

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

«Электрометаллургические 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:

Ст.преподаватель

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

А.В. Каверзин

(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 *Электрометаллургические процессы* для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.04.02 Metallurgy на основе Рабочей программы дисциплины *Электрометаллургические 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-1. Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в области металлургии

- **ОПК-1.1. (Знать)** Фундаментальные законы электрохимии, термодинамику и кинетику электродных процессов, особенности электролитического рафинирования и электроэкстракции цветных металлов.
- **ОПК-1.2. (Уметь)** Использовать фундаментальные знания для расчета равновесных и неравновесных потенциалов, выхода по току и количества выделившегося металла, анализа состава электролитов.
- **ОПК-1.3. (Владеть)** Методикой проведения расчетов материальных и энергетических балансов электролизеров, навыками выбора оптимальных режимов электролиза для минимизации потерь и получения качественного катодного осадка.

2. Паспорт фонда оценочных средств

Тема 1. Основные обратимые электроды электрохимических систем

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Конспект, тестовые задания
- Форма оценивания: Письменно

Тема 2. Равновесный электродный процесс

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Практическое задание (расчет обратимого потенциала)
- Форма оценивания: Письменно

Тема 3. Кинетика электрохимических процессов

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

Тема 4. Неравновесный электродный процесс

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Практическое задание (расчет количества выделившегося металла)
- Форма оценивания: Письменно

Тема 5. Особенности электролитического рафинирования меди

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Тестовые задания, решение кейсовой задачи
- Форма оценивания: Письменно

3. Перечень контрольно-оценочных средств (КОС)

Перечень и шкалы оценивания

1. Текущий контроль качества

- **Конспекты и тестовые задания:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: наличие структурированного конспекта, правильность решения теста (порог 75%).
- **Практические работы (расчеты):** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: правильность применения уравнения Нернста и законов Фарадея, корректность вычислений.

2. Промежуточная аттестация (Экзамен)

- **Итоговое тестирование и решение расчетных задач:** Шкала оценивания — 4-балльная (от 2 до 5).
- **Критерии выставления оценки:**
 - «Отлично» (5): 85–100% от максимально возможной суммы баллов. Глубокое понимание электрохимических 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 электрометаллургии, 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. Классификация электродов: электроды первого и второго рода, редокс-электроды, газовые электроды.
2. Уравнение Нернста и условия его применимости для расчета обратимого потенциала.
3. Виды перенапряжения: электрохимическое, концентрационное, фазовое.
4. Механизм миграции, диффузии и конвекции ионов в электролите.
5. Поведение примесей (Ni, Fe, As, Sb, Bi, благородные металлы) при электролитическом рафинировании меди.

Примеры расчетных задач для практических занятий:

- *Задача 1 (Равновесный процесс):* Рассчитать обратимый потенциал цинка при $T = 298\text{ K}$ в 0,2-моляльном растворе ZnSO_4 , если средний коэффициент активности $f_{\pm} = 0,104$.
- *Задача 2 (Неравновесный процесс):* Рассчитать количество выделившейся на катоде меди за τ часов при силе тока I , выходе по току W_t и заданной площади катода, используя законы Фарадея.

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. При измерении pH раствора применяют электрод: а) платиновый б) металлоидный в) металлический г) стеклянный

2. К какой группе электродов относится электрод, потенциал которого зависит от протекания реакции: $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$? а) ионообменным б) металлическим в) газовым г) редокс-электродам
3. По классификации электродов кислородный электрод относится к электродам: а) первого рода б) редокс-электродам в) газовым г) ионообменным

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

4. Передвижение ионов или других заряженных частиц под действием градиента электрического поля, возникающего в электролите при прохождении тока, называется (выберите верные термины, описывающие этот или смежные процессы): а) молекулярной диффузией б) миграцией в) конвекцией г) массообменом
5. К активационной поляризации не относится (выберите 2 верных варианта): а) электрохимическое перенапряжение б) диффузионное перенапряжение в) перенапряжение зародышеобразования г) фазовое перенапряжение поверхностной диффузии

Блок В. Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень)

6. Установите соответствие между реакцией и типом электрода: А) $\text{Te}^{2-} - 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{Te}^0$ Б) $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ В) $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$
 1. Металлический электрод (первого рода)
 2. Редокс-электрод
 3. Газовый электрод
7. Установите соответствие между видом перенапряжения и его причиной: А) Электрохимическое перенапряжение Б) Концентрационное перенапряжение В) Фазовое перенапряжение
 1. Замедленность стадии разряда ионов или ионизации атомов.
 2. Замедленность процессов кристаллизации или образования новой фазы.
 3. Разница концентраций ионов у поверхности электрода и в объеме раствора.
8. Установите соответствие между примесью в медном аноде и ее поведением при электролитическом рафинировании: А) Железо, цинк, никель Б) Золото, серебро, платиноиды В) Мышьяк, сурьма, висмут
 1. Переходят в анодный шлам (не растворяются или выпадают в осадок).
 2. Растворяются в электролите, но не разряжаются на катоде при нормальных потенциалах.
 3. Частично растворяются, частично выпадают в шлам, требуют строгого контроля состава электролита.

Блок Г. Задания на установление последовательности (Экспертный уровень)

9. Установите правильную последовательность стадий массопереноса иона металла к катоду при электролизе: А) Диффузия иона через диффузионный слой к поверхности электрода. Б) Перенос иона из объема раствора к границе диффузионного слоя (конвекция). В) Электрохимический разряд иона на поверхности катода. Г) Встраивание атома в кристаллическую решетку осадка.
10. Установите логическую последовательность очистки медного электролита от накапливающихся примесей (никеля, мышьяка): А) Кристаллизация сульфата меди или выпаривание части электролита. Б) Отсечка части электролита из циркуляционной системы товарных ванн. В) Возврат очищенного электролита в электролизные ванны. Г) Химическая или электрохимическая обработка отсеченного электролита для удаления примесей.

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

11. Рассчитать величину обратимого потенциала для медного электрода при $T = 298 \text{ K}$, опущенного в раствор сульфата меди с активностью ионов $\text{Cu}^{2+} = 0,001$, если стандартный потенциал медного электрода составляет $+0,34 \text{ В}$. (Привести формулу и расчет).

12. Рассчитать количество электричества (теоретически необходимое), затраченное на восстановление электролизом 1 тонны алюминия из расплава криолит-глиноземной смеси. (Привести формулу Фарадея и расчет).
13. Опишите механизм потерь платиноидов и серебра с катодной медью при электролитическом рафинировании. Какую роль играют поверхностно-активные вещества (ПАВ), такие как желатин или тиомочевина, в предотвращении этих потерь?
14. Объясните явление диспропорционирования ионов меди в медном электролите. Какая реакция регулирует соотношение однозарядных и двухзарядных ионов, и как это влияет на чистоту катодной меди?
15. Проанализируйте, почему при увеличении плотности тока сверх оптимального значения качество катодной меди резко ухудшается (появляются наросты, дендриты). Свяжите это с понятием предельного диффузионного тока.

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 (стеклянный)
2. г (редокс-электродам)
3. в (газовым)

Блок Б (по 1 баллу за полный правильный набор, 0 баллов при любой ошибке) 4. б, г (миграция является основным процессом под действием поля, массообмен – общее понятие, включающее миграцию) 5. б, г (диффузионное и фазовое относятся к концентрационной и кристаллизационной поляризации соответственно)

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

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

Ключ и критерии оценивания заданий открытого типа (Блок Д) Оценивание: до 2 баллов за каждый корректно названный аспект или правильный шаг расчета (максимум 2 балла за вопрос).

Вопрос 11 (Расчет потенциала меди): Эталонный ответ: Уравнение Нернста: $E = E^\circ + (0.059 / z) * \lg(a)$. Для Cu^{2+} ($z=2$): $E = 0.34 + (0.059 / 2) * \lg(0.001) = 0.34 + 0.0295 * (-3) = 0.34 - 0.0885 = +0.2515$ В (округленно +0.25 В). *Критерии:* 1 балл за верную запись уравнения Нернста, 1 балл за правильный математический расчет и ответ.

Вопрос 12 (Расчет электричества для Al): Эталонный ответ: Закон Фарадея: $m = (M * Q) / (z * F)$, откуда $Q = (m * z * F) / M$. Для Al: $m = 1\ 000\ 000$ г, $z = 3$, $F = 26.8$ А·ч/г-экв (или 96500 Кл/моль), $M = 27$ г/моль. $Q = (1000000 * 3 * 26.8) / 27 \approx 2\ 977\ 777$ А·ч (или ~2980 кА·ч). *Критерии:* 1 балл за верную формулу, 1 балл за подстановку данных и верный числовой результат.

Вопрос 13 (Потери платиноидов и роль ПАВ): Эталонные аспекты:

1. Потери происходят из-за катафореза (увлечения мелких частиц шлама к катоду электрическим полем) или механического включения плавучего шлама в растущий катодный осадок.
2. ПАВ (желатин, тиомочевина, клей) адсорбируются на поверхности катода, выравнивая микронеровности и способствуя получению мелкокристаллического, плотного осадка, который не захватывает частицы шлама.

Вопрос 14 (Диспропорционирование меди): Эталонные аспекты:

1. Реакция: $2\text{Cu}^+ \leftrightarrow \text{Cu}^0 + \text{Cu}^{2+}$.
2. В электролите всегда присутствует небольшое количество ионов Cu^+ . При определенных условиях (высокая температура, низкая концентрация Cu^{2+}) равновесие сдвигается вправо.

3. Выпадение мелкодисперсной металлической меди (Cu^0) в виде «медной пудры» приводит к загрязнению катода и потерям металла, поэтому состав электролита (кислотность, концентрация Cu^{2+}) строго контролируется.

Вопрос 15 (Плотность тока и предельный диффузионный ток): Эталонные аспекты:

1. При увеличении плотности тока скорость разряда ионов превышает скорость их подвода к катоду (диффузии).
2. Достигается предельный диффузионный ток, концентрация ионов у катода падает до нуля.
3. Начинается разряд ионов водорода (выделение H_2), повышается перенапряжение, осадок становится рыхлым, губчатым, образуются дендриты и наросты, которые могут вызвать короткое замыкание.

Итоговый подсчет баллов и перевод в шкалу оценивания:

- Максимальный балл за экзамен: 3 (Блок А) + 2 (Блок Б) + 3 (Блок В) + 2 (Блок Г) + 10 (Блок Д) = 20 баллов.
- Перевод в 4-балльную шкалу (согласно критериям ЗГУ):
 - 17–20 баллов (85–100%) = «Отлично» (5)
 - 15–16 баллов (75–84%) = «Хорошо» (4)
 - 13–14 баллов (65–74%) = «Удовлетворительно» (3)
 - Менее 13 баллов (<65%) = «Неудовлетворительно» (2)