

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 СРЕДСТВ¹
по дисциплине

«Гидрометаллургические процессы»

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

¹ 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 *Гидрометаллургические процессы* 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 *Гидрометаллургические процессы*, 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-5. Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в отрасли металлургии и смежных областях

- **ОПК-5.1. (Знать)** Физико-химические основы гидрометаллургических процессов (выщелачивание, экстракция, ионный обмен, цементация, электроэкстракция), кинетику и термодинамику гетерогенных процессов.
- **ОПК-5.2. (Уметь)** Осуществлять моделирование объектов и процессов, рассчитывать материальные балансы, окислительно-восстановительные потенциалы и параметры кристаллизации.
- **ОПК-5.3. (Владеть)** Методикой исследования применения новейших гидрометаллургических технологий, навыками выбора оптимальной аппаратуры и реагентного режима.

2. Паспорт фонда оценочных средств

Тема 1. Простое растворение и выщелачивание с протеканием химической реакции

- Формируемая компетенция: ОПК-5
- Наименование оценочного средства: Конспект, тестовые задания
- Форма оценивания: Письменно

Тема 2. Способы выщелачивания и применяемая аппаратура

- Формируемая компетенция: ОПК-5
- Наименование оценочного средства: Конспект, тестовые задания
- Форма оценивания: Письменно

Тема 3. Экстракционные и ионообменные процессы и их аппаратурное оформление

- Формируемая компетенция: ОПК-5
- Наименование оценочного средства: Конспект, собеседование
- Форма оценивания: Устно / Письменно

Тема 4. Выделение малорастворимых соединений. Разделение металлов осаждением

- Формируемая компетенция: ОПК-5
- Наименование оценочного средства: Практическая работа (расчетная задача)
- Форма оценивания: Письменно

Тема 5. Основы процесса выпаривания и кристаллизации

- Формируемая компетенция: ОПК-5
- Наименование оценочного средства: Тестовые задания
- Форма оценивания: Письменно

Тема 6. Осаждение металлов и оксидов из растворов восстановлением. Выделение металлов цементацией

- Формируемая компетенция: ОПК-5
- Наименование оценочного средства: Практическая работа (расчет кинетики)
- Форма оценивания: Письменно

Тема 7. Электроэкстракция

- Формируемая компетенция: ОПК-5
- Наименование оценочного средства: Практическая работа (термодинамические расчеты)
- Форма оценивания: Письменно

3. Перечень контрольно-оценочных средств (КОС)

Перечень и шкалы оценивания

1. Текущий контроль качества

- **Конспекты и собеседование:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: полнота раскрытия темы, наличие схем и аппаратного оформления.
- **Практические работы (расчеты):** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: правильность применения уравнений Нернста, кинетики первого порядка, материальных балансов.
- **Тестовые задания по темам:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Пороговый уровень — 75%.

2. Промежуточная аттестация (Экзамен)

- **Итоговое тестирование:** Шкала оценивания — 4-балльная (от 2 до 5).
- **Критерии выставления оценки:**
 - «Отлично» (5): 85–100% от максимально возможной суммы баллов. Глубокое понимание физико-химической сути процессов, безупречное выполнение расчетных заданий.
 - «Хорошо» (4): 75–84% баллов. Полное знание материала с незначительными неточностями в расчетах или трактовке кинетики.
 - «Удовлетворительно» (3): 65–74% баллов. Знание основного материала, допущение ошибок в сложных аналитических или расчетных вопросах.
 - «Неудовлетворительно» (2): 0–64% баллов. Незнание базовых понятий гидрометаллургии, принципиальные ошибки в термодинамических расчетах.

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

4.1 Задания для текущего контроля успеваемости

Темы для конспектов и собеседований:

1. Термодинамика и кинетика простого растворения и выщелачивания. Диффузионное и химическое сопротивление.
2. Аппаратурное оформление процессов выщелачивания (пачуки, агитаторы, автоклавы).
3. Механизмы катионообменной и анионообменной экстракции. Аппараты (смесители-отстойники, центробежные экстракторы).
4. Ионитные процессы. Выходные кривые сорбции, емкость смол, регенерация.
5. Физико-химические основы выпаривания и кристаллизации из многокомпонентных систем.
6. Электрохимическая природа цементации. Катодная и анодная поляризация.
7. Термодинамика электроэкстракции. Выход по току и напряжению.

Примеры расчетных задач для практических занятий: *Задача 1 (Кристаллизация):* Рассчитать массу выпавших кристаллов двойной соли при выпаривании раствора заданного состава до точки К на треугольной диаграмме состояния. *Задача 2 (Кинетика цементации):* Определить исходное содержание меди в растворе, если известны остаточные концентрации в моменты времени t_1 и t_2 , а процесс описывается уравнением кинетики первого порядка: $\lg(C_1/C_2) = k(t_2-t_1)$. *Задача 3 (Электроэкстракция):* Рассчитать ожидаемую величину нернстовского потенциала ($E_{нр}$), коэффициент использования электроэнергии и требуемое количество электричества для получения металла массой m при заданном выходе по току.

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): 2 шт.
 - Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень): 3 шт.
 - Задания на установление последовательности (Экспертный уровень): 2 шт.
 - Задания открытого типа с развернутым ответом / расчетные (Экспертный уровень): 5 шт.

Тестовые задания

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

1. Аппараты, работающие под давлением, в гидрометаллургии называются: а) агитаторами б) сорберами в) экстракторами г) автоклавами
2. Иониты, способные одновременно осуществлять катионный и анионный обмен, называются: а) амфолитами б) электронообменниками в) катионитами г) анионитами
3. Как называется органическая фаза, образующаяся после экстракции (насыщенная металлом)? а) высаливатель б) экстрагент в) рафинат г) экстракт

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

4. К факторам, влияющим на растворимость соли в водном растворе, относятся (выберите 3 верных варианта): а) избыток одноименного аниона б) изменение давления (для твердых фаз) в) присутствие комплексообразующих лигандов г) ионная сила раствора
5. Чем вызвана концентрационная поляризация при процессе цементации? (Выберите 2 верных варианта) а) Скорость доставки ионов к поверхности меньше скорости их разряда б) Низкая скорость кристаллизации осаждаемого металла в) Скорость доставки ионов больше скорости разряда г) Высокая скорость дегидратации ионов

Блок В. Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень)

6. Установите соответствие между типом выщелачивания и применяемым аппаратом/условием: А) Перколяция Б) Агитационное выщелачивание В) Автоклавно-окислительное выщелачивание

1. Пачук, механический агитатор.
 2. Герметичный сосуд, высокие температура и давление, подача кислорода.
 3. Фильтрация раствора через неподвижный слой кускового материала.
7. Установите соответствие между понятием и его определением в экстракции: А) Коэффициент распределения Б) Степень экстракции В) Рафинат
1. Отношение суммарной аналитической концентрации вещества в органической фазе к концентрации в водной.
 2. Водная фаза, прошедшая через экстракцию и отдавшая целевой компонент в органическую фазу.
 3. Отношение количества извлеченного вещества к его начальному количеству в растворе (обычно в %).
8. Установите соответствие между видом поляризации и ее причиной при электролизе/цементации: А) Катодная концентрационная Б) Электрохимическая (активационная) В) Анодная концентрационная
1. Замедление скорости растворения осадителя из-за накопления продуктов на поверхности.
 2. Замедление из-за энергетического барьера самой стадии переноса электрона.
 3. Замедление из-за истощения концентрации восстанавливаемых ионов у поверхности катода.

Блок Г. Задания на установление последовательности (Экспертный уровень)

9. Установите правильную технологическую последовательность основных стадий гидрометаллургического передела: А) Выделение из растворов чистых соединений (электролиз, цементация, кристаллизация) Б) Подготовка материала к выщелачиванию (обжиг, измельчение) В) Разделение твердой и жидкой фаз (сгущение, фильтрация) и очистка растворов Г) Собственно выщелачивание (перевод металла в раствор)
10. Установите последовательность стадий гетерогенного процесса выщелачивания, лимитируемого внутренней диффузией: А) Диффузия реагента через жидкостную пленку к поверхности частицы Б) Химическая реакция на поверхности ядра неореагировавшего материала В) Диффузия реагента через слой твердого продукта реакции к поверхности ядра Г) Диффузия продуктов реакции в обратном направлении через слой продукта

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

11. Чему равняется равновесный потенциал водородного электрода при $\text{pH}=7$ (условия стандартные, температура $25\text{ }^\circ\text{C}$)? Обоснуйте ответ, записав уравнение Нернста.

12. Чему равняется равновесный потенциал кислородного электрода при $pH=10$ (условия стандартные, температура $25\text{ }^{\circ}C$)? Как изменение pH влияет на окислительную способность раствора?
13. Рассчитать окислительно-восстановительный потенциал кобальта в $0,01\text{ M}$ растворе $CoSO_4$ при концентрации NH_3 1 моль/л , если константа устойчивости комплекса известна, а стандартный потенциал $\varphi^{\circ}(Co^{2+}/Co) = -0,227\text{ В}$, $t = 25\text{ }^{\circ}C$. (Привести формулу и логику расчета).
14. Какова разница стандартных потенциалов металлов ($\varphi_{Co} - \varphi_{Ni}$), участвующих в реакции цементации: $Ni^{2+} + Co^{\circ} = Ni^{\circ} + Co^{2+}$, если равновесное отношение активностей $a_{Ni}/a_{Co} = 0,21$, $t = 25\text{ }^{\circ}C$?
15. Объясните физический смысл сверхстехиометрической экстракции. По какому типу (сольватному, ионному, гидратно-сольватному) она чаще всего протекает для нейтральных экстрагентов, и как это влияет на выбор разбавителя?

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. г (автоклавами)
2. а (амфолитами)
3. г (экстракт)

Блок Б (по 1 баллу за полный правильный набор, 0 баллов при любой ошибке) 4. а, в, г (избыток одноименного аниона, комплексообразующие лиганды, ионная сила) 5. а, б (Скорость доставки меньше скорости разряда; Низкая скорость кристаллизации)

Блок В (по 1 баллу за полное правильное соответствие) 6. А-3, Б-1, В-2 7. А-1, Б-3, В-2 8. А-3, Б-2, В-1

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

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

Вопрос 11 (Потенциал водородного электрода при $pH=7$): Эталонный ответ: Уравнение Нернста для водорода: $E = E^{\circ} - 0.059 \cdot pH$. Так как $E^{\circ} = 0\text{ В}$, то $E = 0 - 0.059 \cdot 7 = -0.413\text{ В}$. Правильный ответ: -0.41 В . *Критерии:* 2 балла за верное уравнение Нернста и подстановку значений, 2 балла за правильный численный ответ. Максимум: 4 балла.

Вопрос 12 (Потенциал кислородного электрода при $pH=10$): Эталонный ответ: $E = 1.23 - 0.059 \cdot pH = 1.23 - 0.59 = 0.64\text{ В}$. С увеличением pH (снижением кислотности) окислительная способность кислорода падает. Правильный ответ: $+0.64\text{ В}$. *Критерии:* 2 балла за расчет, 2 балла за верный физико-химический вывод. Максимум: 4 балла.

Вопрос 13 (Потенциал Co в присутствии NH₃): Эталонный ответ: Образование аммиачного комплекса резко снижает активность свободных ионов Co²⁺, что сдвигает потенциал в отрицательную область (металл становится более активным). Расчет ведется через уравнение Нернста с учетом концентрации свободного иона металла, найденной через константу нестойкости комплекса. (Эталонное значение из теста: -0.436 В). *Критерии:* 2 балла за понимание роли комплексообразования, 2 балла за верную математическую модель. Максимум: 4 балла.

Вопрос 14 (Разница потенциалов Co и Ni): Эталонный ответ: В состоянии равновесия ЭДС цепи равна нулю. Используя уравнение Нернста для обоих электродов и приравняв их, находим разность стандартных потенциалов: $\Delta E^\circ = (0.059/2) * \lg(a_{Ni}/a_{Co}) = 0.0295 * \lg(0.21) \approx -0.02$ В. *Критерии:* 2 балла за условие равновесия ($E_1 = E_2$), 2 балла за верный расчет логарифма. Максимум: 4 балла.

Вопрос 15 (Сверхстехиометрическая экстракция): Эталонный ответ: Сверхстехиометрическая экстракция — это извлечение, при котором в органическую фазу переходит больше молекул экстрагента, чем требуется для стехиометрии комплекса. Для нейтральных экстрагентов (например, ТБФ) она протекает по сольватному типу. Это требует использования разбавителей с низкой диэлектрической проницаемостью (алифатические углеводороды), чтобы предотвратить полимеризацию сольватов в органической фазе. *Критерии:* 2 балла за определение и указание сольватного типа, 2 балла за обоснование выбора разбавителя. Максимум: 4 балла.

Итоговый подсчет баллов и перевод в шкалу оценивания:

- Максимальный балл за экзамен: 3 (Блок А) + 2 (Блок Б) + 3 (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)