

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Документ подписан проставив печать  
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 10:53:30 (ЗГУ)  
Уникальный программный ключ:  
1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по ОД и МП

Крюков В.Н.

## Производство меди

### рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Металлургии, машин и оборудования**  
Учебный план 22.03.02\_бак\_очн\_ТМ-2026.plx  
Направление подготовки: **Металлургия**

**бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **5 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 180  
в том числе:  
аудиторные занятия 56  
самостоятельная работа 97  
Часы на контроль 27

Виды контроля в семестрах: экзамен 7, КП 7

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)			
Неделя	14			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	28	28	28	28
Практические	28	28	28	28
Итого ауд.	56	56	56	56
Контактная работа	56	56	56	56
Сам. работа	97	97	97	97
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	180	180	18	180

Программу составил(и):

Ст. преподаватель Каверзин А.В. \_\_\_\_\_

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 стали конкретными, измеримыми и сфокусированными на современных прогрессивных технологиях производства меди)*

**1.1. Цель дисциплины:** Формирование у обучающихся комплексных профессиональных компетенций в области теории и практики пирометаллургических, гидрометаллургических и электрометаллургических процессов получения меди, с особым акцентом на освоение прогрессивных, энергоэффективных и экологически безопасных технологий (автогенная плавка, непрерывные процессы, SX-EW).

### 1.2. Основные задачи дисциплины:

- Изучить минералого-петрографический состав и физико-химические свойства медьсодержащего сырья и концентратов.
- Освоить принципы и аппаратное оформление прогрессивных методов плавки: автогенной плавки во взвешенном состоянии (флэш-плавка, печь Ванюкова) и в расплаве (процессы Норанда, Мицубиси).
- Изучить современные гидрометаллургические схемы переработки бедных и окисленных руд: кучное и подземное выщелачивание, экстракционное извлечение и электроэкстракция (SX-EW).
- Научиться анализировать технологические схемы, рассчитывать материальные балансы основных переделов и оценивать эффективность извлечения меди и сопутствующих компонентов (благородных металлов).
- Сформировать понимание принципов рафинирования черновой меди и переработки анодных шламов в рамках концепции циркулярной экономики.

---

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

*(Изменение: логически выверены пререквизиты и постреквизиты, устранены ошибки предыдущих версий)*

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

**2.1. Требования к предварительной подготовке обучающегося:** Студент должен владеть знаниями и навыками, полученными при изучении дисциплин: «Обогащение руд цветных металлов», «Металлургическая теплотехника», «Теория пирометаллургических процессов», «Теория электрометаллургических процессов».

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

- Metallurgy of noble metals
- Processing of technogenic resources
- Production (technological) practice
- Preparation for the procedure of protection and protection of the final qualification work (BKP)

---

### 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, огневого и электролитического рафинирования меди.
- Конструктивные особенности и режимы работы современного оборудования (печи взвешенной плавки, конверторы Пирс-Смита, анодные печи, электролизеры).
- Принципы составления и анализа материальных балансов пирометаллургических и гидрометаллургических переделов.
- Современные экологические требования и технологии улавливания и переработки серосодержащих газов.

#### 3.2. Уметь:

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

#### 3.3. Владеть:

- Методикой расчета материальных балансов процессов автогенной плавки и электролитического рафинирования.
- Навыками работы со справочной литературой, фазовыми диаграммами (системы Cu-Fe-S-O) и технологическими регламентами.
- 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 подготовка медьсодержащего сырья**

- **Тема 1.1.** Минералогия и классификация медьсодержащего сырья: сульфидные, окисленные и самородные руды. Требования к качеству медных концентратов.
- **Тема 1.2.** Подготовка сырья к металлургической переработке: сушка, агломерация, брикетирование, окускование.

## Раздел 2. Пирометаллургия меди

- **Тема 2.1.** Прогрессивные методы плавки медных концентратов: автогенная плавка во взвешенном состоянии (флэш-плавка Outokumpu, процесс Инко) и в расплаве (печь Ванюкова, процессы Норанда, Мицубиси). Сравнительный анализ тепловой и экологической эффективности.
- **Тема 2.2.** Конвертирование медного штейна: термодинамика процесса, конструкция горизонтальных конверторов, режимы продувки, образование и состав конверторных шлаков.
- **Тема 2.3.** Непрерывные совмещенные процессы плавки и конвертирования (процесс Mitsubishi, процесс Noranda).

## Раздел 3. Рафинирование меди и переработка шламов

- **Тема 3.1.** Огневое рафинирование черновой меди: принципы удаления примесей (S, O, Fe, Zn, Pb, As, Sb), конструкция анодных печей, процесс разлива анодов.
- **Тема 3.2.** Электролитическое рафинирование меди: состав электролита, роль добавок (клей, тиомочевина, хлорид-ионы), механизм образования гладких катодов, режимы электролиза.
- **Тема 3.3.** Переработка медных анодных шламов: выщелачивание, селенирование, извлечение благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd).

## Раздел 4. Гидрометаллургия меди

- **Тема 4.1.** Выщелачивание окисленных и вторичных медьсодержащих руд: кучное, подземное и чанное выщелачивание.
- **Тема 4.2.** Процессы экстракции и электроэкстракции (SX-EW): принцип работы экстракторов, состав органических реагентов (оксимы), конструкция электролизеров с нерастворимыми анодами.

## 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 и повышение концентрации SO<sub>2</sub> в газах; в) Возможность плавки окисленных руд. *(Правильный ответ: б)*
- **Вопрос 2:** Какой процесс преимущественно применяется для переработки бедных окисленных медных руд в современных условиях? а) Электролитическое рафинирование; б)

Кучное выщелачивание с последующей экстракцией и электроэкстракцией (SX-EW); в) Шахтная плавка. (Правильный ответ: б)

## 5.2. Задания на установление соответствия

- **Задание:** Установите соответствие между технологическим процессом и его основным назначением:
  1. Конвертирование штейна -> А) Получение черновой меди и конверторного газа (SO<sub>2</sub>) за счет окисления железа и серы.
  2. Электролитическое рафинирование -> Б) Получение катодной меди высокой чистоты (марка М00к) и извлечение благородных металлов из шлама.
  3. Огневое рафинирование -> В) Удаление из черновой меди серы, кислорода и летучих примесей перед разливкой анодов.
  4. Процесс SX-EW -> Г) Прямое получение катодной меди из бедных растворов выщелачивания без стадии плавки.

## 5.3. Открытые вопросы для устного опроса и рубежного контроля

- Вопрос 1. Опишите термодинамические условия селективного окисления железа при конвертировании медного штейна и объясните, почему медь в этих условиях остается в штейне, а не окисляется.
- Вопрос 2. В чем заключаются принципиальные отличия в технологии переработки сульфидных и окисленных медных руд? Приведите примеры промышленных агрегатов для каждого типа сырья.
- Вопрос 3. Объясните механизм влияния мышьяка и сурьмы на процесс электролитического рафинирования меди. Как предотвращается их попадание в катодный осадок с помощью органических добавок?
- Вопрос 4. Каковы преимущества и ограничения применения гидрометаллургических методов (SX-EW) для переработки медьсодержащего сырья по сравнению с традиционной пирометаллургией?

## 5.4. Ситуационные задачи (кейсы) для промежуточной аттестации

- **Кейс 1 (Технологический).** На заводе автогенной плавки (печь Ванюкова) зафиксировано резкое повышение содержания меди в отвальных шлаках (с 0.4% до 0.8%) и нестабильная работа фурм. Анализ показал, что влажность медного концентрата увеличилась с 0.5% до 3% из-за сбоя в сушильном отделении. Проанализируйте причины. Предложите комплекс технологических мероприятий для стабилизации процесса (изменение расхода кислорода, корректировка состава флюса, режим работы фурм).
- **Кейс 2 (Электрометаллургический).** В цехе электролитического рафинирования меди наблюдается рост напряжения на ваннах и появление «ожогов» и дендритов на катодах. Химический анализ электролита показал снижение концентрации ионов меди ниже 35 г/л и превышение допустимого уровня никеля. Опишите алгоритм действий технолога по нормализации состава электролита и предотвращению брака катодной продукции.

## 5.5. Критерии оценивания

- **«Отлично»:** Глубокое понимание физико-химических основ процессов, свободное ориентирование в прогрессивных технологиях (флэш-плавка, SX-EW), умение самостоятельно составлять материальные балансы, аргументированное решение производственных кейсов.
- **«Хорошо»:** Хорошее знание основных переделов, умение решать типовые расчетные задачи, незначительные неточности в объяснении механизмов протекания сложных электрохимических 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, 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 пособия)*

### 6.1. Рекомендуемая литература 6.1.1. Основная литература:

1. Набойченко С.С., Агеев Н.Г. Металлургия меди и никеля: учебник для вузов. – Екатеринбург: УрФУ, 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. Шиврин Г.Н. Проблемы электролиза меди и никеля: монография. – Рязань: Голос губернии, 2020. – 280 с.

### 6.1.2. Дополнительная литература:

1. Современные технологии гидрометаллургии меди: учебное пособие / В.А. Смирнов. – М.: Руда и металлы, 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 (медные концентраты, штейны, шлаки, катодная медь), лабораторная установка для электролиза, муфельные печи, весы.
- 

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

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

**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 (например, кварц при конвертировании), *куда* уходит примесь (мышьяк, сурьма, благородные металлы).

### 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, железосодержащие – коричневым).

### 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: «Полученное извлечение меди 98.5% соответствует современным показателям для данной технологии»).

### Подготовка к промежуточной аттестации:

- За 4 недели: повторите фазовые диаграммы систем Cu-Fe-S-O и основы электрохимии медных растворов.
  - 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 нештатной ситуации.
  - За 1 неделю: повторите устройство и принципы работы ключевого оборудования (печь Ванюкова, конвертор, электролизер).
- 

## 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 автогенной плавки медного концентрата» с пошаговым алгоритмом и примером оформления.

**Приложение В.** Альбом типовых технологических схем: пирометаллургическое получение меди (флэш-плавка + конвертирование), гидрометаллургическое получение меди (SX-EW), переработка анодного шлама.

**Приложение Г.** Глоссарий основных терминов дисциплины (штейн, черновая медь, флэш-плавка, SX-EW, анодный шлам, плотность тока, выход по току и др.).