

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 Документ подписан проставлен электронной подписью  
 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.

# Основные процессы переработки металлургического сырья

## 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 106  
 Часы на контроль 18

Виды контроля в семестрах: зачет с оценкой 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
В том числе инт.	18	18	18	18
В том числе электрон.	30	30	30	30
Итого ауд.	56	56	56	56
Контактная работа	56	56	56	56
Сам. работа	106	106	10	106
Часы на контроль	18	18	18	18
Итого	180	180	18	180

Программу составил(и):

к.с.-х.н. *Доцент Носова Ольга Васильевна* \_\_\_\_\_

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 технологиях подготовки и обогащения руд)*

**1.1. Цель дисциплины:** Формирование у обучающихся комплекса профессиональных компетенций в области теории и практики процессов подготовки и обогащения руд цветных металлов, с особым акцентом на освоение прогрессивных технологий дробления, измельчения, классификации и флотации медно-никелевых сульфидных руд.

### 1.2. Основные задачи дисциплины:

1. Изучить физико-химические основы и технологические схемы процессов дробления, измельчения, грохочения и гидравлической классификации руд.
2. Освоить принципы и аппаратное оформление современных методов флотационного обогащения, включая подбор реагентных режимов и выбор типов флотационных машин.
3. Научиться рассчитывать основные технологические показатели обогащения (выход, извлечение, степень концентрации) и составлять материальные балансы переделов.
4. Изучить специфику подготовки и обогащения богатых и вкрапленных медно-никелевых сульфидных руд на предприятиях Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель».
5. Сформировать понимание принципов химического обогащения и современных методов переработки техногенного минерального сырья.

---

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

*(Изменение: логически выверены пререквизиты и постреквизиты, устранены дублирования)*

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

**2.1. Требования к предварительной подготовке обучающегося:** Студент должен владеть знаниями и навыками, полученными при изучении дисциплин: «Физика», «Физическая химия», «Специальная химия», «Аналитическая химия», «Общие химические технологии», «Методы контроля и анализа веществ», «Обогащение руд цветных металлов».

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

1. Газоочистка и пылеулавливание
2. Промышленная вентиляция металлургических предприятий
3. Производственная (технологическая) практика
4. Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы (ВКР)

---

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

**ПК-1.3:** Осуществляет расчет технологических схем и процессов на основании реальных технологических показателей. **ПК-3.2:** Способен анализировать изменения показателей процесса производства цветных металлов и сплавов.

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен:**

**3.1. Знать:**

1. Физико-химические основы процессов дробления, измельчения, классификации и флотации минерального сырья.
2. Конструктивные особенности и режимы работы современного обогатительного оборудования (дробилки, мельницы, гидроциклоны, флотационные машины).
3. Принципы составления и анализа материальных балансов процессов обогащения, взаимосвязь показателей выхода, извлечения и степени концентрации.
4. Современные реагентные режимы флотации сульфидных медно-никелевых руд и методы их оптимизации.

**3.2. Уметь:**

1. Анализировать технологические схемы обогащения, выявляя «узкие» места и точки потенциальной оптимизации гранулометрического состава или извлечения.
2. Рассчитывать основные технологические параметры процессов (циркуляционную нагрузку, критическую скорость вращения мельницы, расход реагентов).
3. Обосновывать выбор типа дробильно-размольного оборудования и схемы флотации в зависимости от минералогического состава сырья.
4. Интерпретировать данные технологического контроля и предлагать корректирующие воздействия при отклонениях режима флотации.

**3.3. Владеть:**

1. Методикой расчета материальных балансов и технологических показателей обогащения полезных ископаемых.
2. Навыками работы со справочной литературой, гранулометрическими характеристиками и технологическими регламентами обогатительных фабрик.
3. Методами оценки технико-экономической эффективности применения различных реагентов и схем обогащения.

---

## **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

*(Изменение: содержание логически перегруппировано в два смысловых модуля для лучшего восприятия)*

### **Раздел 1. Теоретические основы и процессы подготовки руд**

1. **Тема 1.1.** Введение. Цели и задачи обогащения полезных ископаемых. Общие сведения о рудах, продуктах обогащения и основных технологических показателях.

2. **Тема 1.2.** Грохочение: назначение, классификация грохотов, факторы, влияющие на эффективность процесса, устройство и принцип работы колосниковых, барабанных и вибрационных грохотов.
3. **Тема 1.3.** Дробление: назначение, стадии дробления, типы дробильных машин (щековые, конусные, валковые), их устройство, принцип действия и расчет производительности.
4. **Тема 1.4.** Измельчение: сущность процесса, классификация мельниц, циркуляционная нагрузка, режимы работы, критическая и рабочая скорость вращения, шаровые и стержневые мельницы.
5. **Тема 1.5.** Гидравлическая классификация: назначение и сущность процесса, поверочная и контрольная классификация, принцип работы и устройство механических классификаторов и гидроциклонов.

## **Раздел 2. Флотационные и химические методы обогащения**

1. **Тема 2.1.** Теоретические основы флотации: понятия адгезии и когезии, поверхностное натяжение, краевой угол смачивания, факторы, влияющие на процесс флотации.
2. **Тема 2.2.** Флотационные реагенты: классификация, назначение и принцип действия собирателей, депрессоров, активаторов, регуляторов среды и вспенивателей.
3. **Тема 2.3.** Флотационные машины: устройство и принцип действия машин механического, пневмомеханического и пневматического типов, факторы, определяющие их выбор.
4. **Тема 2.4.** Схемы флотации: стадии и циклы флотации (основная, контрольная, перечистная), классификация схем в зависимости от последовательности выделения полезных минералов.
5. **Тема 2.5.** Химическое обогащение материалов: теоретические основы и область применения методов выщелачивания и осаждения для переработки руд и техногенного минерального сырья.

---

## **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)**

1. **Вопрос 1:** Что характеризует «циркуляционная нагрузка» в замкнутом цикле измельчения? а) Отношение массы песка, возвращаемого в мельницу, к массе свежего питания; б) Скорость вращения барабана мельницы; в) Расход флотореагентов на тонну руды. *(Правильный ответ: а)*
2. **Вопрос 2:** Какой тип флотационной машины наиболее целесообразно применять для перечистных операций при флотации медно-никелевых руд для получения высококачественного концентрата? а) Пневматическая; б) Пневмомеханическая с малым объемом камеры и интенсивной аэрацией; в) Механическая с большими камерами. *(Правильный ответ: б)*

### **5.2. Задания на установление соответствия**

1. **Задание:** Установите соответствие между типом флотореагента и его основным назначением:

- a. Собиратель (коллектор) → А) Избирательно повышает гидрофобность поверхности ценного минерала (например, ксантогенаты для сульфидов).
- b. Депрессор → Б) Снижает поверхностное натяжение воды, способствуя образованию устойчивой минерализованной пены (например, сосновое масло).
- c. Активатор → В) Предотвращает флотацию нежелательных минералов, создавая на их поверхности гидрофильные пленки (например, цианид для пирита).
- d. Вспениватель → Г) Удаляет с поверхности минерала слой депрессора или способствует образованию на ней слоя собирателя (например, сульфат меди для сфалерита).

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

1. Объясните физический смысл «критической скорости вращения» шаровой мельницы. Что происходит с загруженными шарами при превышении этой скорости и как это влияет на процесс измельчения?
2. В чем заключаются принципиальные отличия в схемах обогащения массивных (богатых) и вкрапленных медно-никелевых сульфидных руд?
3. Опишите механизм действия ксантогенатов при флотации сульфидных минералов. Как на этот процесс влияет значение рН пульпы?
4. Каковы преимущества и ограничения применения гидроциклонов по сравнению с механическими спиральными классификаторами в замкнутых циклах измельчения?

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

1. **Кейс 1 (Технологический).** На обогатительной фабрике зафиксировано резкое снижение извлечения меди в концентрат (с 92% до 85%) при одновременном росте содержания меди в хвостах. Анализ проб показал, что гранулометрический состав питания стал крупнее из-за износа колосниковых решеток дробилки второй стадии. Проанализируйте причины. Предложите комплекс технологических мероприятий для стабилизации процесса (изменение режима работы мельницы, корректировка реагентного режима, контроль грансостава).
2. **Кейс 2 (Реагентный).** При флотации медно-никелевой руды наблюдается чрезмерное вспенивание и вынос пустой породы в пенный продукт, что снижает качество концентрата. Химический анализ показал поступление руды с повышенным содержанием вторичных сульфидов и окисленных минералов. Опишите алгоритм действий технолога по корректировке реагентного режима (введение депрессоров, регуляторов среды, замена вспенивателя) для восстановления качества концентрата.

### 5.5. Критерии оценивания

1. **«Отлично»:** Глубокое понимание физико-химических основ процессов обогащения, свободное ориентирование в современных технологических схемах, умение самостоятельно составлять материальные балансы, аргументированное решение производственных кейсов.
2. **«Хорошо»:** Хорошее знание основных переделов, умение решать типовые расчетные задачи, незначительные неточности в объяснении механизмов действия реагентов или работы оборудования.

3. **«Удовлетворительно»:** Знание базовых определений и общих схем обогащения, решение простейших задач с использованием подсказок, поверхностное понимание отличий современных методов от традиционных.
4. **«Неудовлетворительно»:** Незнание основных этапов подготовки и обогащения руд, неумение объяснить принцип работы ключевого оборудования или рассчитать базовые технологические показатели.

---

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

*(Изменение: литература актуализирована, добавлены современные пособия, ПО обновлено до стандартов 2026 года)*

### **6.1. Рекомендуемая литература**

#### **6.1.1. Основная литература:**

1. Андреев Е. Е., Тихонов О. Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: учебник для вузов. – СПб.: Горный университет, 2018. – 320 с.
2. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения: учебник для вузов. – М.: Изд-во МГГУ, Горная книга, 2019. – 450 с.
3. Рогова Л. И. Гравитационные методы обогащения: практикум. – Норильск: ЗГУ, 2020. – 120 с.

#### **6.1.2. Дополнительная литература:**

1. Чантурия В. А. (под ред.) Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья: сборник. – М.: Руда и металлы, 2021. – 320 с.
2. Отчеты об устойчивом развитии и производственные регламенты ПАО «ГМК «Норильский никель» (актуальные версии, разделы «Обогащение и переработка сырья»).

### **6.2. Перечень ресурсов сети «Интернет»**

1. Э1. Электронный каталог ЗГУ – <http://biblio.norvuz.ru>
2. Э2. Электронно-библиотечная система «Юрайт» – <https://www.biblio-online.ru>
3. Э3. Электронно-библиотечная система «Лань» – <https://e.lanbook.com>
4. Э4. Научная электронная библиотека eLibrary.ru – <https://www.elibrary.ru>

### **6.3. Программное обеспечение *(Критически обновлено!)***

1. ПО1. Операционная система MS Windows 10/11 Professional или Astra Linux Special Edition.
2. ПО2. MS Office Professional Plus 2021 (Excel для расчетов балансов, PowerPoint для презентаций).
3. ПО3. Специализированное ПО для построения технологических схем и гранулометрических кривых (MS Visio, AutoCAD или nanoCAD).

---

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

*(Изменение: полностью заменено устаревшее "железо" 2010 года на современные стандарты)*

1. **Ауд. 232 (Лекционная):** Учебная аудитория, оснащенная мультимедийным проектором, интерактивной панелью и современной акустической системой для демонстрации 3D-моделей агрегатов и видеофильмов о работе обогатительных фабрик.
2. **Ауд. 125 (Семинарская/Компьютерный класс):** Специализированная аудитория, оснащенная современными рабочими станциями (не ниже Intel Core i3 / AMD Ryzen 3, 8 ГБ ОЗУ, SSD 256 ГБ, мониторы 21.5"), подключенными к локальной сети и интернету, для выполнения инженерных расчетов.
3. **Лаборатория обогащения полезных ископаемых:** Учебные макеты дробилок и флотационных машин, набор образцов руд и продуктов обогащения, лабораторные флотационные машины, сита для гранулометрического анализа, весы.

---

## **8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)**

*(Изменение: вместо шаблонного текста даны конкретные, профессиональные рекомендации по изучению процессов обогащения)*

**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 крупности, *зачем* добавляется этот реагент (например, известь для депрессии пирита), *куда* уходит ценный компонент при нарушении режима.

### **Рекомендации по работе с технологическими схемами:**

1. При изучении каждой темы начинайте с построения принципиальной технологической схемы передела (дробление, измельчение, флотация).
2. На схеме обязательно указывайте: основное питание, циркулирующие нагрузки, конечные продукты (концентрат, хвосты) и точки дозировки реагентов.
3. Используйте цветовую маркировку потоков (например, руда – коричневым, концентрат – цветным, хвосты – серым).

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

1. Расчет материального баланса начинайте с выбора базы расчета (например, 100 тонн свежей руды).
2. 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%).
3. Всегда указывайте размерности величин и делайте краткий вывод по результатам расчета (например: «Полученное извлечение меди 92% соответствует современным показателям для данной технологии»).

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

1. **За 4 недели:** повторите основы физико-химии поверхностных явлений и принципы работы флотационных реагентов.

2. **За 3 недели:** прорешайте задачи по расчету технологических показателей обогащения (выход, извлечение, степень концентрации) и циркуляционной нагрузки.
  3. **За 2 недели:** разберите ситуационные кейсы из ФОС, сформулируйте для себя алгоритм действий технолога в нештатной ситуации.
  4. **За 1 неделю:** повторите устройство и принципы работы ключевого оборудования (конусная дробилка, шаровая мельница, гидроциклон, флотационная машина).
- 

## 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 и расчет технологических показателей замкнутого цикла измельчения-классификации» с пошаговым алгоритмом и примером оформления.

**Приложение В.** Альбом типовых технологических схем: дробильно-сортировочные комплексы, схемы флотации медно-никелевых руд, схемы обезвоживания продуктов обогащения.

**Приложение Г.** Глоссарий основных терминов дисциплины (циркуляционная нагрузка, критическая скорость, краевой угол смачивания, коллектор, депрессор, активатор, степень концентрации, извлечение и др.).