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:
1b0adb7fd710f6a0705d90c58b82bd0c1f2f23b2

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине
«Металлургия тяжелых металлов»

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 «Металлургия тяжелых металлов» для 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 «Металлургия тяжелых металлов», 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 закономерности протекания пирометаллургических процессов, термодинамику и кинетику восстановления металлов из оксидов и сульфидов.
- **Уметь** Анализировать влияние термодинамических факторов (температура, давление, состав фаз) на равновесие и скорость металлургических реакций.
- **Владеть** Методикой расчета констант равновесия, упругости диссоциации и материальных балансов металлургических процессов.

2. Паспорт фонда оценочных средств

Тема 1. Классификация пирометаллургических процессов и их назначение; применение процессов ликвации, кристаллизации и экстрагирования

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

Тема 2. Физико-химические основы процессов, базирующихся на явлениях испарения и конденсации; на реакциях окисления металлов

- Формируемая часть
- Наименование оценочного средства: Ответы на контрольные вопросы, Решение расчетных задач
- Форма оценивания: Письменно

Тема 3. Процессы восстановления металлов из оксидов

- Формируемая часть
- Наименование оценочного средства: Тестирование, Устный опрос
- Форма оценивания: Письменно / Устно

Тема 4. Теория процессов металлургии сульфидов

- Формируемая часть
- Наименование оценочного средства: Тестирование, Анализ ситуационных задач
- Форма оценивания: Письменно / Устно

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 термодинамических основ.

- **Решение расчетных задач:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: правильность записи уравнений реакций, корректность применения формул.

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 процессов.
  - «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 расчетных или аналитических вопросах.
  - «Неудовлетворительно» (2): менее 70% правильных ответов, наличие принципиальных ошибок в понимании термодинамики и кинетики процессов.

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

4.1 Задания для текущего контроля успеваемости

Контрольные вопросы по темам (выборочно из рабочей программы):

По теме «Процессы восстановления металлов из оксидов»:

1. Запишите выражение константы равновесия реакции диссоциации оксида для случая, когда оксид и металл – конденсированные вещества.
2. Как влияет вакуум на термодинамическую возможность реакции восстановления оксида с выделением газообразных продуктов?
3. Приведите реакцию Белла-Будуара и формулу для расчёта константы равновесия КБ.
4. Почему при получении чистых металлов предпочитают использовать водород, а не монооксид углерода?

По теме «Теория процессов металлургии сульфидов»:

5. Дайте определение штейну. Какие штейны называют бедными, а какие – богатыми?

6. Запишите выражение для давления диссоциации сульфида нелетучего металла.

7. Приведите реакцию обмена металлов кислородом и серой в системе из двух фаз – штейна и шлака. От чего зависит направление этой реакции?

Критерии оценки текущего контроля:

- **«Зачтено»:** Аспирант правильно записывает термодинамические уравнения, дает точные определения (например, штейна), объясняет влияние факторов (вакуума, температуры) на равновесие.
- **«Не зачтено»:** Ошибки в записи констант равновесия, незнание определений, неспособность объяснить физико-химический смысл процессов.

4.2 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. Что понимается под «штейном» в цветной металлургии?
   а) Сплав черных металлов с серой
   б) Сплав цветных металлов с серой, получаемый при плавке сульфидных руд
   в) Оксидный расплав, образующийся при восстановлении руд
   г) Газообразный продукт обжига сульфидов
2. Как влияет создание вакуума на термодинамическую возможность реакции восстановления оксида с выделением газообразных продуктов?
   а) Снижает возможность реакции, повышая требуемую температуру
   б) Не оказывает влияния на равновесие
   в) Повышает возможность реакции, снижая требуемую температуру
   г) Приводит к полной остановке реакции диссоциации
3. Какая реакция описывает процесс Белла-Будуара?
   а) $C + O_2 = CO_2$
   б) $CO_2 + C = 2CO$
   в) $H_2O + C = CO + H_2$
   г) $MeO + CO = Me + CO_2$
4. Давление диссоциации сульфида нелетучего металла зависит в первую очередь от:
   а) Общего давления в системе
   б) Температуры
   в) Скорости перемешивания расплава
   г) Размера частиц шихты

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

5. Какие факторы способствуют снижению температуры проведения восстановления оксида с выделением газообразных продуктов? (Выберите 2 верных варианта)
   а) Повышение общего давления в системе
   б) Создание вакуума (понижение давления)
   в) Связывание одного из газообразных продуктов в твердое или жидкое соединение
   г) Увеличение размера кусков шихты
6. Какие условия необходимы для сосуществования нескольких сульфидов в системе? (Выберите 2 верных варианта)
   а) Равенство парциальных давлений серы над каждым из сульфидов
   б) Полное отсутствие газовой фазы
   в) Термодинамическое равновесие между твердыми или жидкими сульфидными фазами
   г) Температура выше температуры кипения всех компонентов
7. Почему при получении чистых металлов часто предпочитают использовать водород, а не монооксид углерода? (Выберите 2 верных варианта)
   а) Водород не загрязняет металл углеродом (не происходит науглероживание)
   б) Водород всегда дешевле монооксида углерода
   в) Продукт восстановления (вода) легко удаляется из зоны реакции в виде пара
   г) Водород реагирует только при сверхвысоких температурах

Блок В. Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень)

8. Установите соответствие между типом штейна и его характеристикой: А) Бедный штейн Б) Богатый штейн В) Металлизированный штейн
   1. Содержит высокое количество цветного металла (например, меди) и низкое количество железа.
   2. Содержит значительную долю металлической фазы (например, железа или меди) в виде включений в сульфидной матрице.

3. Содержит низкое количество цветного металла и высокое количество сульфида железа.

9. Установите соответствие между процессом и его основной движущей силой или условием: А) Диссоциация оксида металла Б) Восстановление оксида водородом В) Распределение серы между двумя металлами
   1. Разность химических сродств металлов к сере (разность упругостей диссоциации сульфидов).
   2. Достижение парциальным давлением кислорода в системе величины, равной упругости диссоциации оксида.
   3. Превышение парциального давления водорода над равновесным давлением для данной температуры.
10. Установите соответствие между металлургическим процессом и типом получаемого продукта: А) Окислительный обжиг сульфидных концентратов Б) Восстановительная плавка В) Электролитическое рафинирование
    1. Черновой металл высокой чистоты
    2. Оксид металла и диоксид серы (SO2)
    3. Металл в виде сплава или лигатуры

Блок Г. Задания на установление последовательности (Экспертный уровень)

11. Установите правильную термодинамическую и технологическую последовательность стадий при восстановлении оксида металла газообразным восстановителем: А) Химическая реакция на поверхности раздела фаз Б) Подвод газообразного восстановителя к поверхности оксида В) Отвод газообразного продукта реакции от поверхности в объем газа Г) Диффузия газообразного восстановителя через пограничный газовый слой к поверхности
12. Установите логическую последовательность этапов переработки сульфидного концентрата тяжелого цветного металла: А) Конвертирование штейна с получением чернового металла Б) Окислительный обжиг или плавка концентрата на штейн В) Рафинирование чернового металла Г) Обогащение руды и получение концентрата

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

13. Запишите выражение константы равновесия реакции диссоциации оксида для случая, когда оксид металла – конденсированное вещество, а образующийся металл – газообразный. Объясните, как изменится равновесие при повышении общего давления в системе.
14. Опишите физико-химическую сущность реакции обмена металлов кислородом и серой в системе «штейн – шлак». От какого термодинамического параметра зависит направление этой реакции?
15. Проанализируйте причины нахождения цветных металлов в шлаках классических процессов (например, отражательной плавки). Назовите не менее двух путей снижения этих потерь.

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
2. в
3. б
4. б

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

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

Блок Г (по 1 баллу за правильную последовательность) 11. Б → Г → А → В 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 (Диссоциация оксида с образованием газообразного металла): Эталонные аспекты:

1. Уравнение реакции: MeO(тв) = Me(г) + 1/2 O2(г).
2. Выражение константы: Kp = P(Me) * P(O2)^0.5 (активность конденсированных фаз равна 1).
3. Влияние давления: Повышение общего давления смещает равновесие влево (в сторону образования оксида), так как реакция идет с увеличением объема газовой фазы (принцип Ле Шателье).

Вопрос 14 (Реакция обмена в системе штейн-шлак): Эталонные аспекты:

1. Сущность: Реакция вида Me1S + Me2O = Me1O + Me2S.
2. Направление реакции определяется разностью химических сродств металлов к кислороду и сере.
3. Процесс идет в сторону образования более прочного оксида и менее прочного сульфида (зависит от упругостей диссоциации соответствующих оксидов и сульфидов при данной температуре).

Вопрос 15 (Потери цветных металлов со шлаками): Эталонные аспекты:

1. Причины: Механические потери (захват капель штейна вязким шлаком), химические потери (растворение оксидов или сульфидов цветного металла в шлаке), неполное протекание реакций восстановления.
2. Пути снижения: Повышение температуры шлака для снижения его вязкости (улучшение расслоения фаз), применение флюсов для модификации состава шлака, использование электрообогрева или фьюмингования для доизвлечения металла, оптимизация режима дутья.

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)