

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Крюков Вадим Николаевич

Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике

Дата подписания: 25.06.2026 10:51:25

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**

«Физическая химия»

Факультет: Горно-технологический (ГТФ)

Направление подготовки: 22.03.02 «Металлургия»

Направленность (профиль): Прогрессивные методы получения цветных металлов

Уровень образования: бакалавриат

Кафедра «Металлургии, машин и оборудования»

наименование кафедры

Разработчик ФОС:

Доцент, 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 *Физическая химия* для текущей/промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.03.02 *Металлургия* на основе Рабочей программы дисциплины *Физическая химия*, 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

Код компетенции: ОПК-1 **Содержание:** Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общетехнические знания.

Индикаторы достижения:

ОПК-1.1. Понимает фундаментальные основы физико-химических процессов и применяет их для анализа, расчета и оптимизации металлургических технологий.

ОПК-1.2. Использует основные законы естественнонаучных дисциплин при решении стандартных задач в профессиональной деятельности

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- законы химической термодинамики и их применение для оценки возможности протекания металлургических реакций (обжиг, восстановление, конвертирование);
- основы химической кинетики и механизмы гетерогенных процессов (газ-твердое тело, жидкость-жидкость);
- физико-химические основы теории фазовых равновесий и диаграмм состояния (системы шлаков, штейнов, металлических сплавов);
- теорию электрохимических процессов (электролиз, электродные потенциалы, коррозия).

Уметь:

- использовать термодинамические данные и диаграммы Эллингера для выбора оптимальных восстановителей и температурных режимов плавки;
- рассчитывать константы химического равновесия и определять факторы, влияющие на выход целевого продукта;
- анализировать диаграммы состояния для подбора состава флюсов и управления вязкостью и температурой плавления металлургических шлаков;
- применять уравнение Нернста и законы Фарадея для расчета параметров электролитического получения и рафинирования металлов.

Владеть:

- навыками термодинамического и кинетического моделирования металлургических процессов;
- методами расчета материальных и тепловых балансов на основе физико-химических законов;
- приемами управления свойствами расплавов (шлаков и металлов) через изменение их химического состава и окислительно-восстановительного потенциала.

2. Паспорт фонда оценочных средств

Раздел 1. Химическая термодинамика и термохимия.

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Оценочные средства: Конспект, тестовые задания, расчетные задачи.
- Показатели оценки: Умение рассчитывать изменение энергии Гиббса, понимание факторов, определяющих направление металлургических реакций.

Раздел 2. Фазовые равновесия и диаграммы состояния.

- Формируемая компетенция: ОПК-1

- Оценочные средства: Собеседование, тестовые задания, решение задач по диаграммам.
- Показатели оценки: Навыки чтения двойных и тройных диаграмм состояния (шлаковые системы, сплавы), применение правила фаз Гиббса.

Раздел 3. Химическая кинетика и катализ.

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Оценочные средства: Тестовые задания, расчетные задачи.
- Показатели оценки: Понимание лимитирующих стадий гетерогенных реакций, расчет энергии активации.

Раздел 4. Электрохимия и поверхностные явления.

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Оценочные средства: Тестовые задания, ситуационные кейсы.
- Показатели оценки: Умение рассчитывать ЭДС, перенапряжение, понимание физико-химии смачивания при флотации и плавке.

Промежуточная аттестация (Экзамен).

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Оценочные средства: Комплексный экзаменационный билет (тест + термодинамический расчет + задача по диаграмме состояния).

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания (Технологическая карта)

Форма промежуточной аттестации: Экзамен. **Сроки выполнения:** В соответствии с учебным графиком.

Шкала оценивания и критерии (процент от максимальной суммы баллов):

- **0 – 64 %** – «неудовлетворительно» (недостаточный уровень, дисциплина не освоена).
- **65 – 74 %** – «удовлетворительно» (пороговый минимальный уровень, есть неточности в расчетах).
- **75 – 84 %** – «хорошо» (средний уровень, уверенное владение материалом).
- **85 – 100 %** – «отлично» (высокий уровень, глубокое понимание физико-химической сути процессов).

Критерии оценки текущих заданий:

- **Расчетная задача:** 5 баллов (2 балла за выбор уравнения/закона, 2 балла за математический расчет, 1 балл за физический вывод).
- **Тест:** 1 балл за каждый верный ответ.

4. Типовые контрольные задания и материалы для оценки знаний

4.1. Темы для конспектирования и собеседования

1. Термодинамические функции состояния (энтальпия, энтропия, энергия Гиббса) и их роль в металлургических процессах.
2. Диаграммы Эллингема: принципы построения и использование для оценки восстановимости оксидов цветных металлов.
3. Закон действующих масс и константа химического равновесия в гомогенных и гетерогенных системах.
4. Правило фаз Гиббса и его применение к металлургическим расплавам (шлак-штейн-металл).
5. Теория строения металлургических шлаков (молекулярная и ионная теории).
6. Кинетика гетерогенных реакций (модель «сжимающегося ядра» при обжиге и выщелачивании).
7. Электродные потенциалы, уравнение Нернста и ряд напряжений металлов.
8. Поверхностное натяжение и смачивание: физико-химические основы флотации и разделения фаз (шлак-металл).

4.2. Тестовые задания (Базовый уровень, фрагмент)

Инструкция: Выберите один правильный ответ.

1. Какое термодинамическое условие определяет возможность самопроизвольного протекания металлургической реакции при постоянных температуре и давлении? А) $\Delta H < 0$; Б) $\Delta S > 0$; В) $\Delta G < 0$; Г) $\Delta G = 0$.
2. Для чего в металлургии используются диаграммы Эллингема (зависимость ΔG° образования оксидов от температуры)? А) Для определения скорости реакции восстановления; Б) Для выбора оптимального восстановителя и температурного интервала плавки; В) Для расчета вязкости шлака; Г) Для определения теплоты сгорания топлива.
3. Согласно правилу фаз Гиббса ($C = K - F + 2$), число степеней свободы (C) в эвтектической точке двойной системы равно: А) 0; Б) 1; В) 2; Г) 3.
4. Что такое эвтектика в системе металлургических шлаков? А) Смесь с максимальной температурой плавления; Б) Химическое соединение постоянного состава; В) Смесь фаз, плавящаяся при самой низкой температуре для данной системы; Г) Твердый раствор одного оксида в другом.
5. Лимитирующей стадией гетерогенного процесса обжига сульфидного концентрата в печи кипящего слоя чаще всего является: А) Химическая реакция на поверхности зерна; Б) Внешняя диффузия кислорода к поверхности; В) Внутренняя диффузия газа через слой продукта реакции (оксида); Г) Адсорбция продукта реакции.
6. Как влияет повышение температуры на константу скорости химической реакции согласно уравнению Аррениуса? А) Уменьшает экспоненциально; Б) Увеличивает экспоненциально; В) Не влияет; Г) Увеличивает линейно.
7. Уравнение Нернста используется для расчета: А) Равновесного электродного потенциала с учетом концентрации ионов в растворе; Б) Скорости электрохимической коррозии; В) Выхода по току при электролизе; Г) Толщины двойного электрического слоя.
8. Основность металлургического шлака определяется отношением: А) $\text{SiO}_2 / \text{CaO}$; Б) $\text{CaO} / \text{SiO}_2$; В) $\text{FeO} / \text{Cu}_2\text{S}$; Г) $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{MgO}$.
9. Явление перенапряжения при электролизе водных растворов приводит к тому, что: А) Реальный потенциал выделения газа сдвигается в сторону, облегчающую процесс; Б) Требуется приложить большее напряжение, чем расчетное равновесное; В) Выход по току достигает 100%; Г) Электролит перестает проводить ток.
10. Краевой угол смачивания (θ) минерала водой меньше 90° . Это означает, что минерал является: А) Гидрофобным (хорошо флотируется); Б) Гидрофильным (плохо флотируется); В) Амфотерным; Г) Нейтральным к реагентам.

5. Задания повышенного уровня сложности (Аналитический и эвристический уровень)

Блок А. Задания на установление соответствия

Задание 1. Установите соответствие между физико-химическим явлением и его практическим применением в цветной металлургии:

1. Экзо- и эндотермические эффекты реакций (Закон Гесса).
2. Зависимость растворимости от температуры (Фазовые диаграммы).
3. Электрохимическая поляризация и перенапряжение.
4. Адсорбция поверхностно-активных веществ (ПАВ).

А) Подбор состава коллекторов и пенообразователей для флотационного извлечения сульфидов. Б) Расчет теплового баланса автогенных процессов (плавка в жидкой ванне, процесс КИВЦЭТ). В) Управление составом электролита и плотностью тока для получения плотного, гладкого катодного осадка металла. Г) Кристаллизация и выделение солей при выпаривании растворов в гидрометаллургии.

Блок Б. Задания на установление правильной последовательности

Задание 2. Установите правильную последовательность стадий гетерогенной реакции восстановления оксида металла газом-восстановителем (CO) по модели «сжимающегося ядра»:

1. Химическая реакция на границе раздела фаз «оксид - металл».
2. Внешняя диффузия молекул CO через пограничный газовый слой к поверхности куска руды.
3. Десорбция молекул CO₂ с поверхности и их удаление в объем газа.
4. Внутренняя диффузия CO через пористый слой восстановленного металла к непрореагировавшему ядру оксида.

Блок В. Ситуационные задачи (Кейсы для металлургов)

Кейс 1. Термодинамика и выбор восстановителя На заводе по производству ферросплавов и цветных металлов инженерно-технический совет рассматривает вопрос замены части кокса (углерода) на природный газ (метан) или водород в процессе плавки в шахтных печах для снижения углеродного следа. *Вопросы:*

1. Как с позиций термодинамики (и диаграммы Эллингема) изменяется восстановительная способность углерода (CO) и водорода (H₂) при повышении температуры выше 800 °C? (Подсказка: учтите наклон линий $\Delta G^\circ = f(T)$ и энтропийный фактор).
2. Почему реакция Будуара ($C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$) является критически важной для газофазного восстановления в печах?
3. Каковы кинетические преимущества использования газообразных восстановителей перед твердым углеродом?

Кейс 2. Физико-химия шлаков и потери металла При плавке медно-никелевых концентратов в отражательной печи образуется шлак с высоким содержанием SiO₂ (более 50%). Технологи замечают, что при случайном падении температуры в печи шлак резко густеет (вязкость возрастает на порядок), что приводит к плохой седиментации капель штейна и высоким потерям меди со шлаком (более 1,5%). *Вопросы:*

1. Как с позиций ионной теории строения шлаков объяснить влияние высокого содержания SiO₂ на вязкость расплава (образование сложных силикатных анионов, полимеризация)?
2. Как изменится вязкость и температура ликвидуса шлака при введении флюса (CaCO₃, который переходит в CaO) для повышения основности шлака?
3. Как влияет окислительно-восстановительный потенциал (парциальное давление кислорода) на растворимость меди в шлаке в виде закиси (Cu₂O)?

6. Ключи и критерии оценивания

Ответы к тестовым заданиям (Базовый уровень, 1-10): 1-В; 2-Б; 3-А; 4-В; 5-В (или Б, в зависимости от режима, но для обжига часто внутренняя/внешняя диффузия); 6-Б; 7-А; 8-Б; 9-Б; 10-Б. (*Оценивание: 1 балл за каждый верный ответ*).

Ответы к заданиям на соответствие и последовательность:

- **Задание 1:** 1-Б, 2-Г, 3-В, 4-А. (*2 балла за полное соответствие, 1 балл за одну ошибку*).
- **Задание 2:** Правильная последовательность: 2, 4, 1, 3. (*2 балла за безупречную последовательность, 1 балл при сдвиге на один шаг*).

Критерии оценивания Ситуационных задач (Кейсов): Максимум — 15 баллов за каждый кейс.

- **12-15 баллов (Отлично):** Студент демонстрирует глубокое понимание термодинамики и физической химии расплавов. В Кейсе 1 верно объясняет, что наклон линии углерода на диаграмме Эллингема отрицательный (энтропия растет), поэтому при высоких T углерод вытесняет водород, но водород лучше кинетически. В Кейсе 2 верно описывает полимеризацию кремнекислородных тетраэдров [SiO₄] и роль CaO как деполимеризатора (разрушителя сетки), снижающего вязкость.

- **8-11 баллов (Хорошо):** Студент понимает суть проблемы, предлагает верные пути решения, но допускает неточности в терминологии (путает энтальпию и энтропию, не может точно сформулировать ионную теорию шлаков).
- **5-7 баллов (Удовлетворительно):** Понимание проблемы поверхностное. Решения носят общий характер («нужно нагреть печь», «добавить известь») без физико-химического обоснования.
- **0-4 баллов (Неудовлетворительно):** Неверное понимание сути кейса, отсутствие базовых знаний термодинамики и кинетики.