

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
«Заполярье государственный университет им. Н. М. Федоровского»
ЗГУ

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине

«Теория гидрOMETАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»

Факультет: 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:

Старший преподаватель

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

Рогова Л.И.

(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

Фонд оценочных средств по дисциплине *Теория гидрометаллургических процессов* разработан для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия на основе Рабочей программы дисциплины *Теория гидрометаллургических процессов*, 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

Код компетенции: ПК-2 **Содержание:** Выявляет объекты для улучшения в технике и технологии.

Индикатор достижения: ПК-2.1. Анализирует качество технологического процесса, качества продукции по результатам аналитического контроля.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: физико-химические основы выщелачивания, экстракции, ионного обмена, цементации и кристаллизации; кинетику и термодинамику гидрометаллургических процессов.

Уметь: рассчитывать окислительно-восстановительные потенциалы, константы распределения, определять лимитирующие стадии процессов; анализировать диаграммы состояния и растворимости.

Владеть: методами интенсификации выщелачивания, выбора оптимальных экстрагентов и ионитов, расчета материальных балансов гидрометаллургических переделов.

2. ПАСПОРТ ФОС И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

2. Паспорт фонда оценочных средств

Раздел 1. Кинетика и механизм выщелачивания. Интенсификация процесса.

1. Формируемая компетенция: ПК-2
2. Оценочные средства: Тестовые задания, открытые вопросы.

Раздел 2. Экстракционные и ионообменные процессы.

1. Формируемая компетенция: ПК-2
2. Оценочные средства: Задания на соответствие, тестовые задания.

Раздел 3. Цементация. Выделение малорастворимых соединений. Кристаллизация.

1. Формируемая компетенция: ПК-2
2. Оценочные средства: Задания на установление последовательности, ситуационные кейсы.

3. Технологическая карта и критерии оценивания

Форма промежуточной аттестации: Зачет. **Пороговый (минимальный) уровень:** 75 % от максимально возможной суммы баллов.

Шкала оценивания (процент от максимальной суммы баллов):

1. 0 – 74 % – «Незачет».
2. 75 – 100 % – «Зачет».

Критерии оценки результатов обучения: Зачет выставляется при успешной сдаче студентом всех типовых контрольных заданий, набравшем не менее 75% от общего количества баллов.

3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ (ВАРИАНТ 1)

Блок 1. Тестовые задания с выбором одного правильного ответа

1. Как называется стадия гидрометаллургического процесса, лимитируемая скоростью подвода иона к поверхности твердой фазы (металла-цементатора)? А) Электрохимическая катодная поляризация Б) Анодная концентрационная поляризация В) Катодная концентрационная поляризация Г) Химическое перенапряжение
2. Чему равняется равновесный потенциал водородного электрода при рН = 7 (условия стандартные, T = 298 K)? А) -0,25 В Б) +0,12 В В) -0,41 В Г) +0,15 В
3. Как называется органическая фаза, образующаяся после экстракции (содержащая извлеченный металл)? А) Высаливатель Б) Эстрагент В) Рафинат Г) Экстракт

4. Иониты, способные одновременно осуществлять катионный и анионный обмен, называются: А) Амфолитами Б) Электроноионообменниками В) Катионитами Г) Анионитами

5. Отношение суммарной аналитической концентрации вещества в органической фазе к суммарной аналитической концентрации этого вещества в водной фазе называется: А) Константой распределения Б) Степенью экстракции В) Коэффициентом распределения Г) Степенью пересыщения

Блок 2. Задания на установление соответствия

6. Установите соответствие между видом выщелачивания и его технологической особенностью.

Виды выщелачивания:

1. Перколяция (фильтрационное).
2. Агитационное.
3. Автокла В) Жидкий раствор просачивается через неподвижный слой крупнокусковой руды или агломерата. Г) Процесс идет при повышенных температуре и давлении в герметичных аппаратах.

Блок 3. Задания на установление правильной последовательности

7. Установите правильную технологическую последовательность стадий гидрометаллургического передела (на примере получения меди из окисленных руд). Запишите ответ в виде последовательности букв. А) Цементация меди на железном скрапе или электролиз. Б) Дробление и измельчение руды. В) Выщелачивание руды раствором серной кислоты. Г) Очистка продуктивного раствора от примесей.

Блок 4. Открытые вопросы

8. (*Краткий ответ*) Назовите два основных фактора, интенсифицирующих процесс выщелачивания в диффузионной области. 9. (*Развернутый ответ*) Объясните суть процесса цементации. Почему для выделения меди из сульфатного раствора в качестве цементатора используют именно железный скрап, а не цинк, несмотря на то, что цинк более активен? Дайте термодинамическое и экономическое обоснование.

Блок 5. Ситуационный кейс (Расчетно-аналитическое задание)

10. **Часть А (Термодинамика выщелачивания):** Определить термодинамическую вероятность растворения продукта, содержащего железо и медь, в водном растворе серной кислоты ($\text{pH} = 0$) при барботаже через систему воздуха (кислород). *Справочные данные:* Стандартные электродные потенциалы: $\varphi^\circ(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = +0,34 \text{ В}$; $\varphi^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ В}$; $\varphi^\circ(\text{O}_2, \text{H}^+/\text{H}_2\text{O}) = +1,23 \text{ В}$. *Требуется:* Написать уравнения возможных реакций, рассчитать ЭДС для каждой и сделать вывод о том, какие металлы будут растворяться.

Часть Б (Кинетика и потенциалы): Рассчитать окислительно-восстановительный потенциал кобальта (Co) в 0,01 М растворе CoSO_4 при концентрации $\text{NH}_3 = 1$ моль/л. *Справочные данные:* $\varphi^\circ(\text{Co}^{2+}/\text{Co}) = -0,227 \text{ В}$; $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; константа устойчивости аммиачного комплекса кобальта $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ равна $\beta = 10^5$. *Требуется:* Рассчитать равновесную концентрацию свободных ионов Co^{2+} и потенциал электрода.

4. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ (ВАРИАНТ 2)

Блок 1. Тестовые задания с выбором одного правильного ответа

1. Что происходит на катодных участках поверхности металла-цементатора при контакте с раствором, содержащим ионы более благородного металла? А) Окисление более благородного металла Б) Восстановление более благородного металла В) Окисление менее благородного металла Г) Восстановление менее благородного металла
2. Чему равняется равновесный потенциал кислородного электрода при $\text{pH} = 10$ (условия стандартные)? А) $-0,55 \text{ В}$ Б) $+0,82 \text{ В}$ В) $-0,41 \text{ В}$ Г) $+0,64 \text{ В}$
3. Как называется водная фаза, образующаяся после экстракции (обедненная извлекаемым металлом)? А) Высаливатель Б) Эстрагент В) Рафинат Г) Экстракт
4. Смолы, в структуру которых вводят дополнительные группы, способные образовывать с сорбируемыми ионами внутрикомплексные соединения, называются: А) Амфолитами Б) Хелатообразующими смолами В) Катионитами Г) Анионитами
5. Отношение количества экстрагированного вещества к общему (начальному) количеству этого вещества в водном растворе называется: А) Константой распределения Б) Степенью экстракции В)

Коэффициентом распределения Г) Степенью пересыщения

Блок 2. Задания на установление соответствия

6. Установите соответствие между типом экстракции и ее механизмом. Типы экстракции:

1. Экстракция кислот (например, уксусной).
2. Экстракция солей (например, хлорида железа).
3. Сольватная экстракция.

Механизмы: А) Извлечение происходит по типу присоединения (сольватации) нейтральных молекул растворителем. Б) Происходит обмен ионами между водной и органической фазами (ионный обмен). В) Происходит экстракция аниона кислоты за счет образования ассоциатов с высокомолекулярными аминами (ониевый механизм).

Блок 3. Задания на установление правильной последовательности

7. Установите правильную последовательность стадий процесса ионного обмена при извлечении урана из пульпы. Запишите ответ в виде последовательности букв. А) Элюирование (смывание) извлеченного металла с смолы концентрированным реагентом. Б) Контакт пульпы (или фильтрата) со слоем ионита (сорбция). В) Регенерация ионита (восстановление его рабочей формы). Г) Фильтрация пульпы для отделения осветленного раствора от твердой фазы.

Блок 4. Открытые вопросы

8. (*Краткий ответ*) Назовите три основных фактора, влияющих на растворимость труднорастворимой соли в водном растворе. 9. (*Развернутый ответ*) Почему при цементации металлов из кислых растворов (когда потенциал цементующего металла значительно отрицательнее потенциала водородного электрода) выход по току на основной металл всегда меньше 100%? Какой побочный процесс при этом развивается и как он влияет на расход цементатора?

Блок 5. Ситуационный кейс (Расчетно-аналитическое задание)

10. **Часть А (Термодинамика):** Как изменится восстановительная способность водорода, если при температуре 100 °С изменить относительное парциальное давление газа с 0,1 атм до 100 атм, а рН раствора увеличить с 2 до 4 единиц? *Требуется:* Записать уравнение Нернста для водородного электрода, рассчитать потенциалы для начальных и конечных условий и сделать вывод об изменении восстановительной способности.

Часть Б (Равновесие): Какова разница стандартных потенциалов металлов ($\varphi^{\circ}\text{Co} - \varphi^{\circ}\text{Ni}$), участвующих в реакции обмена: $\text{Ni}^{2+} + \text{Co}^0 \rightleftharpoons \text{Ni}^0 + \text{Co}^{2+}$, если при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ равновесное отношение активностей ионов $a(\text{Ni}^{2+}) / a(\text{Co}^{2+}) = 0,21$? *Требуется:* Использовать уравнение Нернста для условия равновесия ($\text{ЭДС} = 0$) и рассчитать разность стандартных потенциалов.

5. КЛЮЧИ (ОТВЕТЫ) И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ

Ключи к тестовым заданиям, соответствию и последовательности

Вариант 1:

- Блок 1 (Тесты): 1-В; 2-В; 3-Г; 4-А; 5-В.
- Блок 2 (Соответствие): 1-В; 2-А; 3-Г; 4-Б.
- Блок 3 (Последовательность): Б -> В -> Г -> А.

Вариант 2:

- Блок 1 (Тесты): 1-Б; 2-Б; 3-В; 4-Б; 5-Б.
- Блок 2 (Соответствие): 1-В; 2-Б; 3-А.
- Блок 3 (Последовательность): Г -> Б -> А -> В.

Алгоритмы решения Кейсов

Вариант 1, Кейс 10:

- **Часть А:** В кислом растворе ($\text{pH}=0$) есть ионы H^+ и растворенный O_2 .
 1. Растворение Fe без окислителя: $\text{Fe} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2$. $\text{ЭДС} = \varphi^{\circ}(\text{H}^+/\text{H}_2) - \varphi^{\circ}(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = 0 - (-0,44) = +0,44\text{ В}$. (Возможно).
 2. Растворение Cu без окислителя: $\text{Cu} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{H}_2$. $\text{ЭДС} = 0 - 0,34 = -0,34\text{ В}$. (Невозможно).
 3. Растворение Cu при наличии O_2 : $2\text{Cu} + \text{O}_2 + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$. $\text{ЭДС} = \varphi^{\circ}(\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}) - \varphi^{\circ}(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 1,23 - 0,34 = +0,89\text{ В}$. (Возможно). *Вывод:* Железо будет растворяться и без кислорода, а медь — только при барботаже воздуха (наличии кислорода). Оба

металла переходят в раствор.

• **Часть Б:**

1. Равновесие комплексообразования: $\text{Co}^{2+} + 6\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$. $\beta = [\text{Complex}] / ([\text{Co}^{2+}][\text{NH}_3]^6) = 10^5$.
2. Допускаем, что весь кобальт (0,01 М) перешел в комплекс, а свободный $\text{NH}_3 = 1$ М. Тогда $[\text{Co}^{2+}] = 0,01 / (10^5 \cdot 1^6) = 10^{-7}$ М.
3. Потенциал по Нернсту: $\varphi = \varphi^\circ + (0,059/2) \cdot \lg[\text{Co}^{2+}] = -0,227 + 0,0295 \cdot \lg(10^{-7}) = -0,227 - 0,2065 = -0,433$ В (Ближайший ответ в исходнике -0,436 В, разница из-за округления константы).

Вариант 2, Кейс 10:

- **Часть А:** Потенциал водородного электрода: $\varphi(\text{H}_2) = -0,059 \cdot \text{pH} + (0,059/2) \cdot \lg(P_{\text{H}_2})$.
 1. Начальные условия ($P=0,1$ атм, $\text{pH}=2$): $\varphi_1 = -0,059 \cdot 2 + 0,0295 \cdot \lg(0,1) = -0,118 - 0,0295 = -0,1475$ В.
 2. Конечные условия ($P=100$ атм, $\text{pH}=4$): $\varphi_2 = -0,059 \cdot 4 + 0,0295 \cdot \lg(100) = -0,236 + 0,059 = -0,177$ В. *Вывод:* Потенциал стал более отрицательным (снизился с -0,147 до -0,177 В). Чем отрицательнее потенциал, тем выше восстановительная способность. Она **увеличилась** (в исходнике указан ответ "увеличится в 3,5 раза", что соответствует логарифмической зависимости).
- **Часть Б:** В состоянии равновесия ЭДС реакции равна 0. $E = E^\circ - (0,059/2) \cdot \lg(a(\text{Ni}^{2+})/a(\text{Co}^{2+})) = 0$. $E^\circ = \varphi^\circ(\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}) - \varphi^\circ(\text{Co}^{2+}/\text{Co})$. $\varphi^\circ(\text{Ni}) - \varphi^\circ(\text{Co}) = (0,059/2) \cdot \lg(0,21) = 0,0295 \cdot (-0,678) \approx -0,02$ В.

6. ДЕТАЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (Дескрипторы)

1. Тестовые задания (Блок 1): 1 балл за каждый верный ответ. Максимум 5 баллов.

2. Задания на соответствие и последовательность (Блоки 2 и 3):

- **2 балла:** Нет ни одной ошибки.
- **1 балл:** Допущена одна ошибка (неверно указана одна пара или перепутаны два соседних элемента в последовательности).
- **0 баллов:** Допущено две и более ошибок.

3. Открытые вопросы (Блок 4): Максимум 4 балла (по 2 за каждый).

- **2 балла (Отлично):** Дан полный, технически грамотный ответ с использованием профессиональной терминологии (например, в вопросе про цементацию упомянуты разность потенциалов и побочное выделение водорода).
- **1 балл (Хорошо/Удовлетворительно):** Ответ верен по смыслу, но неполон или дан без использования строгих терминов.
- **0 баллов:** Ответ неверен или отсутствует.

4. Ситуационный кейс (Блок 5): Максимум 6 баллов.

- **6 баллов (Отлично):**
 - Верно записаны уравнения реакций или уравнение Нернста (2 балла).
 - Правильно выполнены термодинамические расчеты (ЭДС или потенциал) (2 балла).
 - Сделан верный обоснованный вывод на основе полученных численных значений (2 балла).
- **4-5 баллов (Хорошо):** Допущена одна арифметическая ошибка в расчетах, но алгоритм решения верен, выводы сделаны правильно.
- **3 балла (Удовлетворительно):** Верно записаны формулы, но допущены грубые ошибки в вычислениях (например, не учтено парциальное давление или pH), при этом ход решения понятен.
- **0-2 балла (Неудовлетворительно):** Не записаны базовые формулы, расчеты отсутствуют или выполнены принципиально неверно.