

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 образовательной политике  
«Заполярье» 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 никеля и кобальта

### 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 **6 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 216

Виды контроля в семестрах: зачет 5, экзамен 6, КП 6

в том числе:

аудиторные занятия 68

самостоятельная работа 94

Часы на контроль 54

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)		
Вид занятий	уп	рп	уп
Лекции	10	10	16
Практические	10	10	32
Итого ауд.	20	20	48
Контактная работа	20	20	48
Сам. работа	34	34	60
Часы на контроль	18	18	36
Итого	72	72	144

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 переработки как сульфидного, так и окисленного сырья)*

**1.1. Цель дисциплины:** Формирование у обучающихся комплексных профессиональных компетенций в области теории и практики пирометаллургических и гидрометаллургических процессов получения никеля и кобальта, с особым акцентом на освоение прогрессивных, энергоэффективных и экологически безопасных технологий переработки сульфидных медно-никелевых руд и окисленных латеритных руд.

### 1.2. Основные задачи дисциплины:

- Изучить минералого-петрографические особенности и физико-химические свойства никель-кобальтового сырья (сульфидные руды, латериты, техногенное сырье).
- Освоить физико-химические основы и аппаратное оформление прогрессивных пирометаллургических процессов (автогенная плавка во взвешенном состоянии, рудно-термическая плавка, конвертирование штейнов).
- Изучить современные гидрометаллургические схемы переработки окисленных руд (автоклавы высокого давления – HPAL, атмосферное выщелачивание) и сульфидных концентратов.
- Научиться рассчитывать материальные балансы основных переделов и оценивать технологическую, экономическую и экологическую эффективность процессов.
- Сформировать понимание принципов глубокого рафинирования (карбонильный процесс, экстракция) и комплексного использования сырья.

---

## 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: «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, выщелачивания и рафинирования никеля и кобальта.
- Конструктивные особенности и режимы работы современного оборудования (печи взвешенной плавки, автоклавы высокого давления, экстракционные каскады).
- Принципы составления и анализа материальных балансов пирометаллургических и гидрометаллургических переделов.
- Современные экологические требования и технологии улавливания и переработки серосодержащих газов и кислых стоков.

### **3.2. Уметь:**

- Анализировать технологические схемы получения никеля и кобальта, выявляя «узкие» места и точки потенциальной оптимизации.
- Рассчитывать основные технологические параметры процессов (степень извлечения, расход реагентов, выход продуктов).
- Обосновывать выбор метода переработки (пиро- или гидрометаллургический) в зависимости от минералогического состава сырья (например, отношение  $MgO/SiO_2$  в латеритах).
- Интерпретировать данные технологического контроля и предлагать корректирующие воздействия.

### **3.3. Владеть:**

- Методикой расчета материальных балансов процессов автоклавного выщелачивания и автогенной плавки.
- Навыками работы со справочной литературой, фазовыми диаграммами (системы Ni-Fe-S-O, Co-As-S) 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 никель-кобальтового сырья**

- **Тема 1.1.** Минералогия и классификация никель-кобальтового сырья: сульфидные медно-никелевые руды, окисленные руды (латериты), техногенное сырье.

- **Тема 1.2.** Обогащение сульфидных руд: флотация, получение концентратов, требования к их качеству.
- **Тема 1.3.** Подготовка сырья к пирометаллургической переработке: сушка, агломерирующий обжиг, брикетирование.

## **Раздел 2. Пирометаллургия никеля и кобальта**

- **Тема 2.1.** Прогрессивные методы плавки сульфидных концентратов: автогенная плавка во взвешенном состоянии (печи Ванюкова, флэш-плавка) и в расплаве. Тепловые и материальные балансы.
- **Тема 2.2.** Конвертирование никелевого штейна: термодинамика процесса, конструкция конверторов, режимы продувки, образование и состав шлаков.
- **Тема 2.3.** Рудно-термическая плавка (RKEF) окисленных никелевых руд: получение ферроникеля, влияние состава шихты на показатели плавки.

## **Раздел 3. Гидрометаллургия никеля и кобальта**

- **Тема 3.1.** Автоклавное выщелачивание под давлением (HPAL): физико-химическая сущность, конструкция автоклавов, режимы переработки латеритов и сульфидных концентратов.
- **Тема 3.2.** Атмосферное выщелачивание и кучное выщелачивание окисленных руд.
- **Тема 3.3.** Очистка растворов: нейтрализация, цементация, экстракционное извлечение никеля и кобальта (solvent extraction).
- **Тема 3.4.** Электролиз растворов сульфата никеля и кобальта: конструкция ванн, режимы, управление качеством катодов.

## **Раздел 4. Рафинирование и комплексное использование сырья**

- **Тема 4.1.** Карбонильный процесс получения высокочистого никеля и кобальта: термодинамика, аппаратурное оформление, безопасность.
- **Тема 4.2.** Переработка никель-кобальтовых шлаков и кеков: фьюмингование, вельцевание, гидрометаллургическое доизвлечение.
- **Тема 4.3.** Экологические аспекты производства: улавливание SO<sub>2</sub>, переработка кислых стоков, рекультивация хвостохранилищ.

---

## **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:** Какой процесс является основным для переработки латеритных руд с высоким отношением MgO/SiO<sub>2</sub>? а) Автоклавное выщелачивание (HPAL); б) Рудно-термическая плавка (RKEF) на ферроникель; в) Карбонильный процесс. *(Правильный ответ: б)*
- **Вопрос 2:** Что является главным преимуществом автогенной плавки во взвешенном состоянии перед 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)

## 5.2. Задания на установление соответствия

- **Задание:** Установите соответствие между технологическим процессом и его основным назначением:
  1. Конвертирование штейна -> А) Получение файнштейна с высоким содержанием никеля и удаление железа в шлак.
  2. Автоклавное выщелачивание (HPAL) -> Б) Перевод никеля и кобальта из окисленной руды в раствор под высоким давлением и температурой.
  3. Карбонильный процесс -> В) Получение высокочистых никелевых гранул или порошков через образование летучего карбонила.
  4. Экстракция (solvent extraction) -> Г) Селективное разделение никеля и кобальта в водных растворах с помощью органических реагентов.

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

- Вопрос 1. Опишите термодинамические условия селективного окисления железа при конвертировании никелевого штейна и объясните, почему кобальт в этих условиях частично переходит в шлак.
- 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 влияния мышьяка и сурьмы на процесс автоклавного выщелачивания сульфидных концентратов. Какие методы борьбы с ними применяются?
- Вопрос 4. Каковы преимущества и ограничения применения гидрометаллургических методов (HPAL) для переработки латеритных руд по сравнению с пирометаллургическими (RKEF)?

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

- **Кейс 1 (Технологический выбор).** Предприятие осваивает новое месторождение окисленных никелевых руд (латеритов). Анализ показал высокое содержание железа и низкое отношение MgO/SiO<sub>2</sub>. Руководство выбирает между строительством установки RKEF (производство ферроникеля) и HPAL (производство смешанных гидроксидов никеля и кобальта – МНР). Проведите сравнительный анализ этих вариантов с точки зрения капитальных затрат, извлечения кобальта, экологических рисков и предложите обоснованное решение.
- **Кейс 2 (Оптимизация процесса).** На заводе автогенной плавки сульфидных концентратов зафиксировано резкое повышение содержания никеля в отвальных шлаках (с 0.3% до 0.8%). Проанализируйте возможные причины (изменение состава шихты, нарушение температурного режима, проблемы с флюсованием). Предложите комплекс технологических мероприятий для снижения потерь никеля со шлаком.

## 5.5. Критерии оценивания

- **«Отлично»:** Глубокое понимание физико-химических основ процессов, свободное ориентирование в прогрессивных технологиях (HPAL, автогенная плавка), 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 гидрометаллургических процессов.
- **«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 никеля и кобальта, 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 по гидрометаллургии и переработке латеритов)*

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

1. Смирнов В.В., Зайцев В.И. *Металлургия никеля и кобальта: учебник для вузов.* – М.: Руда и металлы, 2021. – 480 с.
2. Набойченко С.С., Агеев Н.Г. *Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов: учебное пособие.* – Екатеринбург: УрФУ, 2022. – 320 с.
3. Кайтмазов Н.Г. (под общ. ред.) *Производство металлов за полярным кругом: технологическое пособие.* – Норильск: Изд-во ЗГУ, 2023. – 350 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 (сульфидные концентраты, латериты, штейны, файнштейны, катодный никель), лабораторная установка для электролиза, муфельные печи, весы.
- 

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

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

**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 (особенно кобальт, мышьяк, магний).*

### **Рекомендации по работе с фазовыми диаграммами и схемами:**

- При изучении пирометаллургии обязательно разберите диаграммы систем Ni-Fe-S-O и Co-As-S. Поймите, как меняются условия окисления в зависимости от температуры и парциального давления кислорода.
- При изучении гидromеталлургии сосредоточьтесь на диаграммах растворимости соединений никеля и кобальта в зависимости от pH и потенциала (диаграммы Пурбе).
- Рисуйте принципиальные технологические схемы самостоятельно, выделяя цветом потоки никеля, кобальта и серы — это ключ к пониманию экономики и экологии производства.

### **Рекомендации по выполнению расчетных заданий:**

- Расчет материального баланса всегда начинайте с выбора базы расчета (например, 100 кг концентрата или 1 тонна товарной продукции).
- При расчете автоклавного выщелачивания строго следите за стехиометрией реакций окисления сульфидов и нейтрализации кислоты. Все расчеты оформляйте в виде структурированных таблиц в MS Excel.
- Всегда указывайте размерности величин и делайте краткий вывод по результатам расчета (например: «Полученное извлечение никеля 92% соответствует современным показателям для данного типа сырья»).

### **Техника безопасности и охрана труда:**

- При работе с образцами сульфидных концентратов и латеритов соблюдайте правила гигиены (использование СИЗ), так как некоторые руды могут содержать токсичные элементы (мышьяк).
- При моделировании гидрометаллургических процессов в лаборатории строго соблюдайте правила обращения с кислотами и щелочами (защитные очки, фартуки, работа под вытяжкой).

#### **Подготовка к промежуточной аттестации:**

- За 4 недели: повторите физико-химию пирометаллургических и гидрометаллургических процессов (термодинамика окисления и выщелачивания).
- За 3 недели: прорешайте задачи по составлению материальных балансов плавки и автоклавного процесса.
- За 2 недели: разберите ситуационные кейсы из ФОС, сформулируйте для себя алгоритм действий технолога при изменении состава сырья.
- За 1 неделю: повторите устройство и принципы работы ключевого оборудования (печь Ванюкова, автоклав, экстракционные миксеры-отстойники).

---

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

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

**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 автоклавного выщелачивания сульфидного никель-кобальтового концентрата» с пошаговым алгоритмом и примером оформления.

**Приложение В.** Альбом типовых технологических схем: пирометаллургическое получение никеля из сульфидов, гидрометаллургическое получение МНР из латеритов (HPAL), карбонильный процесс.

**Приложение Г.** Глоссарий основных терминов дисциплины (латерит, HPAL, штейн, фajnштейн, МНР, карбонил, экстрагент, RKEF и др.).