

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 10:51:27
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

«Производство никеля и кобальта»

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)

Каверзин А.В.

(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 *Производство никеля и кобальта* разработан 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 *Производство никеля и кобальта*, 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-1 **Содержание:** Способствует осуществлению и корректировке технологических процессов в металлургии. **Индикаторы достижения:**

1. ПК-1.1. Применяет знания основных закономерностей протекания металлургических процессов для повышения эффективности производства цветных металлов.
2. ПК-1.2. Использует основные принципы разработки технических решений и технологий в области металлургии.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен: **Знать:** минералогию никель-кобальтовых руд; физико-химические основы плавки, конвертирования и рафинирования медно-никелевых штейнов; теорию пирометаллургических и гидрометаллургических процессов извлечения кобальта. **Уметь:** рассчитывать материальные и тепловые балансы плавильных и конвертерных процессов; определять термодинамическую вероятность протекания металлургических реакций; анализировать технологические схемы переработки сульфидных концентратов. **Владеть:** методами контроля качества фэйнштейна, шлаков и электролитов; навыками расчета основных технологических параметров агрегатов (ПВП, печей Ванюкова, конвертеров).

2. ПАСПОРТ ФОС И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

2. Паспорт фонда оценочных средств

Раздел 1. Классификация сырья и подготовка к плавке.

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

Раздел 2. Пирометаллургия никеля и кобальта (плавка, конвертирование).

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

Раздел 3. Электролитическое рафинирование и гидрометаллургия кобальта.

1. Формируемая компетенция: ПК-1
2. Оценочные средства: Тестовые задания, 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. Какая массовая доля меди в анодах Медного завода (МЗ)? А) 90,3 % Б) 99,9 % В) 99,3 % Г) 98,3 %
2. К агрегатам с факельной плавкой относится: А) Печь взвешенной плавки (ПВП) Б)

Обеднительная электропечь В) Печь Ванюкова Г) Рудно-термическая печь

3. Какой из приведенных процессов не относится к автогенным? А) Норада Б) Мицубиси В)

Отражательная плавка Г) Конвертирование

4. При конвертировании медно-никелевого штейна получают: А) Файнштейн Б) Черновую медь В) Анодную медь Г) Отвальный шлак

5. Какая из приведенных реакций является реакцией сульфидирования цветных металлов? А) $MeS + CaO + C \leftrightarrow Me + CaS + CO_2$ Б) $CuFeS_2 = Cu_2S + 2FeS + 1/2 S_2$ В) $Cu_2O + FeS = Cu_2S + FeO$ Г) $Cu_2O + CO = 2Cu + CO_2$

Блок 2. Задания на установление соответствия

6. Установите соответствие между минералом и его химической формулой. Минералы:

1. Халькопирит
2. Пентландит
3. Ковеллин
4. Миллерит

Формулы: А) CuS Б) $(Ni,Fe)_9S_8$ В) $CuFeS_2$ Г) NiS

Блок 3. Задания на установление правильной последовательности

7. Установите правильную технологическую последовательность переделов при переработке сульфидного медно-никелевого концентрата на Медном заводе. Запишите ответ в виде последовательности букв. А) Конвертирование штейна с получением файнштейна. Б)

Флотационное обогащение руды с получением сульфидного концентрата. В) Плавка концентрата на штейн в печи взвешенной плавки (ПВП). Г) Обезмеживание файнштейна или его гидрметаллургическая переработка.

Блок 4. Открытые вопросы

8. (Краткий ответ) Что такое «файнштейн» (белый матт) и каково его основное химическое соединение? 9. (Развернутый ответ) Для чего в медный электролит при электролитическом рафинировании добавляют серную кислоту и тиомочевину? Какую роль играет каждая из этих добавок?

Блок 5. Ситуационный кейс (Расчетно-аналитическое задание)

10. Часть А (Термодинамика): Определить, какое количество теплоты выделится при ошлаковании 50 кг сульфида железа (FeS) при $25^\circ C$ и атмосферном давлении по реакции: $2FeS(к) + 3O_2(г) + SiO_2(к) = (FeO)_2 \cdot SiO_2(к) + 2SO_2(г)$ Справочные данные (энтальпии образования $\Delta_f H^\circ_{298}$, кДж/моль): $FeS(к) = -100,42$; $SiO_2(к) = -910,94$; $SO_2(г) = -296,90$; $(FeO)_2 \cdot SiO_2(к) = -1447,66$. Требуется: Рассчитать тепловой эффект реакции и найти количество теплоты, выделившееся при ошлаковании 50 кг FeS (ответ дать в МДж).

Часть Б (Физическая теплота): Рассчитать физическую теплоту шихты при $25^\circ C$ (относительно $0^\circ C$), если масса шихты составляет 113,02 кг, а удельная теплоемкость $0,82$ кДж/(кг·К).

4. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ (ВАРИАНТ 2)

Блок 1. Тестовые задания с выбором одного правильного ответа

1. Какая массовая доля никеля в анодах Медного завода (МЗ)? А) 4,8–5,6 % Б) 0,48–0,56 % В) 0,048–0,056 % Г) 0,11–0,15 %

2. В какой печи производят плавку на штейн на Надеждинском металлургическом заводе (НМЗ)? А) В отражательной печи Б) В рудно-термической печи В) В печи взвешенной плавки (ПВП) Г) В печи Ванюкова

3. Для чего в медный электролит добавляют тиомочевину? А) Для уменьшения дендритообразования Б) Для подавления питтингообразования В) Для повышения электропроводности электролита Г) Для исключения загирачивания катода

4. В какой печи нельзя перерабатывать кусковой материал? А) В печи взвешенной плавки Б) В обеднительной электропечи В) В печи Ванюкова Г) В рудно-термической печи

5. Пирротинный концентрат является: А) Коллективным концентратом Б) Отвальными хвостами В) Промпродуктом Г) Селективным концентратом

Блок 2. Задания на установление соответствия

6. Установите соответствие между свойством шлака и изменением этого свойства при увеличении содержания указанного оксида. Оксиды и свойства:

1. Рост содержания SiO₂
2. Рост содержания FeO
3. Рост содержания CaO

Изменения свойств: А) Улучшает плавкость (снижает температуру плавления), но может повышать вязкость. Б) Ухудшает межфазное натяжение на границе раздела шлак-штейн, увеличивая потери металла. В) Улучшает растворимость штейна в шлаке (повышает вязкость).

Блок 3. Задания на установление правильной последовательности

7. Установите правильную последовательность стадий образования шлака при плавке сульфидных концентратов. Запишите ответ в виде последовательности букв. А) Взаимодействие FeO с кислым флюсом (SiO₂) с образованием жидкого силиката. Б) Окисление сульфидов железа (FeS) с образованием окиси железа (FeO). В) Расслоение расплава на два жидких слоя: шлак (сверху) и штейн (снизу). Г) Диссоциация высших сульфидов (например, CuFeS₂) с выделением серы.

Блок 4. Открытые вопросы

8. (Краткий ответ) Как расшифровывается аббревиатура ХКЦ в структуре металлургического предприятия? 9. (Развернутый ответ) Какой компонент из перечисленных (Se, Ni, As, Sb) не входит в состав слюдок, образующихся при огневом рафинировании черновой меди, и почему? (Обоснуйте с точки зрения сродства к кислороду).

Блок 5. Ситуационный кейс (Расчетно-аналитическое задание)

10. Часть А (Материальный баланс): Рассчитать массу медно-никелевого штейна, образующегося при плавке шихты в ПВП, содержащей Cu – 4,11 т, Ni – 8,09 т. Условие: Извлечение в штейн Cu – 97 %, Ni – 95 %. Суммарное содержание меди и никеля в штейне составляет 38 %. Требуется: Рассчитать массу полученного штейна (в тоннах).

Часть Б (Термодинамика): Определить, какое количество теплоты выделится при получении 390 кг металлического железа при 25 °С и атмосферном давлении по реакции: FeO(к) + CO(г) = Fe(к) + CO₂(г) Справочные данные (энтальпии образования ΔfH°298, кДж/моль): FeO(к) = -264,85; CO(г) = -110,53; CO₂(г) = -393,51. Требуется: Рассчитать тепловой эффект реакции и найти количество теплоты (ответ дать в МДж).

5. КЛЮЧИ (ОТВЕТЫ) И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ

Ключи к тестовым заданиям, соответствию и последовательности

Вариант 1:

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

Вариант 2:

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

Алгоритмы решения Кейсов

Вариант 1, Кейс 10:

- **Часть А (Термодинамика):**

1. Рассчитываем тепловой эффект реакции (ΔH_{реакции}) по закону Гесса: ΔH = ΣΔH(продукты) - ΣΔH(реагенты) ΔH = [(-1447,66) + 2·(-296,90)] - [2·(-100,42) + (-910,94) + 0] ΔH = [-2041,46] - [-1111,78] = **-929,68 кДж/моль** (реакция экзотермическая, на 2 моля FeS).
2. Находим количество вещества (моли) в 50 кг FeS. Молярная масса FeS = 56 + 32 = 88 г/моль (точнее 87,9). n(FeS) = 50000 г / 87,9 г/моль ≈ 568,83 моль.
3. Так как в уравнении реакции участвуют 2 моля FeS, теплота выделится: Q = (568,83 / 2) · 929,68 = 264 421 кДж ≈ **264 МДж**.

- **Часть Б (Физическая теплота):** Физическая теплота рассчитывается по формуле Q = m · c · ΔT. Так как температура шихты 25 °С, а стандартные условия (начало отсчета) 0 °С, ΔT = 25 К. Q = 113,02 кг · 0,82 кДж/(кг·К) · 25 К = **2316,9 кДж** (≈ 2317 кДж).

Вариант 2, Кейс 10:

- **Часть А (Материальный баланс):**

1. Находим массу меди и никеля, перешедших в штейн: $m(\text{Cu})_{\text{штейн}} = 4,11 \text{ т} \cdot 0,97 = 3,9867 \text{ т}$. $m(\text{Ni})_{\text{штейн}} = 8,09 \text{ т} \cdot 0,95 = 7,6855 \text{ т}$.
 2. Общая масса цветных металлов в штейне: $m(\text{Me}) = 3,9867 + 7,6855 = 11,6722 \text{ т}$.
 3. Зная, что это составляет 38 % от общей массы штейна, находим массу штейна: $m_{\text{штейна}} = 11,6722 / 0,38 = \mathbf{30,716 \text{ т}} (\approx 30,71 \text{ т})$.
- **Часть Б (Термодинамика):**
 1. Рассчитываем тепловой эффект реакции $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$: $\Delta H = [0 + (-393,51)] - [(-264,85) + (-110,53)] = -393,51 - (-375,38) = \mathbf{-18,13 \text{ кДж/моль}}$.
 2. Находим количество вещества железа. Молярная масса $\text{Fe} = 56 \text{ г/моль}$. $n(\text{Fe}) = 390000 \text{ г} / 56 \text{ г/моль} \approx 6964,3 \text{ моль}$.
 3. Выделившаяся теплота: $Q = 6964,3 \text{ моль} \cdot 18,13 \text{ кДж/моль} = 126\,262 \text{ кДж} \approx \mathbf{126 \text{ МДж}}$.

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 слюдки верно указано, что никель не окисляется, так как имеет меньшее сродство к кислороду по сравнению с медью, мышьяком и сурьмой).
- **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 записано уравнение теплового эффекта или материального баланса (2 балла).
 - Правильно выполнены термодинамические/материальные расчеты с учетом молярных масс и стехиометрии (2 балла).
 - Получен верный численный ответ с правильными единицами измерения (кДж, МДж, тонны) (2 балла).
- **4-5 баллов (Хорошо):** Допущена одна арифметическая ошибка в расчетах (например, неверно переведены кДж в МДж), но алгоритм решения верен.
- **3 балла (Удовлетворительно):** Верно записаны формулы (закон Гесса, закон Фарадея/баланса), но допущены грубые ошибки в вычислениях (не учтены коэффициенты в уравнении реакции).
- **0-2 балла (Неудовлетворительно):** Не записаны базовые формулы, расчеты отсутствуют или выполнены принципиально неверно.