содержание твердого в пульпе β_T , г/л	Среднее арифмети- ческое содержание твердого в пульпе $\bar{\beta}_T$, г/л	Среднее квадратичное отклонение σ , г/л	Ошибка воспроизводимости эксперимента: $\varepsilon = t\sigma/\sqrt{n}$	Коэффициент вариации среднего арифметиче- ского значения: $\psi = \frac{\sigma}{\bar{x}}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Приложение 1.2

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

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad (5)$$

– 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 5, табл. 5.1) 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

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

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 1.4

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

Лабораторная работа № 2

Исследование пенообразующих свойств реагентов-пенообразователей

Цель работы: Изучение влияния типа и концентрации пенообразователя на свойства пен. Исследование закономерностей образования и разрушения двухфазной пены.

Введение

Гетерополярные поверхностно-активные вещества легко адсорбируются на границе раздела фаз воды и воздуха. Вещества такого типа часто применяют в качестве реагентов-пенообразователей. Молекулы воды представляют собой диполи, поэтому междофазная граница со стороны жидкой фазы имеет заряд. Молекулы пенообразователя полярной группой сориентированы по направлению к воде, а неполярной к воздушной фазе. Фактически это приводит к частичной компенсации заряда поверхности вода-воздух и, как следствие, к снижению поверхностной энергии на границе раздела фаз. Это приводит к уменьшению коалесцентной способности пузырьков воздуха, а следовательно, увеличению их дисперсности. Образование устойчивого гидратного слоя вокруг пузырька способствует стабильности пены, уменьшению скорости подъема воздушных пузырьков, а значит устойчивости флотационных комплексов.

Для флотации важно, чтобы пена не была слишком устойчивой иначе сложно транспортировать ее по желобам. Чрезмерно устойчивая пена препятствует протеканию процесса фильтрования, а также вторичному обогащению пенного продукта, что в конечном итоге приводит к понижению качества концентратов. Надо иметь в виду, что пена не должна быстро разрушаться, т. е. небольшой объем пены, ее нестабильность уменьшают извлечение полезного компонента в концентрат. В зависимости от структуры молекулы, физико-химических свойств, растворимости реагенты-пенообразователи образуют пены с различными свойствами при одних и тех же условиях их применения.

Необходимо подбирать реагенты-пенообразователи таким образом, чтобы в результате их применения получалась в меру устойчивая пена. Подбор реагентов необходимо проводить, опи-

раясь на критерии: скорость образования двухфазных пен, объем пен, кинетика их разрушения.

Оборудование и материалы

Установка для исследования пенообразующих свойств реагентов-пенообразователей; стаканы для приготовления растворов; мерный цилиндр; секундомер; реагенты пенообразователи; дистиллированная вода.

Описание установки

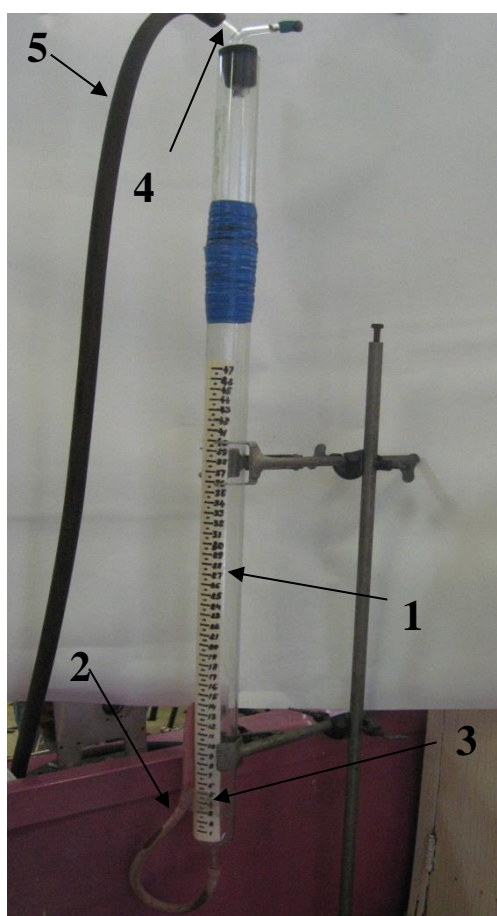


Рис. 2.1. Схема установки: 1 – стеклянная трубка с градуированной шкалой; 2 – резиновая полая трубка; 3 – фильтр; 4 – патрубок, соединяющий трубку с манометром; 5 – вакуумный шланг

Установка (рис. 2.1) состоит из стеклянной трубки (1) с градуированной шкалой в мм, резиновой полых трубки (2), которая

соединена с трубкой (1) как сообщающийся сосуд. В нижней части стеклянной трубки устанавливается керамический или стеклянный фильтр. Верхняя часть трубки закрывается пробкой, в которую вставлен патрубок, соединяющий трубку с манометром через вакуумный шланг (5). V-образный водяной манометр соединен вакуумным шлангом с насосом.

Порядок проведения работы

1. 25 мл раствора пенообразователя заданной концентрации влить в трубку 1.
2. Когда вакуум в системе стабилизируется и давление воздуха, отмечаемое манометром, поднимется до постоянной величины открыть кран, соединяющий трубку 1 с вакуумной системой. Воздух из атмосферы начнет поступать через фильтр и раствор вспенивателя. В трубке 1 и начнется пенообразование.
3. Начать отсчет времени и измерение максимального всплеска пены каждые 1–3 секунды. Отмечать высоту столба пены до тех пор, пока он не достигнет постоянной максимальной высоты. Измерения проводить при постоянном давлении в вакуумной системе.
4. Затем сбросить давление и через замеренные промежутки времени отмечать высоту столба пены до полного ее разрушения.
5. Далее приготавливают раствор большей концентрации и повторяют опыт.

Порядок обработки и оформления данных

1. Ознакомиться с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выписать название, цель, оборудование, подготовить табл. 2.1 и 2.2.
2. Получить задание у преподавателя. В работе необходимо сравнить эффективность действия не менее двух пенообразователей (два опыта) на не менее чем четырех значениях концентрации их растворов. По каждой концентрации провести 10 измерений.

3. Провести замеры времени образования слоя пены и его толщины и времени разрушения. Замеры производить через каждые одну–три секунды.
4. Заполнить таблицы.

На основании полученных данных определяют кинетику изменения скоростей в процессе образования и разрушения пены, скорости образования максимального столба пены и ее разрушения. Скорости рассчитывают по формулам:

$$v_i = 10^{-3} \frac{\Delta h_i}{\Delta t_i};$$

где v_i – скорость образования (разрушения) пены, м/с, в период времени $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$, с; $\Delta h_i = h_i - h_{i-1}$ – изменение высоты слоя пены за данный период, мм;

$$v_{\max}^o = 10^{-3} \frac{h_{\max}^o}{t_{\max}^o}.$$

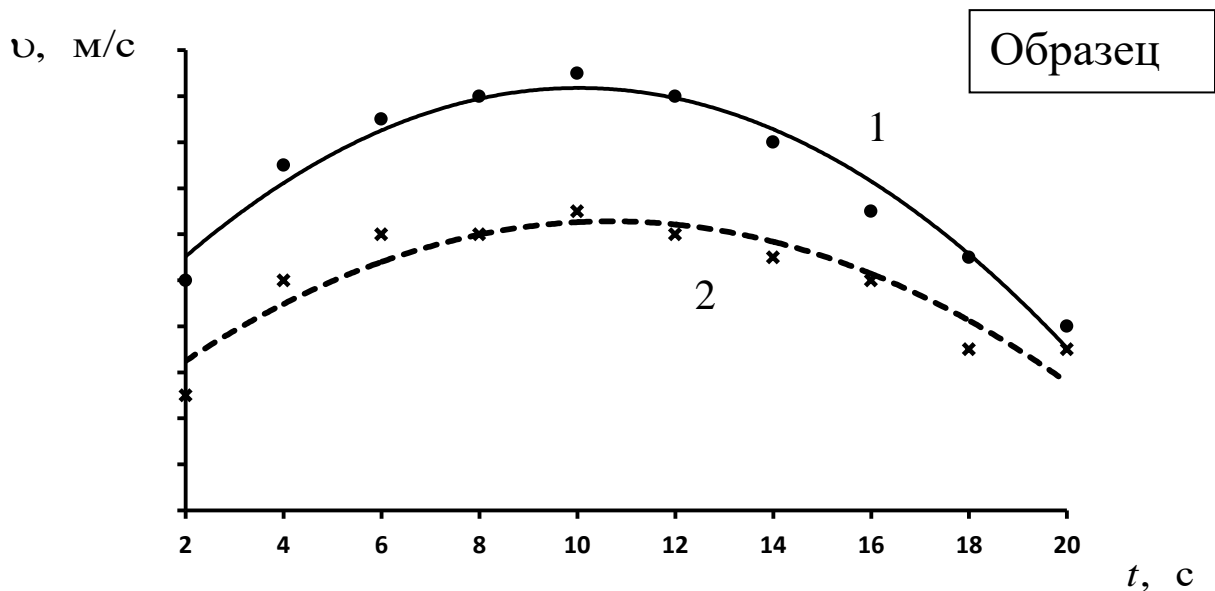
где v_{\max}^o – скорость образования максимального слоя пены, м/с при данной концентрации пенообразователя; t_{\max}^o , с – время образования максимального слоя пены – h_{\max}^o , мм;

$$v_{\max}^p = 10^{-3} \frac{h_{\max}^p}{t_{\max}^p}.$$

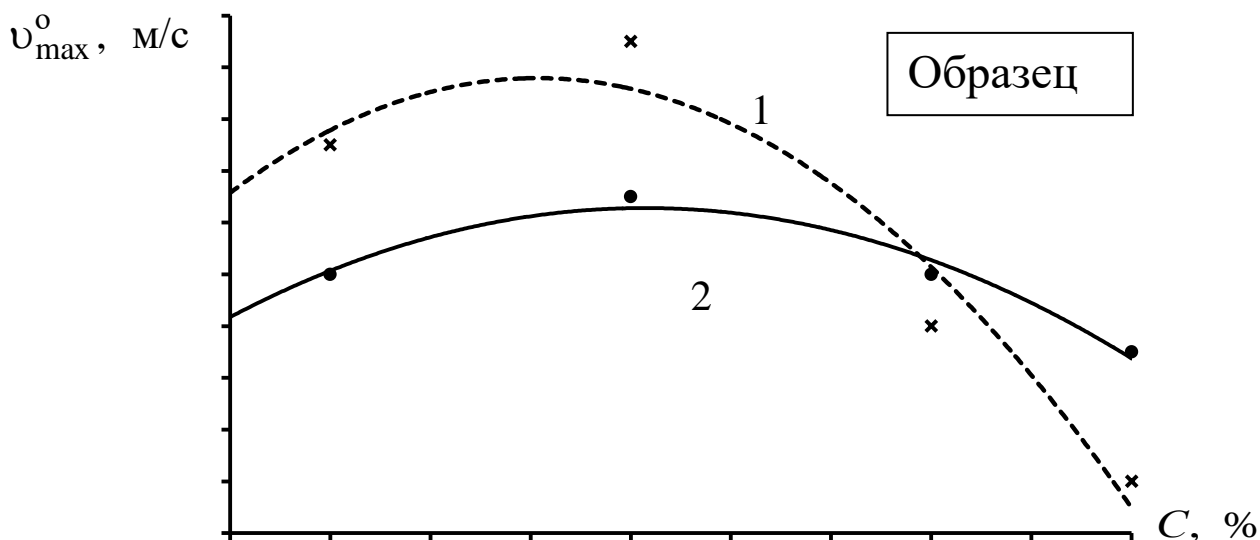
где v_{\max}^p – скорость разрушения максимального слоя пены, м/с при данной концентрации пенообразователя; t_{\max}^p , с – время разрушения максимального слоя пены – h_{\max}^p , мм.

5. Построить графические зависимости:

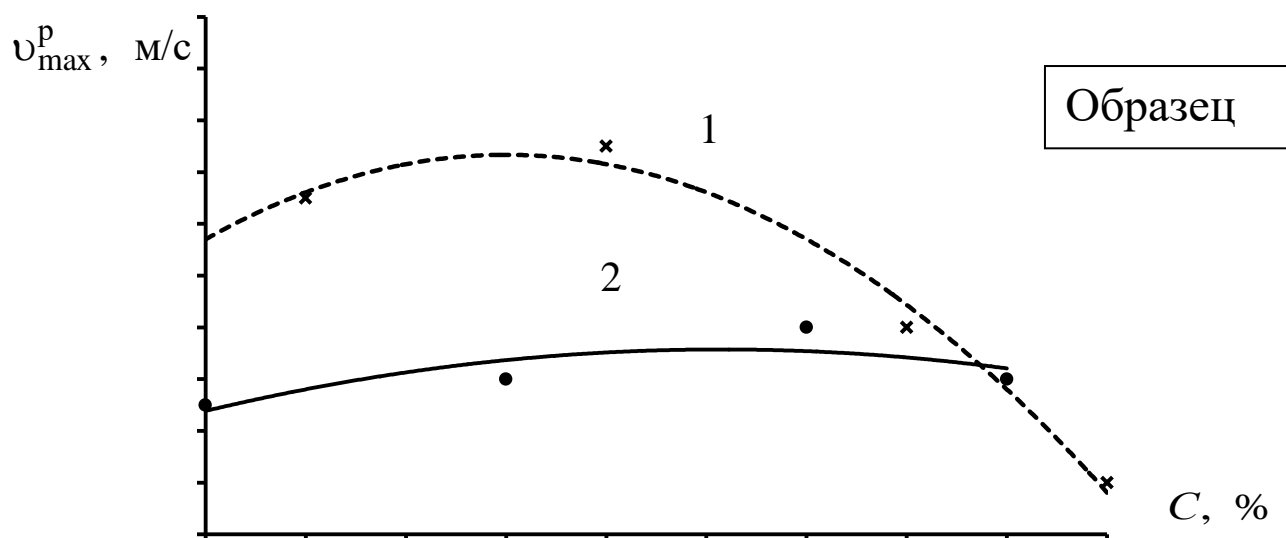
- кинетики образования (1) и разрушения (2) двухфазной пены для каждого пенообразователя при различных концентрациях;



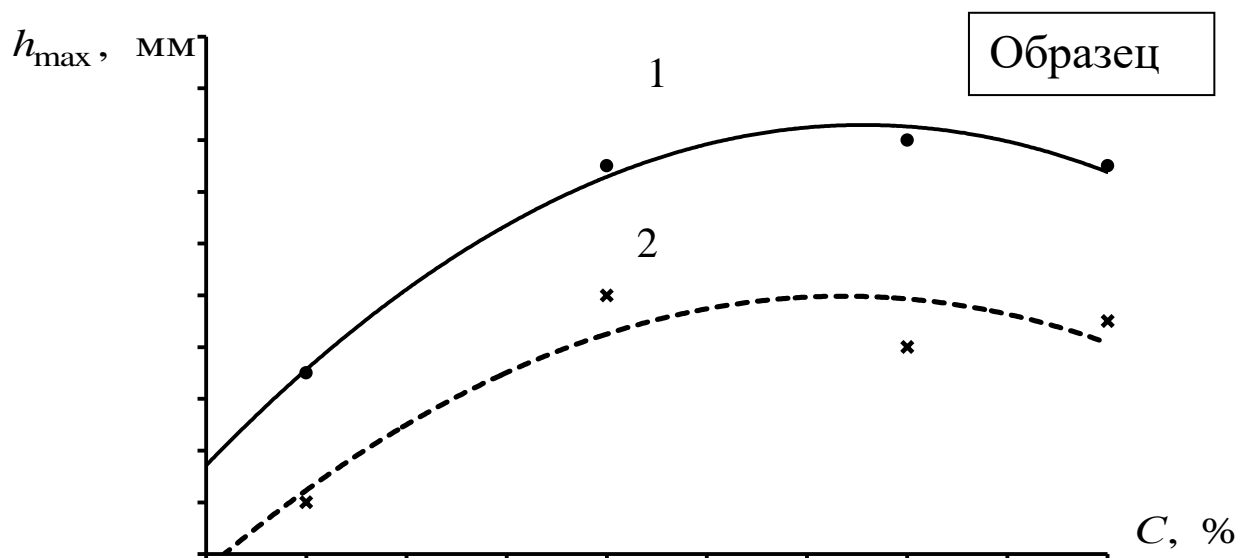
- зависимости скорости образования пены от концентрации растворов пенообразователей (1 – пенообразователь № 1; 2 – пенообразователь № 2);



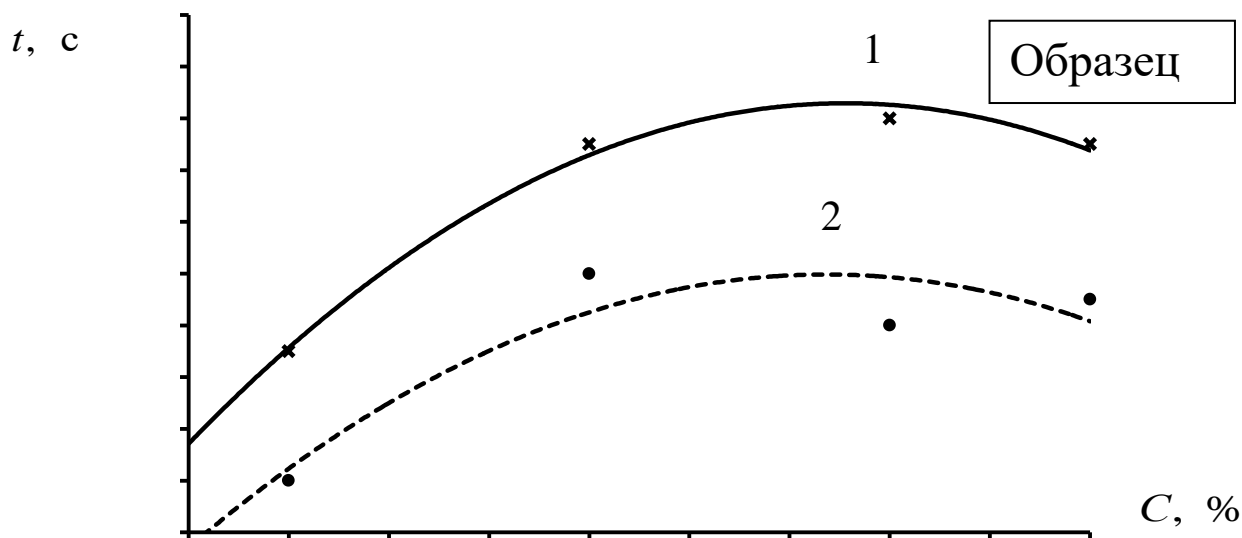
- зависимости скорости разрушения пены от концентрации растворов пенообразователей (1 – пенообразователь № 1; 2 – пенообразователь № 2);



- зависимости высоты двухфазной пены (отражает качественно объем образовавшейся пены) от концентрации растворов пенообразователей (1 – пенообразователь № 1; 2 – пенообразователь № 2);



- зависимости времени разрушения пены от концентрации растворов пенообразователей (1 – пенообразователь № 1; 2 – пенообразователь № 2);



6. Сделать вывод, отражающий влияние типа и концентрации вспенивателя на характер образования и разрушения пены.

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите механизм действия пенообразователей.
2. Опишите требования к пене и типы флотационных пен
3. Опишите классификацию вспенивателей.
4. Каким образом вспениватели оказывают влияние на процесс образования пены? Дайте объяснение механизму действия вспенивателя на молекулярном уровне.
5. Какова должна быть оптимальная крупность пузырьков и почему?
6. Какова должна быть оптимальная скорость подъема пузырьков и почему?
7. Какую роль во флотации играют кавитационные пузырьки и какие имеют размеры?
8. Какую роль играет гидратный слой в процессе действия вспенивателя при флотации?

Приложение 2

Таблица 2.1

Результаты определения свойств двухфазных пен

№ опыта	Наименование реагента		Концентрация, мг/л		Характеристика пены в период образования						
					№ измерения	t_i, c	$\Delta t_i, c$	$h_i, мм$	$\Delta h_i, мм$	$v_i, м/с$	$v_{max}^0, м/с$
1	1		1		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			2		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			3		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			4		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						

Таблица 2.1 (продолжение)
 Результаты определения свойств двухфазных пен

№ опыта	Наименование реагента		Концентрация, мг/л		Характеристика пены в период образования						
					№ измерения	t_i, c	$\Delta t_i, c$	$h_i, мм$	$\Delta h_i, мм$	$v_i, м/с$	$v_{max}^0, м/с$
1	2		1		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			2		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			3		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			4		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						

Таблица 2.2

Результаты определения свойств двухфазных пен

№ опыта	Наименование реагента		Концентрация мг/л		Характеристика пены в период разрушения						
					№ измерения	t_i, c	$\Delta t_i, c$	$h_i, мм$	$\Delta h_i, мм$	$v_i, м/с$	$v_{max}^0, м/с$
1	1		1		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			2		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			3		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			4		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						

Таблица 2.2 (продолжение)

Результаты определения свойств двухфазных пен

№ опыта	Наименование реагента		Концентрация, мг/л		Характеристика пены в период разрушения						
					№ измерения	$t_i, \text{с}$	$\Delta t_i, \text{с}$	$h_i, \text{мм}$	$\Delta h_i, \text{мм}$	$v_i, \text{м/с}$	$v_{\text{max}}^0, \text{м/с}$
1	2		1		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			2		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			3		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						
			4		1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					10						

Лабораторная работа № 3

Влияние расхода и режима подачи аполярных реагентов на флотацию угольных шламов

Цель работы: Изучение влияния типа, расхода и режима подачи аполярных реагентов на технологические характеристики процесса флотации и качество угольных концентратов.

Введение

Собиратели гидрофобизируют минеральную поверхность (понижают ее смачиваемость водой), увеличивают скорость и прочность прилипания частиц к пузырькам воздуха. В качестве аполярных реагентов при флотации угля и других минералов с высокой естественной гидрофобностью используют углеводородные масла типа – осветительного керосина, машинного масла, трансформаторного, солярового масла и др., которые, впрочем, содержат наряду с аполярными молекулами такие же вещества с молекулами гетерополярного строения. Аполярные химические соединения, введенные совместно с гетерополярными, усиливают их коллективизирующее действие. Механизм этого явления, по-видимому, заключается в растекании капелек масла по участкам поверхности, гидрофобизированным гетерополярными собирателями.

Необходимо помнить при подборе расхода аполярных реагентов, что они оказывают сильное подавляющее действие на пенообразование.

Преобладающим фактором, влияющим на флотационные свойства частиц минералов, является вязкость аполярных масел. Для флотации крупных частиц лучше использовать тяжелые (с плотностью $0,88-0,93 \text{ г/см}^3$) вязкие масла, а для флотации шламов – легкие (с плотностью $0,82-0,87 \text{ г/см}^3$) маловязкие. Вязкость масел обычно регулируют смешением маловязкого масла, например, керосина с вязким мазутом.

Углеводородные масла практически нерастворимы в воде, поэтому необходимо обеспечить максимальную вероятность столкновения флотируемых частиц и капелек масла. Для этого целесообразна подача аполярных реагентов в виде эмульсий.

Эмульгирование реагентов улучшает показатели обогащения и на 1/3 уменьшает расход реагентов. Для повышения эффективности эмульгирования применяют реагенты-стабилизаторы (жирные кислоты, жирные амины, алкилсульфаты и др.), которые препятствуют коалесценции капелек масла, делая эмульсию агрегативно устойчивой.

Порционная загрузка аполярных реагентов оказывает более высокие результаты на флотацию каменного угля. Каменный уголь содержит смесь ингредиентов, обладающих различной сорбционной активностью. При единовременной подаче реагента-собирателя он распределится преимущественно по наиболее сорбционно-активным поверхностям, частицы с малой сорбционной активностью останутся не покрытыми собирателем. При порционной подаче гидрофобные частицы удаляются из флотационной камеры поочередно от наиболее сорбционно-активных к наименее.

Изучение влияния типа, расхода и режима подачи аполярных реагентов на технологические характеристики процесса флотации и качество угольных концентратов в данной работе проводится на шламах коксующегося угля.

Оборудование и материалы

Лабораторная флотационная машина, комплекты посуды для приготовления пульпы и сбора продуктов флотации, мерный цилиндр, промывалка или резиновая груша, технические и аналитические весы; секундомер; угольные шламы; флотационные реагенты: керосин, КОБС.

Описание установки

Установка (рис. 3.1) 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).

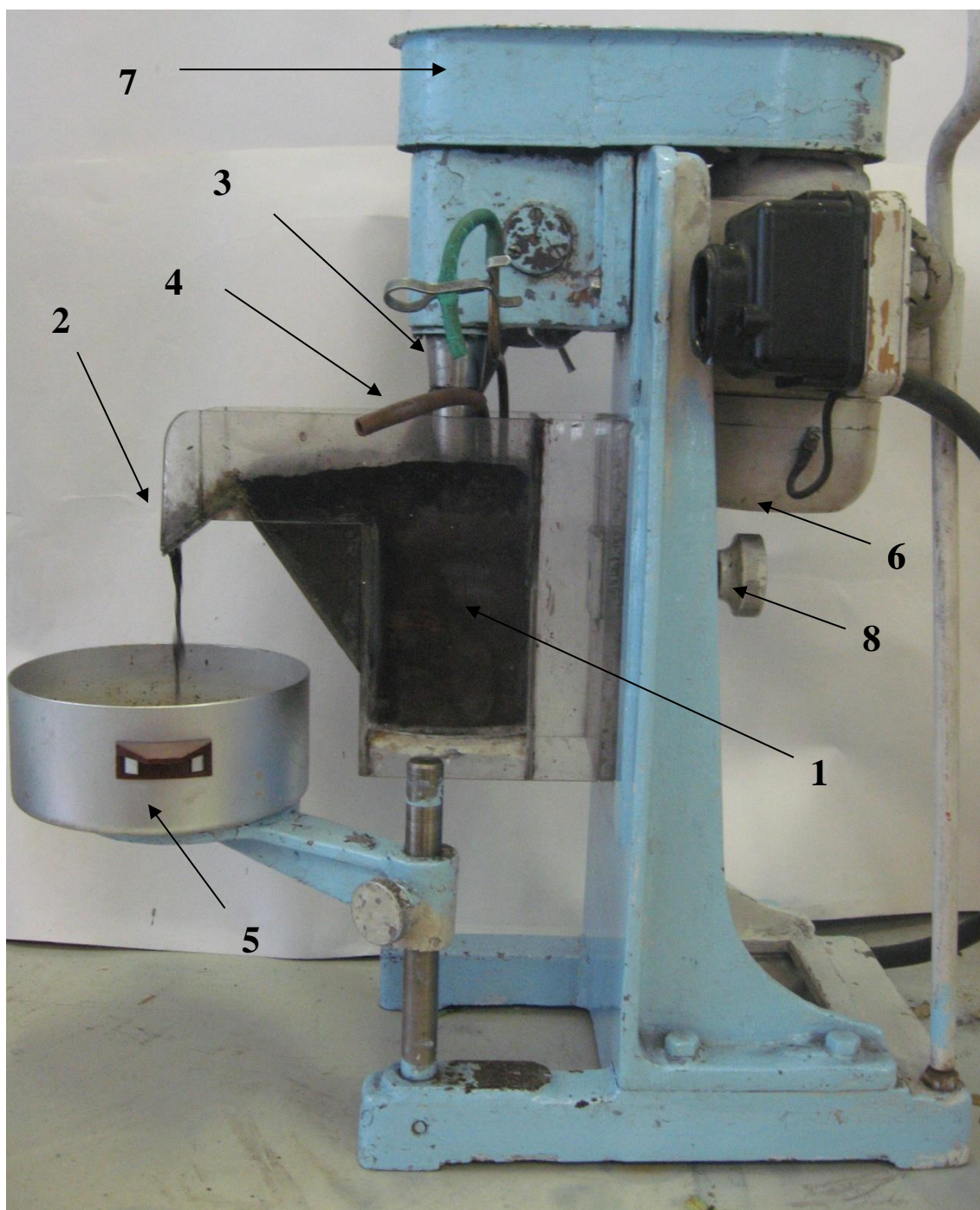


Рис. 3.1. Схема установки. 1 – флотационная камера; 2 – сливной порог камеры флотационной машины; 3 – блок аэратора; 4 – трубка для подачи воздуха; 5 – емкость для сбора продуктов флотации; 6 – электродвигатель; 7 – электропривод с клиноременной передачей; 8 – зажимная гайка, фиксирующая положение камеры флотационной машины

Аэрационный узел машины (рис. 3.2.) 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.

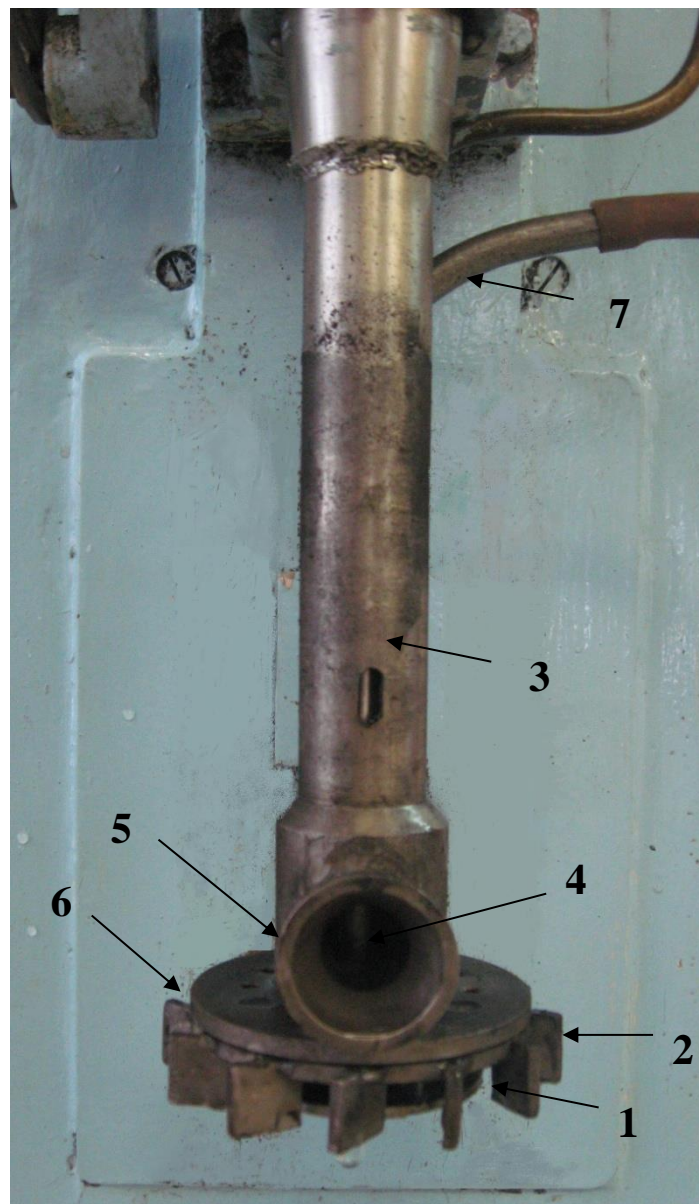


Рис. 3.2. Схема блока аэратора. 1 – диск импеллера с шестью радиальными лопатками; 2 – лопатки статора; 3 – труба импеллера; 4 – вал импеллера; 5 – отверстие для регулирования внутрикамерной циркуляции пульпы; 6 – надымпеллерный диск статора; 7 – трубка для подачи воздуха

Порядок проведения работы

I. 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 и режим подачи собирателя и вспенивателя.

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_{Π} .

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. 3.1), установленную на столике.

Полезный объем камеры флотационной машины – V_{Π} 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. 3.1) и замеряют объем воды V_3 , вытесненной из камеры. Рабочий объем находят по формуле

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

2. Определение аэрированности 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 δ – плотность угля, кг/м³; 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 таблицу.

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

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 или груши. Доливают в камеру воду до уровня рабочего объема пульпы.

Затем 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.

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

Продукты флотационного опыта с максимальным выходом концентрата после сушки и взвешивания необходимо высыпать в бумажные пакеты и сохранить до выполнения работы № 4.

Результаты флотационных опытов заносят в табл. 3.1.

Порядок обработки и оформления данных

1. Ознакомиться с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выписать название, цель, оборудование, подготовить табл. 3.1.
2. Получить задание у преподавателя. В работе необходимо сравнить эффективность действия собирателя при различном его расходе и при различных режимах подачи его в камеру. Например, сравнить эффективность действия собирателя при единовременной его подаче в зону агитации и дробной подаче в процессе флотации, а так же в эмульсионном или капельном режимах. Через минуту после начала флотации собрать пену, отфильтровать и высушить, третий концентрат собирать до пустой пены и фиксировать время завершения флотации.
3. Заполнить таблицу.
4. Сделать вывод, отражающий влияние расхода и режима подачи собирателя на выход концентрата.

Вопросы для самоконтроля

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. Опишите классификацию флотационных реагентов, их назначение.
8. Опишите классификацию собирателей, их назначение.
9. Аполярный собиратель. В чем заключается его особенность? Опишите механизм действия. Какие минералы флотируют с его применением?
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?

Приложение 3

Таблица 3.1. Влияние расхода и режима подачи аполярных реагентов на флотацию угольных шламов

№ опыта	Крупность угля, мм	R	Q, т	Тип, расход и режим подачи реагента					Время флотации, мин	Продукты	Выход		Примечание		
				Название реагента	Собиратель			Режим подачи			г	%			
					Расход										
				G, кг/т	g, г	n									
1										К-т 1					
										К-т 2					
										К-т 3					
										Общий к-т					
					—					Отходы					
2												К-т 1			
												К-т 2			
												К-т 3			
												Общий к-т			
							—					Отходы			
3												К-т 1			
												К-т 2			
												К-т 3			
												Общий к-т			
												Отходы			
4												К-т 1			
												К-т 2			
												К-т 3			
												Общий к-т			
												Отходы			

Лабораторная работа № 4

Влияние расхода и режима подачи реагентов-вспенивателей на флотацию угольных шламов

Цель работы: Изучение влияния типа, расхода и режима подачи вспенивателя на технологические характеристики процесса флотации и качество угольных концентратов.

Введение

Реагенты-вспениватели являются гетерополярными химическими соединениями, поверхностно-активными веществами, способными сорбироваться на границу раздела фаз вода-воздух. Они понижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз и капиллярное давление в пузырьке воздуха, которое способствует отрыву частицы от пузырька. От степени их активности в большей степени зависит процесс флотации.

От действия вспенивателя зависит толщина гидратного слоя пузырька, а значит скорость подъема, форма и размер (дисперсность) пузырьков, что в свою очередь влияет на производительность процесса, качество концентратов и извлечение полезного компонента из исходной пульпы.

Различают три типа пен: пленочно-структурные, агрегатные и пленочные. Тип пены можно определить по виду ее распада и содержанию воды в продуктах распада. *Пленочно-структурная* пена встречается наиболее часто. Она характеризуется значительной обводненностью, имеет относительно большую высоту и повышенное содержание увлеченных потоком частиц пустой породы. *Агрегатными* называют плотные минерализованные пены, содержащие относительно небольшую долю воды. Образованию агрегатных пен способствуют относительно крупные флотирующиеся частицы, а также добавки аполярных масел. Они могут получаться при распаде обычных пленочно-структурных пен. Агрегатным пенам часто соответствует максимальная скорость флотации. *Пленочные* пены аналогичны агрегатным, но имеют небольшую толщину; получают при флотации крупных гидрофобных частиц небольшой плотности, например, угля.

В качестве реагентов-вспенивателей при флотации угля используют реагенты типа – КОБС (кубовые остатки производства бутилового спирта), Т-66 (кубовые остатки производства диметилдиоксана), метилизобутилкарбинол (МИБК) и др.

Вспениватели – органические вещества и не всегда обладают хорошей растворимостью, поэтому больший эффект на флотацию оказывает предварительное эмульгирование реагентов. Диспергирование реагентов на мельчайшие капли увеличивает общую поверхность капель реагентов в эмульсии, что, в конечном счете, приводит к увеличению скорости растворения эмульгированного вещества.

В данной работе проводится изучение влияния типа, расхода и режима подачи вспенивателей на технологические характеристики процесса флотации и качество угольных концентратов.

Оборудование и материалы

Лабораторная флотационная машина, комплекты посуды для приготовления пульпы и сбора продуктов флотации, мерный цилиндр, промывалка или резиновая груша, технические и аналитические весы; секундомер; угольные шламы; флотационные реагенты: керосин, КОБС.

Описание установки

Работа проводится на установке, описанной в лабораторной работе № 3.

Порядок проведения работы

I. 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 и расход и режим подачи собирателя устанавливается по условиям опыта из лабораторной работы № 3, по которому получен концентрат с наибольшим выходом.

II. Рабочий объем камеры; аэрированность пульпы; масса исходной навески пробы угля остаются такими же как и в лабораторной работе № 3. Расход подаваемых флотационных реагентов рассчитывается таким же образом согласно условиям опыта, которые задает преподаватель. Подготовка пробы к флотации и

проведение опытов осуществляется также аналогично способу, описанному в лабораторной работе № 3.

Результаты флотационных опытов заносят в табл. 4.1.

Порядок обработки и оформления данных

1. Ознакомиться с целью работы, теоретической частью и порядком проведения. Выписать название, цель, оборудование, подготовить табл. 4.1.
2. Получить задание у преподавателя. В работе необходимо сравнить эффективность действия вспенивателя при не менее четырех условиях флотации (включая данные по опыту с лучшим выходом концентрата, все значения по которому необходимо выписать из табл. 3.1 и занести в табл. 4.1): при различном расходе вспенивателя и при различных режимах подачи его в камеру в зону агитации в неэмульсионном режиме (каплями) или же в эмульсионном режиме. Через минуту после начала флотации собирать пену, фильтровать и сушить, третий концентрат собирать до пустой пены и фиксировать время завершения флотации. Определить вес каждого из концентратов.
3. Взять пробы (не более 1 г) точной массы каждого высушенного продукта, *в том числе и от сохраненного опыта* (из лабораторной работы № 3) и отдать лаборанту на озоление.
4. Заполнить таблицы.
5. Сделать вывод, отражающий влияние расхода и режима подачи вспенивателя на выход, зольность концентрата и извлечение горючей массы.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое влияние реагентный режим оказывает на результаты флотации?
2. Какое влияние расход реагентов-вспенивателей оказывает на результаты флотации?
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 конструкции современных флотационных угольных машин?
14. Как вы понимаете явление кавитации?

Приложение 4

Таблица 4.1

Влияние расхода и режима подачи реагента-вспенивателя на выход концентрата

№ опыта	Крупность угля, мм	R	Q, г	Тип, расход и режим подачи реагента										Время флотации, мин	Продукты	Выход		Примечание																
				Собиратель					Вспениватель							г	%																	
				Название реагента	Расход			Режим подачи	Название реагента	расход, кг/т			Режим подачи																					
					G, кг/т	g, г	n			G, кг/т	g, г	n																						
1																																		
																			К-т 1															
																			К-т 2															
																			К-т 3															
																			Общий к-т															
-																			Отходы															
																			К-т 1															
																			К-т 2															
																			К-т 3															
																			Общий к-т															
-																			Отходы															
																			К-т 1															
																			К-т 2															
																			К-т 3															
																			Общий к-т															
-																			Отходы															
																			К-т 1															
																			К-т 2															
																			К-т 3															
																			Общий к-т															
-	Отходы																																	

Таблица 4.2

Влияние расхода и режима подачи реагента-вспенивателя на зольность и
извлечение горючей массы угольного концентрата

№ опыта	Тип, расход и режим подачи реагента						Время флотации, мин	Продукты	Зольность A^d , %	Извлечение горючей массы ε , %
	Собиратель			Вспениватель						
	Название реагента	Расход G , кг/т	Режим подачи	Название реагента	Расход, G , кг/т	Режим подачи				
1							1	К-т 1		
							1	К-т 2		
								К-т 3		
								Общий к-т		
							-	Отходы		
2							1	К-т 1		
							1	К-т 2		
								К-т 3		
								Общий к-т		
							-	Отходы		
3							1	К-т 1		
							1	К-т 2		
								К-т 3		
								Общий к-т		
							-	Отходы		
4							1	К-т 1		
							1	К-т 2		
								К-т 3		
								Общий к-т		
							-	Отходы		

Лабораторная работа № 5

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 типа, расхода и режима подачи аполярных реагентов-собирателей, типа, расхода и режима подачи вспенивателей, плотности пульпы, режима съема пены и др. факторов на технологические характеристики процесса и продуктов флотации, используя планы оптимизации многофакторных экспериментов по латинским квадратам с построением математической модели флотационного процесса.

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.

Порядок проведения работы

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_{Π} 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 аэрированности 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 $\delta = 400 \text{ кг/м}^3$ – плотность угля; V – рабочий объем камеры флотационной машины, мл.

4. Определение расхода подаваемых флотационных реагентов на навеску (в каплях или в мл)

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.

Число капель (n) на навеску угля (на один опыт) определяют по формуле

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

Необходимый расход реагентов на навеску рассчитывают по формуле

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

где g – необходимый расход реагентов на навеску, г; $p_k = 0,02$ г – масса одной капли керосина, г; $p_k = 0,018$ г – масса одной капли КОБСа; n – число капель на навеску угля (на один опыт); G , г/т – необходимый расход реагентов на одну тонну угля (табл. 1); 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 ; необходимый расход реагентов на одну тонну угля занести в табл. 3.

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.

Порядок обработки и оформления данных

1. Ознакомиться с теоретической частью и порядком проведения. Сформулировать цель согласно общей цели работы и конкретизировать ее согласно заданию по табл. 5.1 (прил. 5.1). Выписать название, оборудование.

2. Ознакомиться с матрицей планирования по латинскому квадрату (табл. 5.2) (прил. 5.1).

3. Флотационные опыты проводятся по условиям согласно плану эксперимента. Заполнить табл. 5.3 (приложение 5.1).

4. Провести необходимые расчеты, согласно прил. 5.2. Построить статистическую модель, проверить ее работоспособность, проанализировать результаты. Спрогнозировать условия оптимального эксперимента с наилучшими показателями флотации.

5. Сделать вывод по результатам исследований.

Приложение 5.1

Таблица 5.1

Исследуемые факторы и их значения при флотации

№	Наименование	Значения факторов						Единицы измерения
1	Тип реагента-собирателя	1 –		2 –		3 –		
2	Расход реагента собирателя G_1	I –		II –		III –		
3	Расход вспенивателя (КОБС) G_2	A –		B –		C –		

Таблица 5.2

Матрица планирования

Тип реагента-собирателя	Расход собирателя (керосина)			Итого
	I	II	III	
1	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	
2	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	
3	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	
Итого				

Таблица 5.3

№ опыта	Крупность угля, мм	R	Тип, расход и режим подачи реагента										Время флота- ции, мин	Продук- ты	Извле- чение		Условия по латинскому квадрату			
			Собиратель					Вспениватель												
			Назва- ние реагента	Расход			Режим подачи	Название реагента	расход, кг/т			Режим подачи			г	%				
				G, кг/ т	g, г	n			G, кг/ т	g, г	n									
1								КОБС						Общий к-т			1, I, B			
														Отходы						
2															Общий к-т			2, I, C		
															Отходы					
3																Общий к-т			3, I, A	
																Отходы				
4																	Общий к-т			1, II, C
																	Отходы			

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

№ опыта	Крупность угля, мм	R	Тип, расход и режим подачи реагента									Время флота- ции, мин	Продук- ты	Извле- чение		Условия по латинскому квадрату
			Собиратель					Вспениватель								
			Назва- ние реагента	Расход			Режим подачи	Название реагента	расход, кг/т					Режим подачи		
				G, кг/т	g, г	n			G, кг/т	g, г	n					
9							КОБС						Общий к-т			3, III, C
													Отходы			

Приложение 5.2

Теоретическая часть

Многофакторный дисперсионный анализ

Многофакторный дисперсионный анализ рассмотрим на примере латинских и греко-латинских квадратов.

Планирование экспериментов

в виде латинских и греко-латинских квадратов

При помощи латинских и греко-латинских квадратов можно исследовать влияние нескольких факторов на искомую функцию, определить вид и коэффициенты регрессионного уравнения.

Важно!

Латинские и греко-латинские квадраты составляются случайным образом при выполнении условий:

- ✓ каждый элемент из i, j, k, q должен встречаться только один раз в одной строке или столбце;
- ✓ необходимо соблюдать равенство числа уровней для всех факторов.

С помощью планов в виде латинских и греко-латинских квадратов можно выбрать сочетание факторов, приводящее к наилучшим результатам исследуемой функции, и продолжить ее изучение, приближаясь к глобальному максимуму.

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 флотаци-

онной 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.

Греко-латинский квадрат

Количество реагента <i>j</i>	Тип флотационной машины, <i>i</i>			
	1	2	3	4
I	<i>Aγ</i>	<i>B δ</i>	<i>Cα</i>	<i>Dβ</i>
II	<i>Cδ</i>	<i>Dγ</i>	<i>Aβ</i>	<i>Bα</i>
III	<i>Bβ</i>	<i>A α</i>	<i>Dδ</i>	<i>Cγ</i>
IV	<i>Dα</i>	<i>Cβ</i>	<i>Bγ</i>	<i>Aδ</i>

q (α , β , γ , δ) – температура флотации.

Греко-латинский квадрат отличается от латинского добавлением ортогонального квадрата из греческих букв.

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

Определить условия максимального выхода чернового 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>i</i>	Тип флотационной машины <i>j</i>			
	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 – SmartCellTM WEMCO; II – WEMCO 1+1TM; III – ФМР-63; IV – PNEUFLOT[®] cell HUMBOLDT WEDAG; A – техническая олеино-

вая 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	Тип флотационной машины j				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

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

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

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 $f_x = 6$

$$F_m = 4,76.$$

$$F_j > F_m, (9,76 > 4,76) \quad (\text{для разного типа флотационных машин}),$$

$$F_i < F_m, (2,64 < 4,76) \quad (\text{для различного расхода реагентов}),$$

$$F_k > F_m, (25,06 > 4,76) \quad (\text{для разного типа реагентов}).$$

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 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.

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, A, т. е. максимальный выход черного концентрата флотации манганитовой руды будет достигнут на флотационной машине (II) Wemco 1+1TM при использовании в качестве собирателя (A) 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, A} а факторам {1, II, A}, 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 марганцевой руды можно получить, используя флотационную машину WEMCO 1+1TM (II), применяя в качестве собирателя техническую олеиновую кислоту (A) с расходом 0,25 кг/т (1).

Рекомендуется продолжить исследования в области уменьшения расхода собирателя.

Приложение 5.3

Критерий Фишера для сравнения дисперсий двух выборок

Область применения

Критерий Фишера применяют в случае, когда выборки не различаются значимо по своим средним значениям, но могут различаться по стандартным отклонениям – дисперсиям. В этом случае сравнивают не среднее двух выборок, а рассеивание относительно средних. Для нормального распределения это сравнение производят с помощью критерия Фишера, который вычисляется как отношение двух дисперсий:

$$F = \frac{\sigma_{1(\max)}^2}{\sigma_2^2}.$$

Внимание!

В числитель всегда ставится дисперсия, большая по величине.

«Нулевая» гипотеза заключается в предположении равенства дисперсий.

Критическое значение F_T приведено в табл. 3.1.

Если расчетный критерий F_p меньше критерия табличного F_T , определяемого по табл. 1 при принятом уровне значимости и при степенях свободы, рассчитанных по формулам $f_1 = n_1 - 1$, $f_2 = n_2 - 1$, то различие между сравниваемыми дисперсиями считается недоказанным, то есть принятая «нулевая» гипотеза верна.

Таблица 3.1

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

Защита 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. Суслина, Л. А. Флотационные методы обогащения : 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 : КузГТУ, 2010. – . – URL:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=91622&type=utchposob:common>
(дата обращения: 04.04.2026). – Текст : электронный.

2. Абрамов, А. А. Флотационные методы обогащения : учебник : [16+] / А. А. Абрамов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Горная книга, 2019. – 280 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL:

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=693203> (дата обращения: 06.04.2026). – Библиогр.: с. 565-572. – ISBN 978-5-98672-413-3. – Текст : электронный.

3. Трусова, В. В. Флотационные методы обогащения: практикум : учебное пособие / В. В. Трусова. — Иркутск : ИРНИТУ, 2019. — 108 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/217100> (дата обращения: 04.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Мелик-Гайказян, В. И. Методы решения задач теории и практики флотации : учебное пособие. – Москва : Издательство «Горная книга», 2013. – 363 с.: ил. (Обогащение полезных ископаемых)

5. Водное хозяйство промышленных предприятий. Кн. 6. Флокулянты : справ. изд. / под ред. В. И. Аксёнова. – Москва : Теплотехник, 2008. – 256 с.

Дополнительная литература

1. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых : в 3 т. : учебник для вузов по направлению «Горное дело» по специальности «Обогащение полезных ископаемых» / А. А. Абрамов. – Т. 1: Обогащительные процессы и аппараты. – 2-е изд., стер. – Москва : МГГУ, 2004. – 470 с. – Текст : непосредственный.

2. Глембоцкий, В. А. Флотационные методы обогащения : учебник для вузов / В. А. Глембоцкий, В. И. Классен. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1981. – 304 с. – Текст : непосредственный.

3. Сорокин, М. М. Флотационные методы обогащения : учебное пособие / М. М. Сорокин, Н. Ф. Пантелеева, В. Д. Самыгин. – Москва : МИСИС, 2008. – 69 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/117051> (дата обращения: 04.04.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Флотационные методы обогащения : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» направления подготовки «Горн. дело» / А. А. Абрамов. – Т. 4: Т. 4. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : МГГУ, 2008. – 710 с. – (Обогащение полезных ископаемых). – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=79171>. – Текст : непосредственный + электронный.

5. Глембоцкий, В. А. Флотационные методы обогащения : учебник для вузов / В. А. Глембоцкий, В. И. Классен. – Москва : Недра, 1981. – 304 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. Шубов, Л. Я. Запатентованные флотационные реагенты : справочное пособие / Л. Я. Шубов, С. И. Иванков. – Москва : Недра, 1992. – 361 с.

8. Шубов, Л. Я. Запатентованные флотационные реагенты и их применение / под общ. ред. С. И. Митрофанова. – Москва : Недра, 1973. – 140 с.

9. Вейцер, Ю. И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод / Ю. И. Вейцер, Д. М. Минц. – Москва : Стройиздат, 1984. – 201 с.

10. Запольский, А. К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение / А. К. Запольский, А. А. Баран. – Ленинград : Химия, 1987. – 208 с.

11. Баран, А. А. Флокулянты в биотехнологии / А. А. Баран, А. Я. Тесленко. – Ленинград : Химия, 1990. – 144 с.