

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Крюков Вадим Николаевич

Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике

Дата подписания: 23.06.2026 09:24:35

Уникальный программный ключ:

1b0adb7fd710f6a0705d90c588829d0c1272582

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Западный государственный университет им. Н. М. Федоровского»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине**  
**«Проблемы развития металлургии»**

**Уровень образования:** аспирантура

Кафедра «Металлургии машин и оборудования»

Разработчик ФОС:

\_\_\_\_\_  
Старший преподаватель

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
Каверзин А.В.

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

Фонд оценочных средств по дисциплине «Проблемы развития металлургии» для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральными государственными требованиями высшего образования по *направлению подготовки* 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов на основе Рабочей программы дисциплины «Проблемы развития металлургии», утвержденной решением ученого совета, 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 ЗГУ им. Н.М. Федоровского.

## **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы**

- **Знать** Физико-химические основы гидromеталлургических процессов, ионообмена, экстракции и цементации, а также процессы отстаивания, фильтрации и промывки.
- **Уметь** Анализировать кинетику и механизм гетерогенных процессов выщелачивания, рассчитывать диффузионные потоки и сопротивления на различных стадиях процесса.
- **Владеть** Методикой оценки эффективности гидromеталлургических схем переработки концентратов и выбора путей интенсификации технологических процессов.

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

### **Тема 1. Классификация гидromеталлургических процессов и их назначение; применение процессов выщелачивания в гидromеталлургии**

- Формируемая часть
- Наименование оценочного средства: Ответы на контрольные вопросы, Тестирование
- Форма оценивания: Устно / Письменно

### **Тема 2. Физико-химические основы ионообменных процессов**

- Формируемая часть
- Наименование оценочного средства: Ответы на контрольные вопросы, Тестирование
- Форма оценивания: Устно / Письменно

### **Тема 3. Физико-химические основы экстракционных процессов**

- Формируемая часть
- Наименование оценочного средства: Ответы на контрольные вопросы, Тестирование
- Форма оценивания: Устно / Письменно

### **Тема 4. Цементационные процессы. Процессы отстаивания, фильтрации и промывки**

- Формируемая часть
- Наименование оценочного средства: Ответы на контрольные вопросы, Тестирование
- Форма оценивания: Устно / Письменно

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

#### Перечень и шкалы оценивания

##### 1. Текущий контроль качества

- **Ответы на контрольные вопросы:** Шкала оценивания — «Достигнут / не достигнут пороговый уровень». Критерии: полнота и точность формулировок, знание физико-химических основ.
- **Решение ситуационных задач:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: правильность выбора методики решения, корректность логических выводов.

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

- **Итоговое тестирование:** Шкала оценивания — 5-балльная.
- **Критерии выставления оценки:**
  - «Отлично» (5): 90–100% правильных ответов, глубокое понимание физико-химической сути гидрометаллургических процессов. an>
  - «Хорошо» (4): 80–89% правильных ответов, знание материала с незначительными неточностями в формулировках.
  - «Удовлетворительно» (3): 70–79% правильных ответов, знание основных закономерностей, допускаются ошибки в сложных аналитических вопросах.
  - «Неудовлетворительно» (2): менее 70% правильных ответов, наличие принципиальных ошибок в понимании кинетики и термодинамики процессов.

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

###### 3.1 Задания для текущего контроля успеваемости

###### Контрольные вопросы по темам (выборочно из рабочей программы):

*По теме «Процессы выщелачивания»:*

1. Какова цель выщелачивания? Какие способы выщелачивания вы знаете?
2. Изобразите схему диффузионных потоков при выщелачивании с указанием всех стадий процесса.
3. Что называется диффузионным сопротивлением? Что называется химическим сопротивлением?
4. Пути интенсификации процесса выщелачивания при лимитирующей стадии: внешней диффузии, внутренней диффузии, химическом взаимодействии на поверхности.

*По теме «Ионообменные и экстракционные процессы»:* 5. От чего зависит сорбционная способность смолы? Какие катионы и анионы используются в качестве противоионов? 6. Изобразите и объясните выходную кривую сорбции. От каких параметров зависит ее крутизна? 7. Схема экстракционного извлечения металла из раствора. Основные качественные характеристики экстракционного процесса.

*По теме «Цементация и разделение фаз»:* 8. Что такое цементация и для чего она применяется? Опишите механизм, кинетику и явление поляризации при цементации. 9. Как подразделяются осадки, полученные в результате фильтрации? Каковы стадии фильтрации?

###### Критерии оценки текущего контроля:

- **«Зачтено»:** Аспирант правильно описывает механизмы процессов, дает точные определения, уверенно объясняет пути интенсификации процессов в зависимости от лимитирующей стадии. is>

- **«Не зачтено»:** Ошибки в описании стадий гетерогенных процессов, незнание определений (например, критерия Пиллинга-Бедвордса), неспособность объяснить физико-химический смысл явлений.

### 3.2 Задания для промежуточной аттестации

#### Спецификация комплекта оценочных материалов

- Общее количество заданий: 15.
- Распределение по типам и уровням сложности:
  - Задания с выбором одного верного ответа (Базовый уровень): 4 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): 3 шт.

#### Тестовые задания для промежуточной аттестации

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

1. Какова основная цель процесса выщелачивания в гидрометаллургии? а) Получение чистого металла электролизом б) Избирательный перевод ценного компонента из твердой фазы в раствор в) Удаление влаги из осадка г) Разделение несмешивающихся жидкостей
2. Критерий Пиллинга-Бедвордса характеризует: а) Скорость химической реакции на поверхности б) Плотность и защитные свойства оболочки продукта реакции на поверхности твердого тела в) Скорость диффузии иона через слой раствора г) Равновесную концентрацию металла в органической фазе
3. Явление поляризации при цементации приводит к: а) Ускорению процесса осаждения металла б) Замедлению или полной остановке процесса из-за образования защитных пленок или изменения потенциала в) Увеличению растворимости осадителя г) Повышению температуры раствора
4. Как подразделяются осадки, полученные в результате фильтрации, по своей структуре? а) Только на кристаллические б) На кристаллические и аморфные (или студенистые) в) Только на аморфные г) На жидкие и газообразные

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

5. Какие стадии включает сложный гетерогенный процесс выщелачивания? (Выберите 3 верных варианта) а) Диффузия реагента через слой раствора к поверхности твердого тела б) Химическая реакция на поверхности раздела фаз в) Плавление твердой шихты г) Диффузия продуктов реакции от поверхности в объем раствора
6. Какие факторы позволяют интенсифицировать процесс выщелачивания, если лимитирующей стадией является внешняя диффузия? (Выберите 2 верных варианта) а) Увеличение скорости перемешивания или скорости потока раствора б) Уменьшение размера частиц твердого материала в) Значительное повышение температуры (без изменения гидродинамики) г) Увеличение концентрации реагента в растворе
7. Какие основные качественные характеристики определяют эффективность экстракционного процесса? (Выберите 3 верных варианта) а) Коэффициент распределения металла между фазами б) Селективность (избирательность) экстрагента в) Цвет органической фазы г) Скорость расслоения фаз (кинетика экстракции)

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

8. Установите соответствие между гидрометаллургическим процессом и его физико-химической основой: А) Выщелачивание Б) Экстракция В) Цементация
  1. Перенос вещества через границу раздела двух несмешивающихся жидкостей.
  2. Гетерогенная химическая реакция с переходом компонента из твердой фазы в жидкую.
  3. Электрохимическое вытеснение менее благородного металла более электроотрицательным.
9. Установите соответствие между лимитирующей стадией выщелачивания и наиболее эффективным путем ее интенсификации: А) Внешняя диффузия Б) Внутренняя диффузия (через слой продукта) В) Химическая реакция на поверхности
  1. Измельчение материала для увеличения пористости и площади внутренней поверхности.
  2. Повышение температуры процесса (увеличение константы скорости реакции).
  3. Интенсивное перемешивание или увеличение скорости подачи раствора.
10. Установите соответствие между понятием и его определением в ионообменных процессах: А) Противоионы Б) Емкость ионообменной смолы В) Регенерация
  1. Процесс восстановления рабочей способности смолы после истощения.
  2. Подвижные ионы в смоле, способные к обмену с ионами раствора.
  3. Количество ионов, которое может поглотить единица объема или массы смолы.

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

11. Установите правильную последовательность стадий гетерогенного процесса выщелачивания с образованием твердого продукта на поверхности: А) Химическая реакция на поверхности раздела фаз Б) Диффузия реагента из объема раствора к внешней поверхности твердого тела В) Диффузия продукта реакции через слой твердого продукта к поверхности раздела с раствором Г) Десорбция и диффузия продукта реакции от поверхности в объем раствора
12. Установите логическую последовательность основных стадий замкнутого гидрометаллургического цикла получения цинка: А) Очистка цинкового раствора от примесей (цементация и др.) Б) Выщелачивание обожженного концентрата (огарка) В) Электролиз цинка из очищенного раствора Г) Обжиг сульфидного цинкового концентрата

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

13. Опишите механизм и кинетику процесса цементации. Что такое явление поляризации при цементации и как оно влияет на скорость процесса?
14. Объясните физический смысл критерия Пиллинга-Бедвордса. Как значение этого критерия влияет на протекание процесса выщелачивания и выбор путей его интенсификации?
15. Что такое выходная кривая сорбции? Опишите ее форму и объясните, от каких параметров зависит крутизна этой кривой. Каким фактором пользуются для увеличения крутизны сорбционной кривой на практике?

#### 4. 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
2. б
3. б
4. б

Блок Б (по 1 баллу за полный правильный набор, 0 баллов при любой ошибке) 5. а, б, г 6. а, г 7. а, б, г

Блок В (по 1 баллу за полное правильное соответствие) 8. А-2, Б-1, В-3 9. А-3, Б-1, В-2 10. А-2, Б-3, В-1

Блок Г (по 1 баллу за правильную последовательность) 11. Б → А → В → Г 12. Г → Б → А → В

**Ключ и критерии оценивания заданий открытого типа (Блок Д) Оценивание: 2 балла за каждый корректно названный и раскрытый аспект (максимум 6 баллов за вопрос).**

Вопрос 13 (Механизм и кинетика цементации, поляризация): Эталонные аспекты:

1. Механизм: электрохимический процесс, где более электроотрицательный металл (осадитель) растворяется, а ионы более благородного металла восстанавливаются и осаждаются на поверхности.
2. Кинетика: лимитируется диффузией ионов к поверхности или скоростью электронной реакции.
3. Поляризация: замедление процесса из-за образования плотной пленки осаждаемого металла на поверхности осадителя (концентрационная или химическая поляризация), что увеличивает сопротивление и снижает скорость процесса.

Вопрос 14 (Критерий Пиллинга-Бедвордса): Эталонные аспекты:

1. Физический смысл: отношение объема образовавшегося твердого продукта реакции к объему прореагировавшего исходного твердого вещества.
2. Влияние: если критерий  $> 1$ , образуется плотная, сплошная пленка продукта, которая экранирует поверхность и резко замедляет процесс (переход в диффузионный режим через слой продукта). Если  $< 1$ , пленка пористая или растрескивается, процесс идет легче.
3. Интенсификация: при  $> 1$  необходимо измельчение материала, повышение температуры или применение химических добавок, разрушающих пленку.

Вопрос 15 (Выходная кривая сорбции): Эталонные аспекты:

1. Определение: график зависимости концентрации иона в растворе на выходе из колонны от объема пропущенного раствора (или времени). Имеет S-образную форму.
2. Параметры крутизны: зависят от скорости массопередачи, размера гранул смолы, скорости потока раствора и коэффициента диффузии ионов внутри гранулы.
3. Увеличение крутизны: достигается уменьшением размера зерен смолы, повышением температуры, оптимизацией скорости потока и использованием смол с более высокой кинетикой ионообмена.

##### Итоговый подсчет баллов:

- Максимальный балл за тест: 4 (Блок А) + 3 (Блок Б) + 3 (Блок В) + 2 (Блок Г) + 6 (Блок Д) = 18 баллов.
- Перевод в 5-балльную шкалу (процентное соотношение от 18 баллов):
  - 16–18 баллов (90–100%) = «Отлично» (5)
  - 14–15 баллов (80–89%) = «Хорошо» (4)

- 13 баллов (70–79%) = «Удовлетворительно» (3)
- Менее 13 баллов (<70%) = «Неудовлетворительно» (2)