

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Крюков Вадим Николаевич

Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике

Дата подписания: 15.06.2026

Уникальный программный ключ:

1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**

**«Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского»**  
**ЗГУ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине**

**«Обогащение сульфидных полиметаллических руд»**

**Факультет:** Горно-технологический (ГТФ)

**Направление подготовки:** 22.04.02 «Металлургия»

**Направленность (профиль):** Металлургия цветных металлов

**Уровень образования:** магистратура

**Кафедра** «Металлургии, машин и оборудования»  
наименование кафедры

**Разработчик ФОС:**

К.С-Х.Н., ДОЦЕНТ

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

О.В. Носова

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры ММиО, протокол № 11 от 10.06.2026

И.о. заведующего кафедрой к.т.н., доцент Е.В. Лаговская

Фонд оценочных средств по дисциплине *Обогащение сульфидных полиметаллических руд* для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия на основе Рабочей программы дисциплины *Обогащение сульфидных полиметаллических руд*, Положения о формировании Фонда оценочных средств по дисциплине (ФОС), Положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ЗГУ, Положения о государственной итоговой аттестации (ГИА) выпускников по образовательным программам высшего образования в ЗГУ им. Н.М. Федоровского.

## **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы** **Компетенции и индикаторы их достижения**

### **Общепрофессиональные компетенции**

**ОПК-3. Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области системы менеджмента качества**

- **ОПК-3.1. (Знать)** Основные положения системы менеджмента качества, требования, предъявляемые к качеству выполняемых научных исследований и к качеству продукции, производимой в отрасли обогащения полезных ископаемых.
- **ОПК-3.2. (Уметь)** Анализировать технологические схемы обогащения с точки зрения обеспечения стабильного качества концентратов и минимизации потерь ценных компонентов.
- **ОПК-3.3. (Владеть)** Навыками оценки качества технологических процессов дробления, измельчения, флотации и химического обогащения сульфидных руд.

### **Профессиональные компетенции**

**ПК-1. Способен разрабатывать и совершенствовать технологические процессы обогащения полезных ископаемых**

- **ПК-1.1. (Знать)** Физико-химические основы процессов грохочения, дробления, измельчения, гидравлической классификации и флотации сульфидных полиметаллических руд.
- **ПК-1.2. (Уметь)** Выбирать рациональные режимы работы обогатительного оборудования и типы флотационных реагентов для конкретных минеральных ассоциаций.
- **ПК-1.3. (Владеть)** Методикой расчета основных технологических показателей обогащения (выход, содержание, извлечение) и путями интенсификации процессов.

## **2. Паспорт фонда оценочных средств**

### **Тема 1. Введение: цели и задачи процессов обогащения**

- Формируемая компетенция: ОПК-3, ПК-1
- Наименование оценочного средства: Тестовые задания, устный опрос

- Форма оценивания: Письменно / Устно

## **Тема 2. Грохочение и дробление**

- Формируемая компетенция: ОПК-3, ПК-1
- Наименование оценочного средства: Тестовые задания, решение ситуационных задач
- Форма оценивания: Письменно

## **Тема 3. Измельчение и гидравлическая классификация**

- Формируемая компетенция: ОПК-3, ПК-1
- Наименование оценочного средства: Тестовые задания, конспект
- Форма оценивания: Письменно

## **Тема 4. Флотация, флотационные реагенты и машины**

- Формируемая компетенция: ОПК-3, ПК-1
- Наименование оценочного средства: Собеседование, тестовые задания
- Форма оценивания: Устно / Письменно

## **Тема 5. Химическое обогащение материалов**

- Формируемая компетенция: ОПК-3, ПК-1
- Наименование оценочного средства: Реферат, тестовые задания
- Форма оценивания: Письменно

## **3. Перечень контрольно-оценочных средств (КОС)**

### **Перечень и шкалы оценивания**

#### **1. Текущий контроль качества**

- **Тестовые задания и конспекты:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: наличие конспекта, правильность решения теста (порог 75%).
- **Собеседование по темам:** Шкала оценивания — «Достигнут / не достигнут пороговый уровень». Критерии: объем и глубина знаний, умение аргументировать выбор технологических решений.

#### **2. Промежуточная аттестация (Экзамен)**

- **Итоговое тестирование и решение кейсовых задач:** Шкала оценивания — 4-балльная (от 2 до 5).
- **Критерии выставления оценки:**

- «Отлично» (5): 85–100% от максимально возможной суммы баллов. Глубокое понимание физико-химических основ обогащения, безупречное выполнение заданий, умение применять знания для решения комплексных производственных задач.
- «Хорошо» (4): 75–84% баллов. Полное знание материала с незначительными неточностями в трактовке технологических схем или классификаций.
- «Удовлетворительно» (3): 65–74% баллов. Знание основного материала, допущение ошибок в сложных вопросах, требующих помощи преподавателя для их устранения.
- «Неудовлетворительно» (2): 0–64% баллов. Незнание базовых понятий обогащения полезных ископаемых, принципиальные ошибки в понимании технологических процессов.

#### **4. Типовые контрольные задания и материалы для оценки знаний, умений, навыков**

##### **4.1 Задания для текущего контроля успеваемости**

###### **Вопросы для устного опроса и собеседования:**

1. Какова цель обогащения полезных ископаемых и какие показатели характеризуют качество концентрата?
2. Какие виды грохочения применяются на обогатительных фабриках и каково их назначение?
3. В чем главное отличие механического дробления от дезинтеграции?
4. Какие виды механических сил используются при измельчении и как выбрать рациональный режим работы мельницы?
5. Каковы основные стадии гидрометаллургической схемы получения металлов и в чем их преимущества перед пирометаллургическими методами?

###### **Темы рефератов (Химическое обогащение):**

1. Подготовка сульфидных руд к выщелачиванию: обжиг и автоклавная обработка.
2. Применение бактериального выщелачивания для переработки упорных сульфидных руд.
3. Осаждение металлов из растворов: цементация и ее технологические особенности.
4. Серосульфидная и серная флотация: механизмы и области применения.

###### **Критерии оценки текущего контроля:**

- **«Зачтено»:** Материал изложен логично, использованы актуальные научные и нормативные источники, студент уверенно отвечает на уточняющие вопросы, демонстрирует понимание специфики процессов.

- **«Не зачтено»:** Поверхностное изложение, отсутствие систематизации, незнание базовых определений (например, отличие экстракции от цементации или флотации).
- 

## 4.2 Задания для промежуточной аттестации (Экзамен)

### Спецификация комплекта оценочных материалов

- Общее количество заданий: 15.
- Распределение по типам и уровням сложности:
  - Задания с выбором одного верного ответа (Базовый уровень): 3 шт.
  - Задания с выбором нескольких верных ответов (Продвинутый уровень): 3 шт.
  - Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень): 3 шт.
  - Задания на установление последовательности (Экспертный уровень): 2 шт.
  - Задания открытого типа с развернутым ответом (Экспертный уровень): 4 шт.

### Тестовые задания

#### *Блок А. Задания с выбором одного верного ответа (Базовый уровень)*

1. Какая совокупность процессов называется обогащением полезных ископаемых? а) Механической переработки б) Химической переработки в) Физико-химической переработки с целью извлечения ценных компонентов и удаления пустой породы
2. Процесс разделения сыпучих материалов по крупности на просеивающих поверхностях с калиброванными отверстиями – это: а) Грохочение б) Дробление в) Классификация
3. Материал какой крупности считается переизмельченным при флотации сульфидных руд? а) Крупнее 200 мкм б) Мельче 10–20 мкм (шламы) в) Ровно 74 мкм

#### *Блок Б. Задания с выбором нескольких верных ответов (Продвинутый уровень)*

4. Какие факторы способствуют снижению потерь цветных металлов со шлаками или хвостами флотации? (Выберите 2 верных варианта) а) Оптимизация гранулометрического состава питания б) Увеличение скорости вращения мельницы до предельных значений в) Применение комбинированных схем реагентного режима г) Полное исключение стадии перечистки концентрата
5. К основным методам эмпирического контроля процесса измельчения относится (выберите 2 верных варианта): а) Ситовой анализ (гранулометрический состав) б) Химический анализ руды в недрах в) Определение плотности пульпы г) Теоретический расчет энергии решетки минерала

6. Какие виды механических сил используются при измельчении в шаровых мельницах? (Выберите 3 верных варианта) а) Удар б) Растяжение в) Истирание г) Сжатие

*Блок В. Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень)*

7. Установите соответствие между видом грохочения и его назначением: А) Подготовительное грохочение Б) Вспомогательное грохочение В) Самостоятельное грохочение
1. Выделение классов-готовых продуктов, направляемых непосредственно потребителям (на сортировках).
  2. Разделение материала на классы перед дробилками для предотвращения переизмельчения.
  3. Контроль крупности дробленого продукта или классификация в замкнутом цикле с измельчением.
8. Установите соответствие между типом мельницы и мелющим материалом: А) Шаровая мельница Б) Стержневая мельница В) Мельница самоизмельчения (МСИ)
1. Стальные стержни
  2. Крупные куски самой руды
  3. Стальные или чугунные шары
9. Установите соответствие между классом флотационных реагентов и их функцией: А) Собиратели Б) Пенообразователи В) Регуляторы (депрессоры/активаторы)
1. Избирательно изменяют поверхностные свойства минералов, усиливая или подавляя их флотирруемость.
  2. Адсорбируются на поверхности флотиремого минерала, делая его гидрофобным.
  3. Снижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз, стабилизируя минерализованную пену.

*Блок Г. Задания на установление последовательности (Экспертный уровень)*

10. Установите правильную технологическую последовательность основных стадий переработки сульфидной полиметаллической руды: А) Флотационное разделение (черновая, контрольная, перечистные операции) Б) Дробление и измельчение до заданной крупности раскрытия минералов В) Грохочение и классификация в замкнутом цикле с измельчением Г) Опробование и усреднение руды на складе
11. Установите логическую последовательность стадий гетерогенного процесса выщелачивания: А) Химическая реакция на поверхности раздела фаз Б) Диффузия реагента из объема раствора к внешней поверхности твердого тела В) Десорбция и

диффузия продукта реакции от поверхности в объем раствора Г) Диффузия реагента через слой твердого продукта реакции к зоне химического взаимодействия

*Блок Д. Задания открытого типа с развернутым ответом (Экспертный уровень)*

12. Опишите механизм и кинетику процесса флотации сульфидных минералов. Какую роль играют ксантогенаты в этом процессе и почему важно контролировать рН пульпы?
13. Объясните физический смысл явления «переизмельчения» при переработке сульфидных руд. Как оно влияет на показатели флотации и какие технологические приемы используются для его предотвращения?
14. Проанализируйте причины нахождения цветных металлов в хвостах флотации классических схем. Назовите не менее трех путей снижения этих потерь.
15. Сравните преимущества и недостатки пирометаллургических и гидрометаллургических методов переработки сульфидных полиметаллических концентратов. В каких случаях гидрометаллургия является безальтернативным выбором?

## **5. Ключ верных вариантов ответов и критерии оценивания**

### **Ключ к заданиям закрытого типа (Блоки А, Б, В, Г)**

*Блок А (по 1 баллу за правильный ответ)*

1. в
2. а
3. б

*Блок Б (по 1 баллу за полный правильный набор, 0 баллов при любой ошибке)* 4. а, в 5. а, в 6. а, в, г

*Блок В (по 1 баллу за полное правильное соответствие)* 7. А-2, Б-3, В-1 8. А-3, Б-1, В-2 9. А-2, Б-3, В-1

*Блок Г (по 1 баллу за правильную последовательность)* 10. Г → Б → В → А 11. Б → А → Г → В

**Ключ и критерии оценивания заданий открытого типа (Блок Д)** *Оценивание: до 2 баллов за каждый корректно названный и раскрытый аспект (максимум 4 балла за вопрос).*

*Вопрос 12 (Механизм флотации и роль ксантогенатов):* Эталонные аспекты:

1. Механизм: избирательная смачиваемость, прилипание гидрофобных частиц к пузырькам воздуха и вынос их в пенный продукт.
2. Роль ксантогенатов: они являются анионными собирателями, хемосорбируются на поверхности сульфидов, образуя гидрофобные пленки (ксантогенаты металлов).

3. Контроль pH: необходим для обеспечения селективности (например, подавление пирита известью при высоком pH) и предотвращения гидролиза реагентов.

*Вопрос 13 (Переизмельчение):* Эталонные аспекты:

1. Суть: образование чрезмерного количества тонких классов (шламов) мельче 10–20 мкм.
2. Влияние: шламы ухудшают селективность флотации, повышают вязкость пульпы, увеличивают расход реагентов, ухудшают фильтрацию концентратов.
3. Приемы предотвращения: применение стадийного измельчения с классификацией, использование стержневых мельниц на первой стадии, оптимизация плотности пульпы и типа футеровки.

*Вопрос 14 (Потери в хвостах и пути их снижения):* Эталонные аспекты:

1. Причины: недостаточное раскрытие сростков, переизмельчение, неправильный реагентный режим, нестабильность питания.
2. Пути снижения: внедрение стадийных схем флотации, применение более селективных собирателей и депрессоров, автоматизация процесса стабилизации питания и реагентного режима, доизвлечение из хвостов (например, колонной флотацией).

*Вопрос 15 (Сравнение пиро- и гидрометаллургии):* Эталонные аспекты:

1. Пирометаллургия: высокая производительность, но большие выбросы SO<sub>2</sub>, высокие энергозатраты, потеря летучих компонентов.
2. Гидрометаллургия: высокая селективность извлечения, возможность переработки бедных и упорных руд, меньшие выбросы в атмосферу, но большие объемы жидких отходов.
3. Безальтернативный выбор: переработка упорных золотосодержащих сульфидных руд, извлечение редких и рассеянных металлов, переработка техногенного сырья с низким содержанием металла.

**Итоговый подсчет баллов и перевод в шкалу оценивания:**

- Максимальный балл за экзамен: 3 (Блок А) + 3 (Блок Б) + 3 (Блок В) + 2 (Блок Г) + 16 (Блок Д) = 27 баллов.
- Перевод в 4-балльную шкалу (согласно критериям ЗГУ):
  - 23–27 баллов (85–100%) = «Отлично» (5)
  - 20–22 балла (75–84%) = «Хорошо» (4)
  - 18–19 баллов (65–74%) = «Удовлетворительно» (3)
  - Менее 18 баллов (<65%) = «Неудовлетворительно» (2)

