

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

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

«Пирометаллургические процессы»

Факультет: Горно-технологический (ГТФ)

Направление подготовки: 22.04.02 «Металлургия»

Направленность (профиль): Металлургия цветных металлов

Уровень образования: магистратура

Кафедра «Металлургии, машин и оборудования»
наименование кафедры

Разработчик ФОС:

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 *Пирометаллургические процессы* для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.04.02 Metallurgy на основе Рабочей программы дисциплины *Пирометаллургические процессы*, 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, соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы

Компетенции и индикаторы их достижения

Универсальные компетенции

УК-6. Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки

- УК-6.1. (Знать) Методы самооценки и анализа профессиональной деятельности в условиях современного металлургического производства.
- УК-6.2. (Уметь) Определять приоритеты собственной деятельности, личностного развития и профессионального роста в условиях трудовой деятельности на производстве.
- УК-6.3. (Владеть) Навыками планирования и корректировки профессионального развития на основе критического анализа результатов своей работы.

Общепрофессиональные компетенции

ОПК-2. Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии

- ОПК-2.1. (Знать) Требования к производственной и технологической документации, правила оформления научно-технических отчетов и расчетов материальных и тепловых балансов.
- ОПК-2.2. (Уметь) Анализировать технологический процесс на основе производственной документации, выявлять узкие места и предлагать пути оптимизации пирометаллургических переделов.
- ОПК-2.3. (Владеть) Методикой расчета материальных балансов пирометаллургических процессов (электроплавка, автогенная плавка, конвертирование) и навыками оформления результатов в виде технических отчетов.

2. Паспорт фонда оценочных средств

Тема 1. Технологии производства цветных металлов на предприятиях Заполярного филиала (ЗФ)

- Формируемая компетенция: УК-6, ОПК-2
- Наименование оценочного средства: Собеседование по контрольным вопросам

- Форма оценивания: Устно
- Тема 2. Электроплавка и автогенная плавка
- Формируемая компетенция: УК-6, ОПК-2
 - Наименование оценочного средства: Тестовые задания, расчет материального баланса (практическая работа)
 - Форма оценивания: Письменно
- Тема 3. Взвешенная плавка и конвертирование
- Формируемая компетенция: УК-6, ОПК-2
 - Наименование оценочного средства: Тестовые задания, расчет материального баланса
 - Форма оценивания: Письменно
- Тема 4. Обеднение шлаков, разделение фэйнштейна, обжиг и анодная плавка
- Формируемая компетенция: УК-6, ОПК-2
 - Наименование оценочного средства: Тестовые задания
 - Форма оценивания: Письменно
3. Перечень контрольно-оценочных средств (КОС)
- Перечень и шкалы оценивания
1. Текущий контроль качества
- Собеседование по темам: Шкала оценивания — «Достигнут / не достигнут пороговый уровень». Критерии: полнота раскрытия темы, владение профессиональной терминологией.
 - Решение практических задач (расчет материального баланса): Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: правильность составления уравнений реакций, корректность расчетов, оформление отчета.
2. Промежуточная аттестация (Экзамен)
- Итоговое собеседование и тестирование: Шкала оценивания — 4-балльная (от 2 до 5).
 - Критерии выставления оценки:
 - «Отлично» (5): 85–100% от максимально возможной суммы баллов. Глубокое понимание физико-химических основ пирометаллургии, безупречное выполнение расчетных заданий, умение анализировать технологические схемы.
 - «Хорошо» (4): 75–84% баллов. Полное знание материала с незначительными неточностями в трактовке химических реакций или расчетах.
 - «Удовлетворительно» (3): 65–74% баллов. Знание основного материала, допущение ошибок в сложных расчетных или аналитических вопросах, требующих помощи преподавателя.
 - «Неудовлетворительно» (2): 0–64% баллов. Незнание базовых понятий пирометаллургии, принципиальные ошибки в понимании технологических процессов и расчетах.
4. Типовые контрольные задания и материалы для оценки знаний, умений, навыков
- 4.1 Задания для текущего контроля успеваемости

Вопросы для собеседования (Тема: Технологии производства цветных металлов на предприятиях ЗФ)

1. Какой вид обжига концентрата применяется на Никелевом заводе? В чем его сущность? Сырье и продукты обжига.
2. Принцип работы рудно-термической печи (РТП). Для каких целей она используется на Никелевом заводе? Сырье и продукты плавки.
3. Для каких целей используют конвертирование на Никелевом заводе? Какое оборудование используется? Сырье и продукты плавки.
4. Чем отличается процесс обжига концентрата на агломашинах, печах кипящего слоя (КС) и трубчатых печах?
5. Назначение анодной плавки, в каких агрегатах она производится?
6. Какое сырье перерабатывается на медном заводе и на каком оборудовании?
7. Принцип работы печи взвешенной плавки (ПВП), конструкция, сырье и продукты плавки.
8. Что общего и в чем отличия процесса конвертирования медных и никелевых штейнов?
9. Что общего и в чем отличия производства медных и никелевых анодов?
10. Привести схему переработки сырья на Никелевом заводе (НЗ) и Медном заводе (МЗ).

Практическая работа (Расчет материального баланса) *Задание:* Рассчитать материальный баланс плавки на штейн медно-никелевого агломерата и богатой руды в рудно-термической печи (РТП). *Исходные данные для расчета:* На плавку направляется шихта, содержащая 90% агломерата, 20% богатой медно-никелевой руды, 35% конвертерного шлака. Десульфуризация 9%. Безвозвратные потери 0,4%. Коэффициент извлечения цветных металлов в штейн: никеля – 97%, меди – 95%, кобальта – 81%. Содержание в штейне: $\Sigma(\text{Ni} + \text{Cu})$ – 22%; серы – 25%; железа металлического – 11%; прочие – 1,95%. Плавка ведется на шлак с содержанием 39% кремнезема (SiO_2). Все железо в шлаке содержится в виде FeO . Для корректировки состава шлака используется флюсовый песчаник. Содержание угля в шихте 5% от массы шихты. Расход электродной массы составляет 0,2 кг на 100 кг сухого агломерата. *Требования к отчету:* Составление приходной и расходной статей баланса, проверка сходимости баланса (допуск $\pm 2\%$), выводы по результатам расчета.

4.2 Задания для промежуточной аттестации (Экзамен)

Спецификация комплекта оценочных материалов

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

Тестовые задания

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

1. По способу преобразования электроэнергии в тепловую рудно-термическая электропечь относится к: а) Печам сопротивления б) Печам смешанного действия в) Дуговым электропечами г) Индукционным печам
2. Какая реакция НЕ протекает при штейнообразовании в РТП: а) $\text{Cu}_2\text{O} + \text{FeS} = \text{Cu}_2\text{S} + \text{FeO}$ б) $\text{MeSO}_4 = \text{MeO} + \text{SO}_3$ в) $3\text{NiO} + 3\text{FeS} = \text{Ni}_3\text{S}_2 + 3\text{FeO} + 1/2 \text{S}_2$ г) $\text{CoO} + \text{FeS} = \text{CoS} + \text{FeO}$
3. Главная особенность процесса плавки в печи Ванюкова заключается в том, что: а) Нагрев шихты и диссоциация высших сульфидов начинается во время ее вертикального движения к поверхности расплава и завершается в барбатируемой области ванны б) Процесс требует предварительного тщательного высушивания шихты в) Плавка ведется исключительно на окислительный шлак г) Процесс не сопровождается выделением диоксида серы

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

4. Какие реакции протекают при шлакообразовании в РТП? (Выберите 2 верных варианта) а) $10\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeS} = 7\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{SO}_2$ б) $3\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{FeS} + \text{SiO}_2 = 5(\text{FeO})_2 \cdot \text{SiO}_2 + \text{SO}_2$ в) $\text{CuO} \cdot \text{FeO} + (\text{Cu}_2\text{S} + \text{FeS}) = 3\text{Cu} + \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{S}_2$ г) $2\text{FeO} + \text{SiO}_2 = 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$
5. Недостатками обжига концентратов в печи кипящего слоя являются: (Выберите 2 верных варианта) а) Низкий к.п.д. использования тепла б) Высокий пылевынос в) Низкая концентрация диоксида серы в отходящих газах г) Образование при обжиге большого количества комков
6. В первом периоде конвертирования медно-никелевого штейна в первую очередь протекают реакции: (Выберите 2 верных варианта) а) Окисления сульфида железа с образованием магнетита б) Образования вюстита в) Взаимодействия сульфида никеля с металлической медью г) Окисления никеля до образования закиси

Блок В. Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень)

7. Установите соответствие между пирометаллургическим процессом и его основной целью: А) Обеднительная электроплавка Б) Конвертирование штейна В) Анодная плавка
 1. Доизвлечение цветных металлов из конвертерных шлаков и снижение их потерь с отвальными шлаками.
 2. Получение черновой меди с заданным содержанием примесей для последующего огневого рафинирования.

3. Окисление железа и серы из штейна для получения чернового металла и обедненного шлака.
8. Установите соответствие между видом обжига и его основной задачей:
А) Окислительный обжиг Б) Агломерирующий обжиг В) Кальцинирующий обжиг
 1. Перевод сульфидов металлов в оксиды или сульфаты с удалением серы.
 2. Удаление серы и перевод порошкового материала в кусковой (агломерат) для улучшения газопроницаемости.
 3. Разложение карбонатов или гидратов с выделением летучих компонентов (CO_2 , H_2O).
9. Установите соответствие между примесью в черновой меди и способом ее удаления при огневом рафинировании: А) Железо, цинк, свинец Б) Сера, кислород В) Селен, теллур
 1. Окисление и перевод в шлак на стадии шлакования.
 2. Восстановительное рафинирование (продувка природным газом или аммиаком).
 3. Окисление и удаление в виде летучих соединений или перевод в анодный шлак.

Блок Г. Задания на установление последовательности (Экспертный уровень)

10. Установите правильную технологическую последовательность стадий переработки сульфидного медно-никелевого сырья в РТП: А) Разделение расплава на сульфидную (штейн) и оксидную (шлак) фазы Б) Загрузка шихты (агломерат, руда, флюсы) в печь В) Выпуск штейна и шлака из печи Г) Нагрев, диссоциация и окисление сульфидов в ванне печи
11. Установите логическую последовательность периодов конвертирования медного штейна: А) Продувка на получение черновой меди (удаление серы из сульфида меди) Б) Шлакование (окисление и удаление железа, части серы и других примесей) В) Нагрев и расплавление штейна в конвертере

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

12. Объясните, почему при плавке на силикатный шлак образуется расплав, близкий по составу к фаялиту ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), и как это влияет на вязкость и температуру плавления шлака в РТП.
13. Опишите механизм и кинетику окисления сульфидов в интенсивно барбатлируемой ванне печи Ванюкова. Что происходит с магнетитом в таких условиях и как это влияет на потери цветных металлов со шлаком?
14. При расчете материального баланса плавки принято, что десульфуризация составляет 9%, а безвозвратные потери – 0,4%. Объясните физический смысл этих параметров и как они учитываются в приходной и расходной частях баланса.
15. Проанализируйте причины нахождения цветных металлов в шлаках классических процессов (отражательная плавка, электроплавка).

Назовите не менее трех путей снижения этих потерь на стадии обеднения шлаков.

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 (Печи смешанного действия)
2. б ($\text{MeSO}_4 = \text{MeO} + \text{SO}_3$ – это реакция разложения сульфатов, а не штейнообразования)
3. а (Нагрев шихты и диссоциация... в барбативируемой области)

Блок Б (по 1 баллу за полный правильный набор, 0 баллов при любой ошибке)

4. б, г 5. б, в 6. а, г

Блок В (по 1 баллу за полное правильное соответствие)

7. А-1, Б-3, В-2 8. А-1, Б-2, В-3 9. А-1, Б-2, В-3

Блок Г (по 1 баллу за правильную последовательность)

10. Б → Г → А → В 11. В → Б → А

Ключ и критерии оценивания заданий открытого типа (Блок Д) *Оценивание: до 2 баллов за каждый корректно названный и раскрытый аспект (максимум 4 балла за вопрос).*

Вопрос 12 (Силикатный шлак и фаялит): Эталонные аспекты:

1. При плавке сульфидных руд железо окисляется до FeO, которое активно взаимодействует с кремнеземом (SiO_2) флюсов, образуя фаялит ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$).
2. Фаялит имеет относительно низкую температуру плавления (около 1200°C) и хорошую текучесть, что обеспечивает эффективное разделение фаз.
3. Однако избыток SiO_2 повышает вязкость шлака, поэтому необходимо строго контролировать соотношение FeO/ SiO_2 для поддержания оптимальных физико-химических свойств.

Вопрос 13 (Окисление в печи Ванюкова и магнетит): Эталонные аспекты:

1. Механизм: интенсивное барботирование обогащенным кислородом дутьем обеспечивает быстрое окисление сульфидов железа с выделением тепла, которое поддерживает автогенный режим.
2. Магнетит (Fe_3O_4) в интенсивно барбативируемой ванне частично восстанавливается до FeO и переходит в силикат, но при избытке кислорода или низких температурах может накапливаться.
3. Влияние на потери: Высокое содержание магнетита резко повышает вязкость шлака, что ухудшает седиментацию капель штейна и ведет к росту механических потерь цветных металлов со шлаком.

Вопрос 14 (Десульфуризация и безвозвратные потери в балансе): Эталонные аспекты:

1. Десульфуризация (9%) – это доля серы, удаляемая из шихты в виде газов (SO_2 , SO_3) в процессе плавки. Учитывается в расходной части баланса в статье «Газы».

2. Безвозвратные потери (0,4%) – это доля цветных металлов или других компонентов, безвозвратно теряемая с пылью, угарами или остатками в футеровке, не подлежащая улавливанию.
3. Учет: Эти параметры задаются как процент от общего прихода элемента в шихте и вычитаются из полезного извлечения в целевые продукты (штейн).

Вопрос 15 (Потери цветных металлов в шлаках и пути снижения): Эталонные аспекты:

1. Причины потерь: химические (растворимость сульфидов и оксидов цветных металлов в шлаке), механические (захват капель штейна вязким шлаком), наличие магнетита, повышающего вязкость.
2. Пути снижения 1: Обеднительная электроплавка шлаков с добавлением восстановителя (уголь) и сульфидизатора для восстановления оксидов и коагуляции капель штейна.
3. Пути снижения 2: Фьюмингование шлаков (продувка угольной пылью и воздухом) для восстановления и возгонки цинка, свинца и частично меди.
4. Пути снижения 3: Оптимизация температурного режима и состава шлака (модуль основности) для снижения его вязкости и улучшения седиментации.

Итоговый подсчет баллов и перевод в шкалу оценивания:

- Максимальный балл за экзамен: 3 (Блок А) + 3 (Блок Б) + 3 (Блок В) + 2 (Блок Г) + 16 (Блок Д) = 27 баллов.
- Перевод в 4-балльную шкалу (согласно критериям ЗГУ):
 - 23–27 баллов (85–100%) = «Отлично» (5)
 - 20–22 балла (75–84%) = «Хорошо» (4)
 - 18–19 баллов (65–74%) = «Удовлетворительно» (3)
 - Менее 18 баллов (<65%) = «Неудовлетворительно» (2)