

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 16:00:29

Уникальный программный ключ:

1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

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

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

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ<sup>1</sup>  
по дисциплине**

**«Комплексная переработка минерального сырья»**

**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

<sup>1</sup> В данном документе представлены типовые оценочные средства. Полный комплект оценочных средств, включающий все варианты заданий (тестов, контрольных работ и др.), предлагаемых обучающемуся, хранится на кафедре в бумажном и электронном виде.

Фонд оценочных средств по дисциплине **Комплексная переработка металлургического сырья** для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.04.02 Металлургия на основе Рабочей программы дисциплины **Комплексная переработка металлургического сырья**, 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**

#### **Универсальные компетенции УК-3. Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели**

- **УК-3.1. (Знать)** Методы стратегического планирования и оптимизации технологических схем переработки минерального и техногенного сырья в условиях проектной или исследовательской команды.
- **УК-3.2. (Уметь)** Выбирать правила командной работы, распределять роли при проведении технико-экономического обоснования (ТЭО) рациональных схем переработки и мотивировать членов команды на достижение целевых показателей извлечения металлов.
- **УК-3.3. (Владеть)** Навыками презентации и защиты комплексных инженерных решений перед экспертным сообществом, навыками разрешения конфликтов при выборе между пирометаллургическими и гидрометаллургическими переделами.

#### **Общепрофессиональные компетенции ОПК-1. Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в области металлургии**

- **ОПК-1.1. (Знать)** Физико-химические основы пирометаллургических (агрегат КИВЦЭТ) и гидрометаллургических (автоклавное выщелачивание) процессов переработки техногенного и природного минерального сырья.
- **ОПК-1.2. (Уметь)** Составлять и анализировать материальные и тепловые балансы сложных металлургических агрегатов, рассчитывать расход реагентов, состав штейна, шлака, кека и растворов.
- **ОПК-1.3. (Владеть)** Методикой комплексной оценки эффективности схем переработки, включая вопросы оборотного водоснабжения, очистки сточных вод и извлечения благородных металлов.

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

### **Тема 1. Классификация техногенного сырья. Источники образования**

- Формируемая компетенция: УК-3, ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Эссе
- Форма оценивания: Письменно

### **Тема 2. Первичная обработка. Подготовка сырья к последующей переработке**

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Собеседование
- Форма оценивания: Устно

### **Тема 3. Пирометаллургические методы переработки техногенного сырья**

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Практическое задание (расчет материального баланса плавки в КИВЦЭТ-КФ)
- Форма оценивания: Письменно

### **Тема 4. Гидрометаллургические методы переработки техногенного сырья**

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Практическое задание (расчет расхода соды и состава продуктов выщелачивания шеелитового концентрата)
- Форма оценивания: Письменно

### **Тема 5. Способы переработки сырья, содержащего благородные металлы**

- Формируемая компетенция: УК-3, ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Эссе
- Форма оценивания: Письменно

### **Тема 6. Обратное водоснабжение. Очистка сточных вод**

- Формируемая компетенция: УК-3
- Наименование оценочного средства: Эссе, Кейс-задача
- Форма оценивания: Письменно / Устно

### **Тема 7. Технико-экономическое обоснование (ТЭО) рациональной схемы переработки**

- Формируемая компетенция: УК-3, ОПК-1

- Наименование оценочного средства: Итоговое собеседование (Защита проекта)
- Форма оценивания: Устно

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

#### Перечень и шкалы оценивания

##### 1. Текущий контроль качества

- **Эссе:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: полнота раскрытия темы, наличие анализа литературы, логика изложения, владение профессиональной терминологией.
- **Практические задания (расчеты):** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: правильность составления химических реакций, корректность стехиометрических расчетов, сходимость материального баланса (допуск невязки не более 1-2%).
- **Собеседование:** Шкала оценивания — «Достигнут / не достигнут». Критерии: глубина понимания физико-химической сути процессов.

##### 2. Промежуточная аттестация (Зачет с оценкой)

- **Итоговое тестирование и кейс-задачи:** 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, безупречное выполнение расчетных заданий, умение аргументировать выбор технологической схемы.
  - «Хорошо» (4): 75–84% баллов. Полное знание материала с незначительными неточностями в расчетах или трактовке свойств фаз.
  - «Удовлетворительно» (3): 65–74% баллов. Знание основного материала, допущение ошибок в сложных аналитических вопросах, требующих помощи преподавателя.
  - «Неудовлетворительно» (2): 0–64% баллов. Незнание базовых понятий переработки минерального сырья, принципиальные ошибки в материальных балансах.

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

#### 4.1 Задания для текущего контроля успеваемости

##### Темы эссе (для формирования УК-3 и ОПК-1):

1. Классификация и источники образования техногенного сырья в цветной металлургии. Проблемы и перспективы его утилизации.

2. Способы переработки техногенного сырья, содержащего благородные металлы (аффинаж, цианирование, хлорирование).
3. Обратное водоснабжение и очистка сточных вод на предприятиях цветной металлургии. Стратегия создания замкнутых циклов.
4. Техничко-экономическое обоснование выбора между пирометаллургической и гидрометаллургической схемами переработки упорных концентратов.

#### **Описание практических заданий (расчетного характера):**

- **Практическая работа №1 (Пирометаллургия):** Расчет материального баланса плавки свинцового сульфидного концентрата в агрегате КИВЦЭТ-КФ. Включает расчет состава шихты, количества и состава штейна, «самоплавкого» и отвального шлака, расхода флюсов (кварцевый песок, известняк), расхода технического кислорода и кокса, состава отходящих газов и возгонов.
- **Практическая работа №2 (Гидрометаллургия):** Расчет расхода соды и состава продуктов автоклавного выщелачивания шеелитового концентрата. Включает стехиометрический расчет по реакциям разложения шеелита, повелита, апатита, скородита и кремнезема, определение массы и состава раствора выщелачивания, а также массы и состава влажного кека.

---

#### **4.2 Задания для промежуточной аттестации (Зачет с оценкой)**

##### **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): 2 шт.
  - Задания на установление последовательности (Экспертный уровень): 2 шт.
  - Задания открытого типа / Кейсы (Экспертный уровень): 5 шт.

##### **Тестовые задания и кейсы**

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

1. Какой восстановитель используется в коксовом фильтре (КФ) агрегата КИВЦЭТ-КФ для восстановления оксидов свинца и магнетита? а) Водород б) Кокс в) Природный газ г) Сульфид железа
2. Какой основной продукт образуется в растворе при автоклавном выщелачивании шеелитового концентрата содовым раствором? а) Вольфрамат кальция ( $\text{CaWO}_4$ ) б)

Вольфрамат натрия ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) в) Оксид вольфрама ( $\text{WO}_3$ ) г) Карбид вольфрама ( $\text{WC}$ )

3. Какое соединение является основным флюсом, вводимым в шихту КИВЦЭТ для снижения плотности шлака и образования фаялита? а) Известняк б) Кварцевый песок в) Каустическая сода г) Флюорит

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

4. Какие соединения переходят преимущественно в твердый осадок (кек) при содовом выщелачивании шеелитового концентрата? (Выберите 3 верных варианта) а) Карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) б) Вольфрамат натрия ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) в) Касситерит ( $\text{SnO}_2$ ) г) Халькопирит ( $\text{CuFeS}_2$ )
5. Какими компонентами должен содержать оптимальный шлак для его последующей доработки методом фьюмингования? (Выберите 3 верных варианта) а)  $\text{ZnO}$  б)  $\text{SiO}_2$  в)  $\text{FeO}$  г)  $\text{CaO}$
6. Какие газы присутствуют в отходящих газах обжигово-плавильной камеры (ОПК) агрегата КИВЦЭТ? (Выберите 2 верных варианта) а) Диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ) б) Сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ) в) Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) г) Аммиак ( $\text{NH}_3$ )

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

7. Установите соответствие между химическим соединением в шеелитовом концентрате и продуктом его перехода в раствор при содовом выщелачивании: А) Шеелит ( $\text{CaWO}_4$ ) Б) Повелит ( $\text{CaMoO}_4$ ) В) Скородит ( $\text{FeAsO}_4$ )
- Молибдат натрия ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ )
  - Арсенат натрия ( $\text{Na}_2\text{HAsO}_4$ )
  - Вольфрамат натрия ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ )
8. Установите соответствие между камерой/узлом агрегата КИВЦЭТ-КФ и протекающим в нем процессом: А) Обжигово-плавильная камера (ОПК) Б) Коксовый фильтр (КФ) В) Электротермическая камера (ЭТК)
- Окончательное разделение продуктов по плотностям, частичное восстановление оксидов, возгонка цинка.
  - Окисление сульфидов кислородом, шлако- и штейнообразование.
  - Восстановление оксидов свинца и магнетита твердым углеродом.

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

9. Установите правильную технологическую последовательность стадий автоклавного выщелачивания шеелитового концентрата: А) Фильтрация пульпы и промывка кека Б) Подача концентрата и содового раствора в автоклав В) Разделение раствора вольфрамата натрия и твердого кека Г) Нагрев пульпы до температуры реакции и выдержка под давлением

10. Установите последовательность движения металла (свинца) в агрегате КИВЦЭТ-КФ: А) Восстановление PbO в коксовом фильтре Б) Окисление PbS до PbO и Pb в ОПК В) Переход в черновой свинец Г) Испарение и возгонка части Pb в ЭТК

*Блок Д. Задания открытого типа / Кейсы (Экспертный уровень)*

11. (Расчетный кейс). Рассчитайте теоретический расход соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) на 100 кг шеелитового концентрата, если известно, что концентрат содержит 57%  $\text{WO}_3$  (в виде  $\text{CaWO}_4$ ) и 3.5%  $\text{SiO}_2$ . Молярные массы:  $\text{WO}_3 = 231.8$ ,  $\text{CaWO}_4 = 287.8$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 106$ ,  $\text{SiO}_2 = 60$ . Учтите, что  $\text{SiO}_2$  связывает соду в соотношении 1 моль  $\text{SiO}_2$  к 1 моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
12. (Аналитический кейс). Объясните физико-химическую причину, почему «самоплавкий» шлак, образующийся в ОПК агрегата КИВЦЭТ без добавления флюсов, является тяжелым и вязким, и почему его необходимо разбавлять кварцевым песком и известняком перед фьюмингованием?
13. (Организационно-стратегический кейс на УК-3). Вы руководитель проектной группы по модернизации гидрометаллургического цеха. Перед вами стоит задача внедрения системы оборотного водоснабжения для снижения сброса сточных вод, содержащих мышьяк и тяжелые металлы. Опишите стратегию распределения задач внутри вашей команды (инженер-технолог, химик-аналитик, эколог, экономист) для разработки и защиты данного проекта.
14. (Расчетно-аналитический кейс). При плавке в КИВЦЭТ сквозное извлечение свинца в черновой металл составляет 94.5%. Куда распределяются оставшиеся 5.5% свинца, и какие технологические приемы используются для их возврата в производство?
15. (Комплексный кейс). Обоснуйте выбор метода переработки техногенного сырья (шлаков пирометаллургии меди), содержащего 11% Zn и 3% Pb. Почему прямая плавка такого сырья нерентабельна, и какую схему (с учетом фьюмингования или гидрометаллургии) вы предложите для извлечения этих металлов?

## **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. б (Кокс)
2. б (Вольфрамат натрия)
3. б (Кварцевый песок)

*Блок Б (по 1 баллу за полный правильный набор, 0 баллов при любой ошибке)* 4. а, в, г ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{CuFeS}_2$ ) 5. а, б, в, г (Все перечисленные:  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$  являются целевыми компонентами шлака для фьюмингования) 6. а, в ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ )

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

Блок Г (по 1 баллу за правильную последовательность) 9. Б → Г → А → В 10. Б → А → В → Г

**Ключ и критерии оценивания заданий открытого типа (Блок Д) Оценивание: до 4 баллов за каждый корректно решенный кейс (максимум 20 баллов).**

*Кейс 11 (Расчет расхода соды):* Эталонный ответ:

1. На разложение  $\text{CaWO}_4$ : Масса  $\text{CaWO}_4 = 57 * (287.8 / 231.8) = 70.78$  кг. Расход соды  $= 70.78 * (106 / 287.8) = 26.05$  кг.
2. На разложение  $\text{SiO}_2$ : Масса  $\text{SiO}_2 = 3.5$  кг. Расход соды  $= 3.5 * (106 / 60) = 6.18$  кг.
3. Итого теоретический расход  $= 26.05 + 6.18 = 32.23$  кг. *Критерии:* 2 балла за верное составление стехиометрических пропорций, 2 балла за правильный итоговый расчет.

*Кейс 12 (Анализ вязкости шлака):* Эталонный ответ: «Самоплавкий» шлак содержит высокое количество тугоплавких оксидов ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{CaO}$ ) и мало кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ). Без достаточного количества  $\text{SiO}_2$  не образуется легкоплавкий фаялит ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ), что делает шлак вязким. Добавление кварца и известняка необходимо для оптимизации состава шлака (до 25%  $\text{SiO}_2$  и 32%  $\text{CaO}$ ), снижения его вязкости, улучшения отделения от штейна и создания условий для эффективного восстановления  $\text{Zn}$  и  $\text{Pb}$  при фьюминговании. *Критерии:* 2 балла за указание на отсутствие фаялита и тугоплавкость, 2 балла за обоснование роли флюсов для фьюмингования.

*Кейс 13 (Стратегия команды - УК-3):* Эталонный ответ: Стратегия должна включать: 1) Инженер-технолог: разработка схемы очистки и расчета аппаратуры. 2) Химик-аналитик: подбор реагентов для осаждения мышьяка и контроль ПДК. 3) Эколог: оценка воздействия на окружающую среду и получение разрешительной документации. 4) Экономист: расчет капитальных затрат (CAPEX) и операционных расходов (OPEX), оценка срока окупаемости. Руководитель координирует этапы, проводит еженедельные совещания для устранения межфункциональных конфликтов. *Критерии:* 2 балла за корректное распределение ролей, 2 балла за описание механизмов координации и достижения цели.

*Кейс 14 (Потери свинца в КИВЦЭТ):* Эталонный ответ: Оставшиеся 5.5% свинца распределяются между шлаком (в виде  $\text{PbO}$  и  $\text{PbS}$ ), штейном и возгонами в ЭТК. Для возврата свинца шлак направляется на фьюмингование (возгонку цинка и свинца в виде оксидов с последующим их улавливанием), а возгоны ЭТК окисляются и улавливаются в рукавных фильтрах, возвращаясь в шихту. *Критерии:* 2 балла за указание фаз (шлак, возгоны), 2 балла за указание метода фьюмингования и возврата возгонов.

*Кейс 15 (Обоснование схемы переработки шлаков):* Эталонный ответ: Прямая пирометаллургическая плавка шлаков с 11%  $\text{Zn}$  нерентабельна из-за высоких потерь цинка в виде пыли и газов ( $\text{Zn}$  легко возгоняется) и высокого расхода кокса. Оптимальная схема: 1) Метод фьюмингования (обработка шлака угольной пылью вращающейся печи) для возгонки  $\text{Zn}$  и  $\text{Pb}$  с последующим их улавливанием. 2) Альтернативно — гидromеталлургическая схема (кислотное или щелочное выщелачивание) с последующим электролизом или цементацией. Выбор зависит от требуемой чистоты конечных продуктов.

*Критерии:* 2 балла за обоснование нерентабельности прямой плавки, 2 балла за предложение и аргументацию схемы фьюмингования/гидрометаллургии.

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

- Максимальный балл за экзамен: 3 (Блок А) + 3 (Блок Б) + 2 (Блок В) + 2 (Блок Г) + 20 (Блок Д) = 30 баллов.
- Перевод в 4-балльную шкалу (согласно критериям ЗГУ):
  - 26–30 баллов (85–100%) = «Отлично» (5)
  - 23–25 баллов (75–84%) = «Хорошо» (4)
  - 20–22 балла (65–74%) = «Удовлетворительно» (3)
  - Менее 20 баллов (<65%) = «Неудовлетворительно» (2)