

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Юго-Западный государственный университет

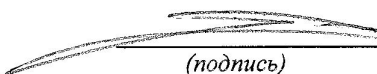
УТВЕРЖДАЮ:

Заведующий кафедрой

Экспертизы и управления

недвижимостью, горного дела

(наименование кафедры полностью)

 В.В. Бредихин

(подпись)

« 19 » 02 2026 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
для текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации обучающихся
по дисциплине
«Флотационные методы обогащения»
(наименование дисциплины)

ОПОП ВО _____ 21.05.04 Горное дело _____

шифр и наименование направления подготовки (специальности)

Специализация

«Обогащение полезных ископаемых»

1 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ

1.1 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ

Тема 1. Раздел 1. Понятие флотационного метода обогащения. Способность минералов к смачиванию водой

Производственная задача №1.

Условие задачи

На обогатительной фабрике ведётся флотация медно-цинковой руды. В пульпу добавляют флотационные реагенты: ксантогенат (собиратель) и сосновое масло (пенообразователь). Исходная руда содержит:

- **халькопирит** (CuFeS_2) — гидрофобный минерал;
- **сфалерит** (ZnS) — гидрофобный минерал;
- **кварц** (SiO_2) — гидрофильный минерал.

Параметры процесса:

- крупность измельчённой руды — 80 % класса $-0,074$ мм;
- плотность пульпы — 25 % твёрдого по массе;
- расход ксантогената — 100 г/т руды;
- температура пульпы — 22°C ;
- pH среды — 9,0 (щелочная).

В результате флотации получают:

- медный концентрат (выход — 5 %, содержание Cu — 18 %);
- цинковый концентрат (выход — 3 %, содержание Zn — 45 %);
- хвосты (остальная масса, содержание Cu $< 0,1$ %, Zn $< 0,2$ %).

Задания

1. Объясните, на каком физическом явлении основан флотационный метод обогащения. Как различаются минералы по способности к смачиванию водой? Приведите примеры гидрофильных и гидрофобных минералов из состава руды.

2. Опишите механизм прилипания гидрофобных частиц к пузырькам воздуха во флотационной камере. Почему кварц не флотируется в данных условиях?

3. Рассчитайте:

- массу **медного концентрата**, получаемого из 10 000 т руды;
- массу **цинка**, извлечённого в цинковый концентрат из 10 000 т руды (в тоннах);
- **извлечение меди** в медный концентрат (в %), если исходное содержание Cu в руде — 0,9 %.

4. Объясните роль **ксантогената** и **соснового масла** в процессе флотации. Как ксантогенат изменяет смачиваемость поверхности сульфидных минералов?

5. Как повлияет на процесс флотации **снижение pH до 5,0** (кислая среда)? Обоснуйте ответ с точки зрения изменения смачиваемости минералов и активности реагентов.

6. Предложите **способ повышения селективности разделения** меди и цинка (чтобы минимизировать попадание цинка в медный концентрат).

Укажите тип реагента-депрессора и принцип его действия.

Краткие указания к решению

- **Задание 1.** Ответ строится на различии в смачиваемости: гидрофобные минералы (халькопирит, сфалерит) плохо смачиваются водой и прилипают к пузырькам; гидрофильные (кварц) смачиваются и остаются в пульпе.

- **Задание 2.** Гидрофобная частица вытесняет воду, образуя «сухой контакт» с пузырьком; сила прилипания превышает силу тяжести частицы. Кварц смачивается водой, на его поверхности образуется гидратная оболочка, препятствующая контакту с воздухом.

- **Задание 3.** Используйте формулы:

- $\text{масса концентрата} = \text{масса руды} \times \text{выход концентрата} / 100;$
- $\text{извлечение} = (\text{масса металла в концентрате} / \text{масса металла в руде}) \times 100 \%$.

- **Задание 4.** Ксантогенат хемосорбируется на сульфидах, делая их поверхность гидрофобной; сосновое масло стабилизирует пену и пузырьки.

- **Задание 5.** В кислой среде ксантогенат может разлагаться, снижая гидрофобность сульфидов; возможно осаждение ионов металлов, мешающее флотации.

- **Задание 6.** Для депрессии сфалерита применяют цианид натрия или цинковый купорос; они образуют на поверхности ZnS гидрофильные соединения.

Тема 2. Теоретические основы флотационного процесса

Производственная задача №1.

Условие

На обогатительной фабрике осуществляется флотация медно-цинковой руды. Исходные данные:

- содержание меди в исходной руде — 1,8 %;
- содержание цинка в исходной руде — 2,5 %;
- выход медного концентрата — 5 % от исходной руды;
- содержание меди в медном концентрате — 22 %;
- выход цинкового концентрата — 7 % от исходной руды;
- содержание цинка в цинковом концентрате — 48 %;
- расход собирателя (ксантогената) — 150 г/т руды;
- расход пенообразователя (соснового масла) — 30 г/т руды;
- плотность пульпы — 25 % твёрдого;
- время флотации — 12 минут.

Требуется

1. Рассчитать **извлечение меди** в медный концентрат (в %).
2. Рассчитать **извлечение цинка** в цинковый концентрат (в %).
3. Определить **количество собирателя**, израсходованного на обработку 1000 т руды (в кг).
4. Определить **количество пенообразователя**, израсходованного на

обработку 1000 т руды (в кг).

5. Рассчитать **массовый расход пульпы** (в т/ч), если производительность по исходной руде составляет 300 т/ч.

6. Описать **механизм действия ксантогената** как собирателя при флотации сульфидных минералов.

7. Объяснить **роль соснового масла** в процессе флотации и указать, как его расход влияет на качество концентрата.

8. Предложить **меры по оптимизации реагентного режима**, если извлечение целевого компонента ниже ожидаемого.

Методические указания к решению

1. **Извлечение компонента** рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\gamma \cdot \beta}{\alpha} \cdot 100\%,$$

где:

- ε — извлечение компонента, %;
- γ — выход продукта, %;
- β — содержание компонента в продукте, %;
- α — содержание компонента в исходной руде, %.

2. **Расход реагента** на заданное количество руды:

$$G = \frac{q \cdot Q}{1000},$$

где:

- G — расход реагента, кг;
- q — удельный расход реагента, г/т;
- Q — масса руды, т.

3. **Массовый расход пульпы:**

$$Q_{\text{пульпы}} = \frac{Q_{\text{руды}}}{C},$$

где:

- $Q_{\text{пульпы}}$ — массовый расход пульпы, т/ч;
- $Q_{\text{руды}}$ — производительность по руде, т/ч;
- C — доля твёрдого в пульпе (в долях единицы).

Пример оформления ответа

1. Извлечение меди:

$$\varepsilon_{\text{Cu}} = \frac{5 \cdot 22}{1,8} \cdot 100\% \approx 61,1\%.$$

2.

Извлечение цинка:

$$\varepsilon_{\text{Zn}} = \frac{7 \cdot 48}{2,5} \cdot 100\% \approx 134,4\%.$$

(Примечание: значение $>100\%$)

указывает на ошибку в исходных данных или расчётах; в реальной задаче требуется проверка данных.)

3. Расход ксантогената на 1000 т руды:

$$G_{\text{ксантогенат}} = \frac{150 \cdot 1000}{1000} = 150 \text{ кг.}$$

4.

5. Расход соснового масла на 1000 т руды:

$$G_{\text{масло}} = \frac{30 \cdot 1000}{1000} = 30 \text{ кг.}$$

5.

Массовый расход пульпы:

$$Q_{\text{пульпы}} = \frac{300}{0,25} = 1200 \text{ т/ч.}$$

6.

Механизм действия ксантогената: адсорбируется на поверхности сульфидных минералов, гидрофобизирует их, обеспечивая прилипание к пузырькам воздуха.

7. Роль соснового масла: стабилизирует пену, увеличивает её устойчивость, что улучшает селективность разделения. Избыток пенообразователя может привести к увлечению пустой породы в концентрат.

8. Оптимизация реагентного режима: корректировка pH, изменение расхода собирателя/пенообразователя, поэтапная подача реагентов, использование модификаторов.

Тема 3. Раздел 3. Разновидности флотационных процессов. Флотационные реагенты. Реагентный режим

Производственная задача №1.

Условие задачи

На обогатительной фабрике ведётся флотация медно-цинковой руды. Требуется оптимизировать процесс разделения минералов меди и цинка с получением селективных концентратов. Исходные данные:

- **Состав руды:** халькопирит (CuFeS_2) — 2 %, сфалерит (ZnS) — 3 %, пирит (FeS_2) — 5 %, пустая порода — 90 %.
- **Крупность измельчения:** 85 % класса $-0,074$ мм.
- **Плотность пульпы:** 25 % твёрдого.
- **Требуемые продукты:** медный концентрат (не менее 20 % Cu, извлечение ≥ 85 %) и цинковый концентрат (не менее 45 % Zn, извлечение ≥ 80 %).
- **Используемые реагенты:**
 - бутиловый ксантогенат калия (собиратель);
 - сосновое масло (пенообразователь);
 - известь (регулятор pH);
 - медный купорос (активатор);

- цианид натрия (депрессор).

Задания

1. **Определить разновидность флотационного процесса**, наиболее подходящую для данной задачи (пенная, плёночная, масляная и т.д.). Обосновать выбор, указав преимущества выбранного метода для разделения халькопирита и сфалерита.

2. **Составить схему селективной флотации** с указанием стадий:

- основная флотация;
- перечистки концентрата;
- контрольные операции.

Отразить последовательность получения медного и цинкового концентратов.

3. **Разработать реагентный режим** для каждой стадии процесса:

○ указать **тип реагента** (собиратель, пенообразователь, регулятор, активатор, депрессор);

- определить **порядок подачи** реагентов;
- назначить **расход реагентов** (г/т руды) с обоснованием:

- бутиловый ксантогенат калия: ___ г/т___;
- сосновое масло: ___ г/т___;
- известь: ___ кг/т___ (для поддержания pH = 9–10);
- медный купорос: ___ г/т___ (только для активации сфалерита

на стадии цинковой флотации);

▪ цианид натрия: ___ г/т___ (для депрессии пирита и излишнего сфалерита в медной флотации).

4. **Описать физико-химическое действие каждого реагента** на поверхность минералов:

- как **ксантогенат** адсорбируется на халькопирите и сфалерите;
- какую роль играет **известь** в регулировании pH и депрессии пирита;
- как **цианид натрия** подавляет флотацию пирита и части сфалерита;
- зачем нужен **медный купорос** перед цинковой флотацией.

5. **Рассчитать ожидаемые показатели обогащения** при соблюдении разработанного режима:

- выход медного концентрата (%);
- содержание Cu в концентрате (%);
- извлечение Cu в концентрат (%);
- выход цинкового концентрата (%);
- содержание Zn в концентрате (%);
- извлечение Zn в концентрат (%).

6. **Указать возможные проблемы** при нарушении реагентного режима (например, передозировка цианида, недостаточная подача ксантогената, отклонение pH) и предложить **способы их устранения**.

7. **Перечислить меры безопасности** при работе с токсичными реагентами (цианид натрия), включая:

- средства индивидуальной защиты;
- систему вентиляции;
- порядок хранения и дозирования реагентов;

- действия при аварийных проливах.

Ожидаемый результат: студент должен представить технологическую схему флотации с реагентным режимом, расчётами показателей обогащения и обоснованием выбора реагентов. Задача позволяет закрепить знания о разновидностях флотации, функциях реагентов и методах селективного разделения минералов.

1.2 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ В ТЕСТОВОЙ ФОРМЕ

Тест по Тема 1. Раздел 1. Понятие флотационного метода обогащения. Способность минералов к смачиванию водой

Часть 1. Выберите один правильный ответ

1. На чём основан флотационный метод обогащения полезных ископаемых?

- а) на различии плотностей минералов;
- б) на различии магнитных свойств минералов;
- в) на различии способностей минералов к смачиванию водой;
- г) на различии цвета и блеска минералов.

2. Как называются минералы, хорошо смачиваемые водой?

- а) гидрофобные;
- б) гидрофильные;
- в) лиофобные;
- г) амфифильные.

3. Что происходит с гидрофобными минеральными частицами в процессе флотации?

- а) они тонут в пульпе;
- б) они закрепляются на поверхности воздушных пузырьков и всплывают;
- в) они растворяются в воде;
- г) они агрегируют между собой и образуют осадок.

4. Какой размер частиц считается оптимальным для эффективной флотации?

- а) более 3 мм;
- б) 0,1–0,04 мм;
- в) менее 0,005 мм;
- г) размер не имеет значения.

5. Как называется слой молекул воды, образующийся на поверхности минерала при смачивании?

- а) адсорбционный слой;
- б) гидратный слой;
- в) поверхностный слой;
- г) дисперсный слой.

6. Какие минералы обычно относятся к гидрофильным?

- а) сульфиды;
- б) кварц и силикаты;
- в) самородная сера;
- г) графит.

7. Что такое «пульпа» в контексте флотационного процесса?

- а) чистая вода без примесей;
- б) смесь руды, воды и реагентов;
- в) концентрат после флотации;
- г) отходы флотации.

8. Какие реагенты используются для повышения гидрофобности минералов?

- а) депрессоры;
- б) собиратели;
- в) регуляторы pH;
- г) пептизаторы.

Часть 2. Установите соответствие

1. Соотнесите термины с их определениями:

Термин	Определение
1) Гидрофильные минералы	а) Минералы, плохо смачиваемые водой, закрепляющиеся на пузырьках воздуха
2) Гидрофобные минералы	б) Реагенты, повышающие гидрофобность минералов
3) Собиратели	в) Минералы, хорошо смачиваемые водой, остающиеся в пульпе
4) Депрессоры (подавители)	г) Реагенты, повышающие гидрофильность минералов

2. Соотнесите этапы флотационного процесса с происходящими явлениями:

Этап	Явление
1) Подготовка пульпы	а) Образование минерализованной пены на поверхности
2) Аэрация пульпы	б) Добавление реагентов и измельчение руды
3) Прилипание частиц к пузырькам	в) Столкновение гидрофобных частиц с пузырьками воздуха
4) Формирование пенного слоя	г) Введение воздуха в пульпу и образование пузырьков

Часть 3. Кратко ответьте на вопросы

1. Назовите 2–3 примера гидрофильных минералов.
2. Назовите 2–3 примера гидрофобных минералов.
3. Объясните, почему частицы размером менее 5 мкм ухудшают процесс флотации.
4. Перечислите 2–3 типа флотационных реагентов и укажите их назначение.
5. В чём заключается основное преимущество флотационного метода перед другими методами обогащения?

Тест по: «Тема 2. Теоретические основы флотационного процесса»

Инструкция: выберите один правильный вариант ответа.

1. Флотационный метод обогащения основан на различии свойств минералов по:

- а) плотности;
- б) электропроводности;
- в) смачиваемости;
- г) размерам вкрапленности.

2. Флотационная пульпа состоит из следующих фаз:

- а) ионов, недиссоциированных молекул, коллоидных соединений;
- б) минерализованной пены;
- в) твёрдой, жидкой, газообразной;
- г) твёрдой и жидкой.

3. Пенная флотация происходит на:

- а) плоской поверхности раздела Ж–Г;
- б) криволинейной поверхности раздела Ж–Г;
- в) поверхности раздела Ж–Ж;
- г) поверхности раздела Т–Ж.

4. Основным назначением пенообразователей во флотационном процессе является:

- а) препятствие слиянию пузырьков и повышение устойчивости пены;
- б) создание нейтральной среды пульпы;
- в) снижение активности собирателя;
- г) образование гидратного слоя вокруг минеральной частицы.

5. В качестве пенообразователей используют:

- а) сосновое масло ($C_{10}H_{17}OH$);
- б) сульфидизаторы (Na_2S , CaS);
- в) крахмал;
- г) жидкое стекло.

6. Степень смачиваемости поверхности водой экспериментально оценивается:

- а) полярностью молекул воды;
- б) полярностью молекул, составляющих поверхность;
- в) краевым углом смачивания;
- г) величиной сил взаимодействия молекул.

7. Поверхностно-активные вещества (ПАВ):

- а) уменьшают поверхностное натяжение воды;
- б) увеличивают поверхностное натяжение воды;
- в) уменьшают или увеличивают поверхностное натяжение воды в зависимости от температуры;
- г) не изменяют поверхностного натяжения воды.

8. Механизм флотации — это:

- а) дросселирование потока воды при подаче во флотоотстойник;
- б) устройство флотационных установок;
- в) способ поступления воды во флотоотстойник;
- г) способ образования агрегата «частица–пузырёк».

9. Адсорбция — это:

- а) процесс увеличения концентрации того или иного реагента на поверхности

- раздела двух фаз (Т–Ж или Ж–Г);
б) энергетически выгодный процесс взаимодействия;
в) поглощение вещества в объёме тела;
г) процесс впитывания одного вещества другим.

10. Абсорбция — это:

- а) химический процесс впитывания одного вещества другим;
б) физический процесс впитывания одного вещества другим;
в) химический или физический процесс впитывания одного вещества другим;
г) процесс увеличения концентрации на поверхности раздела двух фаз.

11. Универсальность метода флотации заключается в том, что:

- а) флотация широко применяется в различных отраслях;
б) возможна переработка шламов;
в) возможен полный замкнутый водооборот;
г) поверхностные свойства минералов могут быть целенаправленно изменены с помощью реагентов.

12. Возникновение элементарного акта флотации — это:

- а) разрушение прослойки воды на границе раздела;
б) образование минерализованных пузырьков;
в) слипание пузырьков для активации поверхности минерала;
г) получение плёочно-структурных пен.

13. Наиболее эффективным собирателем при флотационной доводке магнетитового концентрата является:

- а) олеат натрия;
б) мыло сырого талового масла;
в) амины (производные аммиака);
г) ксантогенаты.

14. Под схемой флотации понимают:

- а) сочетание отдельных операций флотации;
б) последовательность операций флотации в сочетании с измельчением и классификацией;
в) совокупность основной, контрольных и перечистных операций;
г) совокупность стадий флотации.

15. Основная флотация — это:

- а) первая операция флотационной схемы;
б) первая операция флотационного извлечения минералов одного или нескольких металлов;
в) операция, предшествующая перечистой флотации;
г) операция, предшествующая контрольной флотации.

Тест по: «Тема 3. Раздел 3. Разновидности флотационных процессов. Флотационные реагенты. Реагентный режим»

Часть 1. Разновидности флотационных процессов

1. Какие фазы участвуют во флотационном процессе?

- а) Твёрдая и жидкая;

- б) Жидкая и газовая;
- в) Твёрдая, жидкая и газовая;
- г) Твёрдая и газовая.

2. Какой тип флотации основан на избирательном смачивании минеральных частиц водой и их закреплении на плоской границе раздела жидкой и газовой фаз?

- а) Пенная флотация;
- б) Плёночная флотация;
- в) Масляная флотация;
- г) Вакуумная флотация.

3. При каком типе флотации гидрофобные частицы прилипают к каплям масла в пульпе и всплывают наверх?

- а) Плёночная;
- б) Пенная;
- в) Масляная;
- г) Электрофлотация.

4. Как называется флотация, при которой ценные минералы извлекаются в пенный продукт?

- а) Обратная;
- б) Прямая;
- в) Коллективная;
- г) Селективная.

5. Какой размер частиц, как правило, подвергается флотационному обогащению?

- а) Более 5 мм;
- б) От 0,5 до 5 мм;
- в) Менее 0,5 мм;
- г) Только наночастицы.

Часть 2. Флотационные реагенты

6. Какую функцию выполняют собиратели (коллекторы) во флотации?

- а) Стабилизируют воздушные пузырьки;
- б) Усиливают гидрофобность поверхности минералов;
- в) Регулируют pH среды;
- г) Подавляют флотацию определённых минералов.

7. Какова роль вспенивателей (пенообразователей)?

- а) Увеличивают плотность пульпы;
- б) Способствуют образованию и устойчивости пены;
- в) Активируют прилипание минералов к пузырькам;
- г) Уменьшают вязкость воды.

8. Как называются реагенты, подавляющие прилипание минералов к пузырькам воздуха?

- а) Активаторы;
- б) Собиратели;
- в) Депрессоры (подавители);
- г) Регуляторы.

9. Какие реагенты активируют прилипание минералов к

пузырькам путём образования химических соединений на поверхности?

- а) Депрессоры;
- б) Активаторы;
- в) Вспениватели;
- г) Модификаторы.

10. К какой группе реагентов относятся регуляторы pH среды?

- а) Собиратели;
- б) Вспениватели;
- в) Модификаторы (регуляторы);
- г) Активаторы.

Часть 3. Реагентный режим

11. Что такое кондиционирование во флотации?

- а) Процесс измельчения руды;
- б) Доведение флотационной системы до требуемого состояния;
- в) Удаление хвостов;
- г) Транспортировка концентрата.

12. От чего зависит выбор реагентного режима?

- а) Только от типа руды;
- б) От крупности частиц и химического состава минералов;
- в) От температуры и давления;
- г) От всех вышеперечисленных факторов.

13. Что означает термин «селективная флотация»?

- а) Извлечение всех минералов в один концентрат;
- б) Разделение минералов на несколько продуктов с выделением ценных компонентов в разные концентраты;
- в) Использование только одного реагента;
- г) Флотация без использования реагентов.

14. Какой процесс предшествует основной флотации и включает обработку пульпы реагентами?

- а) Дробление;
- б) Кондиционирование;
- в) Классификация;
- г) Обезвоживание.

15. Какое преимущество даёт использование реагентного режима с активаторами и депрессорами?

- а) Ускорение процесса дробления;
- б) Повышение избирательности флотации;
- в) Снижение энергопотребления;
- г) Уменьшение объёма пульпы.