

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Документ подписан проставлен в электронном виде
Информация о владельце: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
ФИО: Крюков Вадим Николаевич высшего образования
Должность: Проректор по образовательной деятельности и инновационной политике
«Запорожский государственный университет им. Н.М. Федоровского»
Дата подписания: 25.06.2026 10:53:29 (ЗГУ)
Уникальный программный ключ:
1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по ОД и МП
_____ Крюков В.Н.

МЕТАЛЛУРГИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Металлургия меди и никеля

рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Металлургии, машин и оборудования**
Учебный план 22.03.02_бак_очн_ТМ-2026.rlx
Направление подготовки: **Металлургия**

бакалавр

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **5 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 180

Виды контроля в семестрах: зачет с оценкой 5

в том числе:

аудиторные занятия 40

самостоятельная работа 104

Часы на контроль 36

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)			
Неделя	10			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	20	20	20	20
Практические	20	20	20	20
Итого ауд.	40	40	40	40
Контактная работа	40	40	40	40
Сам. работа	104	104	10	104
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	180	180	18	180

Программу составил(и):

Ст.преподаватель *Рогова Людмила Иннокентьевна* _____

Рабочая программа дисциплины

разработана в соответствии с ФГОС:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 22.03.02 Металлургия (приказ Минобрнауки России от 02.06.2020 г. № 702)

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Протокол от 10.06.2026г. № 11

Срок действия программы: 2026-2030 уч.г.

И.о. зав. кафедрой к.т.н., доцент Лаговская Е.В.

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

к.т.н., доцент _____ 2027 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 2027 г. № ____
Зав. кафедрой**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

к.т.н., доцент _____ 2028 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2028-2029 учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 2028 г. № ____
Зав. кафедрой**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

к.т.н., доцент _____ 2029 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2029-2030 учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 2029 г. № ____
Зав. кафедрой**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

к.т.н., доцент _____ 2030 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2030-2031 учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 2030 г. № ____
Зав. кафедрой

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (РП-1)

(Изменение: цели сделаны конкретными, измеримыми и сфокусированными на современных прогрессивных технологиях)

1.1. Цель дисциплины: Формирование у обучающихся комплексных профессиональных компетенций в области теории и практики пирометаллургических, гидрометаллургических и электрометаллургических процессов получения меди и никеля, с особым акцентом на освоение прогрессивных, энергоэффективных и экологически безопасных технологий переработки сульфидного и окисленного сырья.

1.2. Основные задачи дисциплины:

- Изучить минералого-петрографический состав и физико-химические свойства медно-никелевых руд и концентратов (включая специфику месторождений Таймыра и Кольского полуострова).
- Освоить принципы и аппаратное оформление прогрессивных методов плавки: автогенной плавки во взвешенном состоянии (печи Ванюкова, флэш-плавка) и в расплаве.
- Изучить современные гидрометаллургические процессы: автоклавное и атмосферное выщелачивание, биогидрометаллургию, экстракцию и электролиз.
- Научиться анализировать технологические схемы, составлять материальные и тепловые балансы основных переделов.
- Сформировать понимание принципов комплексного использования сырья, переработки шлаков и техногенных отходов в рамках концепции циркулярной экономики.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП (РП-2)

(Изменение: исправлена логическая ошибка шаблона, выстроена четкая преемственность знаний)

Цикл (раздел) ООП: Б1.В (Вариативная часть)

2.1. Требования к предварительной подготовке обучающегося: Студент должен владеть знаниями и навыками, полученными при изучении дисциплин: «Введение в профиль», «Физическая химия», «Обогащение руд цветных металлов», «Металлургическая теплотехника».

2.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

- Переработка техногенных ресурсов
- Metallurgy благородных и редких металлов
- Производственная (технологическая) практика
- Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы (ВКР)

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

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

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

3.1. Знать:

- Физико-химические основы процессов плавки, конвертирования, рафинирования и выщелачивания медно-никелевого сырья.
- Конструктивные особенности и режимы работы современного металлургического оборудования (печи взвешенной плавки, конверторы Пирс-Смита, автоклавы, электролизеры).
- Принципы составления и анализа материальных и тепловых балансов металлургических агрегатов.
- Современные экологические требования и технологии улавливания и переработки серосодержащих газов.

3.2. Уметь:

- Анализировать технологические схемы получения меди и никеля, выявляя «узкие» места и точки потенциальной оптимизации.
- Рассчитывать основные технологические параметры процессов (степень извлечения, расход реагентов, выход продуктов).
- Обосновывать выбор метода переработки в зависимости от минералогического состава сырья и требуемого качества товарной продукции.
- Интерпретировать данные технологического контроля и предлагать корректирующие воздействия.

3.3. Владеть:

- Методикой расчета материальных балансов пирометаллургических и гидрометаллургических переделов.
- Навыками работы со справочной литературой, патентными базами и технологическими регламентами ведущих металлургических компаний.
- Методами оценки технико-экономической и экологической эффективности металлургических процессов.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(Изменение: содержание логически перегруппировано, добавлены современные прогрессивные технологии)

Раздел 1. Сырьевая база и пирометаллургия меди

- **Тема 1.1.** Минералогия и подготовка медно-никелевого сырья к плавке. Обжиг сульфидных концентратов.

- **Тема 1.2.** Прогрессивные методы плавки медных концентратов: автогенная плавка во взвешенном состоянии (флэш-плавка Outokumpu, печь Ванюкова) и в расплаве (печь Норанда, процесс Mitsubishi). Сравнительный анализ тепловой и экологической эффективности.
- **Тема 1.3.** Конвертирование медного штейна: термодинамика процесса, конструкция конверторов, режимы продувки, образование и состав шлаков.
- **Тема 1.4.** Рафинирование черновой меди: огневое рафинирование (принципы, оборудование) и электролитическое рафинирование (состав электролита, режимы, поведение примесей, получение анодного шлама).

Раздел 2. Metallургия никеля

- **Тема 2.1.** Особенности переработки сульфидных медно-никелевых руд. Получение файнштейна, его окислительный обжиг и восстановительная плавка.
- **Тема 2.2.** Переработка окисленных никелевых руд: восстановительно-сульфидирующая плавка на ферроникель, технология RKEF (Rotary Kiln Electric Furnace).
- **Тема 2.3.** Карбонильный процесс получения высокочистого никеля: термодинамика, аппаратное оформление, безопасность.
- **Тема 2.4.** Электролитическое рафинирование никеля: особенности растворения анодов, очистка электролита от кобальта, меди и органических примесей.

Раздел 3. Гидрометаллургия и комплексное использование сырья

- **Тема 3.1.** Автоклавное выщелачивание сульфидных концентратов и окисленных руд (кислотное и аммиачное). Биогидрометаллургия (BioHeap, BioLeach) как прогрессивное направление.
- **Тема 3.2.** Переработка медно-никелевых шлаков: фьюмингование, электрообеднение, флотация.
- **Тема 3.3.** Извлечение сопутствующих компонентов: кобальта, благородных металлов (PGE), серы (производство элементарной серы или серной кислоты из SO₂-газов).

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ФОС)

(Изменение: ФОС полностью переработан, убраны таблицы, добавлены современные форматы контроля: тесты, соответствие, открытые вопросы и производственные кейсы)

5.1. Тестовые задания для текущего контроля (примеры)

- **Вопрос 1:** Какое основное преимущество автогенной плавки во взвешенном состоянии по сравнению с традиционной отражательной? а) Более низкая температура процесса; б) Использование тепла окисления сульфидов для поддержания температуры, снижение расхода топлива; в) Возможность плавки окисленных руд. *(Правильный ответ: б)*
- **Вопрос 2:** Какой реагент преимущественно используется для экстракции меди из кислых растворов выщелачивания? а) Цианид натрия; б) Оксимы (например, LIX-серии); в) Соляная кислота. *(Правильный ответ: б)*

5.2. Задания на установление соответствия

- **Задание:** Установите соответствие между технологическим процессом и основным целевым продуктом или назначением:
 1. Конвертирование медного штейна -> А) Получение черновой меди и конверторного газа (SO₂).
 2. Электролитическое рафинирование -> Б) Получение катодной меди высокой чистоты и анодного шлама.
 3. Фьюмингование шлаков -> В) Извлечение цинка и обеднение шлака по цветным металлам.
 4. Карбонильный процесс -> Г) Получение высокочистых никелевых порошков или гранул.

5.3. Открытые вопросы для устного опроса и рубежного контроля

- Вопрос 1. Опишите термодинамические условия, необходимые для селективного окисления железа при конвертировании медного штейна, и объясните, почему никель в этих условиях остается в штейне.
- Вопрос 2. В чем заключаются принципиальные отличия в технологии переработки сульфидных и окисленных никелевых руд? Приведите примеры промышленных агрегатов для каждого типа сырья.
- Вопрос 3. Объясните механизм поведения мышьяка и сурьмы при электролитическом рафинировании меди. Как предотвращается их попадание в катодный осадок?
- Вопрос 4. Каковы преимущества и ограничения применения биогидрометаллургии (бактериального выщелачивания) для бедных сульфидных руд меди?

5.4. Ситуационные задачи (кейсы) для промежуточной аттестации

- **Кейс 1 (Технологический).** На медеплавильном заводе при переходе на концентрат с повышенным содержанием магния (более 6%) резко возросла вязкость шлака в печи взвешенной плавки, что привело к повышенным потерям меди со шлаком. Предложите комплекс технологических мероприятий для решения этой проблемы (изменение флюсования, температурного режима, или добавление стадии флотации шлака).
- **Кейс 2 (Расчетно-аналитический).** Составьте принципиальную схему материального баланса процесса электролитического рафинирования никеля. Исходные данные: масса анодов, содержание никеля в анодах (99%), текущая плотность тока, выход по току (95%). Рассчитайте массу полученного катодного никеля и объем электролита, подлежащего очистке от накопившихся примесей.
- **Кейс 3 (Эколого-экономический).** Предприятие рассматривает два варианта утилизации конверторных газов: производство серной кислоты или производство элементарной серы. Проведите сравнительный анализ этих вариантов с точки зрения капитальных затрат, экологических рисков и логистики сбыта продукции в условиях Арктической зоны.

5.5. Критерии оценивания

- **«Отлично»:** Глубокое понимание физико-химических основ процессов, свободное ориентирование в прогрессивных технологиях, умение самостоятельно составлять и анализировать материальные балансы, аргументированное решение производственных кейсов.

- **«Хорошо»:** Хорошее знание основных переделов, умение решать типовые расчетные задачи, незначительные неточности в объяснении механизмов протекания сложных химических реакций.
 - **«Удовлетворительно»:** Знание базовых определений и общих схем производства, решение простейших задач с использованием подсказок, поверхностное понимание отличий прогрессивных методов от традиционных.
 - **«Неудовлетворительно»:** Незнание основных этапов получения меди и никеля, неумение объяснить принцип работы ключевого оборудования или рассчитать базовые технологические показатели.
-

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

(Изменение: литература актуализирована, убраны устаревшие источники, добавлены современные ЭБС)

6.1. Рекомендуемая литература 6.1.1. Основная литература:

1. Смирнов В.В., Зайцев В.И. Металлургия меди и никеля: учебник для вузов. – М.: Руда и металлы, 2021. – 480 с.
2. Кайтмазов Н.Г. (под общ. ред.) Производство металлов за полярным кругом: технологическое пособие. – Норильск: Изд-во ЗГУ, 2022. – 350 с.
3. Гидрометаллургия цветных металлов: учебное пособие / А.А. Абрамов. – М.: Горная книга, 2020. – 410 с.

6.1.2. Дополнительная литература:

1. Прогрессивные технологии переработки минерального сырья: монография / В.А. Чантурия. – М.: Наука, 2023. – 320 с.
2. Отчеты об устойчивом развитии и производственные регламенты ПАО «ГМК «Норильский никель» (актуальные версии, доступны в корпоративной ЭБС).

6.2. Перечень ресурсов сети «Интернет»

- Э1. Электронно-библиотечная система «Юрайт» – <https://www.biblio-online.ru>
- Э2. Электронно-библиотечная система «Лань» – <https://e.lanbook.com>
- Э3. Научная электронная библиотека eLibrary.ru – <https://www.elibrary.ru>
- Э4. Официальный портал ПАО «ГМК «Норильский никель» (раздел «Производство и технологии») – <https://www.nornickel.ru>

6.3. Программное обеспечение

- ПО1. Операционная система MS Windows 10/11 Professional или Astra Linux.
- ПО2. MS Office Professional Plus 2021 (Excel для расчетов балансов, PowerPoint для презентаций).
- ПО3. Специализированное ПО для построения технологических схем (MS Visio, AutoCAD или nanoCAD).

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- **Ауд. 108:** Учебная аудитория для лекций и семинаров, оснащенная мультимедийным проектором для демонстрации 3D-моделей агрегатов и видеофильмов о работе цехов.
- **Ауд. 116:** Компьютерный класс для выполнения расчетных работ по материальным балансам (15 ПК, доступ к ЭБС и инженерному ПО).
- **Лаборатория металлургии цветных металлов:** Учебные макеты печи взвешенной плавки и конвертора, набор образцов сырья (концентраты, штейны, шлаки, катодная медь/никель), лабораторная установка для электролиза, весы, муфельная печь.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

(Изменение: вместо шаблонного текста даны конкретные, профессиональные рекомендации по изучению металлургии)

Общие рекомендации: Дисциплина требует понимания не только последовательности операций, но и физико-химической сущности процессов. Не заучивайте схемы наизусть, а анализируйте: *почему* этот передел идет при такой температуре, *зачем* добавляется этот флюс, *куда* уходит примесь.

Рекомендации по работе с технологическими схемами:

- При изучении каждой темы начинайте с построения принципиальной технологической схемы передела.
- На схеме обязательно указывайте: основное сырье, флюсы, основной продукт, побочные продукты (шлак, газы, шламы) и возвращаемые в цикл оборотные материалы.
- Используйте цветовую маркировку потоков (например, медьсодержащие – красным, никельсодержащие – зеленым).

Рекомендации по выполнению расчетных заданий:

- Расчет материального баланса начинайте с выбора базы расчета (например, 100 кг концентрата или 1 тонна товарной продукции).
- Все расчеты оформляйте в виде структурированных таблиц в MS Excel. Это минимизирует арифметические ошибки и позволяет легко проверить сходимость баланса (расхождение прихода и расхода не должно превышать 1-2%).
- Всегда указывайте размерности величин и делайте краткий вывод по результатам расчета (например: «Полученный выход шлака 25% находится в пределах нормы для данного типа печи»).

Рекомендации по подготовке к промежуточной аттестации:

- За 4 недели: повторите фазовые диаграммы систем Cu-Fe-S и Ni-Fe-S, вспомните правила фаз Гиббса.
- За 3 недели: прорешайте задачи по расчету материального баланса плавки и электролиза.
- За 2 недели: разберите ситуационные кейсы из ФОС, сформулируйте для себя алгоритм действий технолога в нестандартной ситуации.

- За 1 неделю: повторите устройство и принципы работы ключевого оборудования (печь Ванюкова, конвертор, электролизер).

Требования к допуску к экзамену:

- Посещение не менее 80% практических занятий.
- Успешная защита расчетных заданий по материальным балансам.
- Положительный результат рубежного тестирования.

ПРИЛОЖЕНИЯ

(Изменение: добавлен полноценный раздел приложений, делающий программу методически завершенной)

Приложение А. Полный комплект Фонда оценочных средств (детализированные тестовые базы, карты оценивания ситуационных кейсов, критерии защиты расчетных заданий) – размещен в ЭИОС ЗГУ.

Приложение Б. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы (РГР) «Составление материального баланса процесса плавки медного концентрата в печи взвешенной плавки» с пошаговым алгоритмом и примером оформления.

Приложение В. Альбом типовых технологических схем: пирометаллургическое получение меди, гидromеталлургическое получение никеля из окисленных руд, переработка анодного шлама.

Приложение Г. Глоссарий основных терминов дисциплины (штейн, фйнштейн, шликер, фьюмингование, автогенная плавка, плотность тока, выход по току и др.).