

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Документ подписан проставив электронную подпись
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.

Обогащение руд цветных металлов

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 48
самостоятельная работа 78

Виды контроля в семестрах: экзамен 4, КП 4

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	4 (2.2)			
	Неделя 16			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	16	16	16	16
Практические	32	32	32	32
В том числе инт.	18	18	18	18
В том числе электрон.	56	56	56	56
Итого ауд.	48	48	48	48
Контактная работа	48	48	48	48
Сам. работа	78	78	78	78
Часы на контроль	54	54	54	54
Итого	180	180	180	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 Л.В. Крупнов _____ 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 Л.В. Крупнов _____ 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 Л.В. Крупнов _____ 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 Л.В. Крупнов _____ 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 сфокусированы на специфике сульфидных медно-никелевых руд и современных методах флотации)

1.1. Цель дисциплины: Формирование у обучающихся систематизированных научно-теоретических знаний и практических навыков в области физико-химических основ и технологий обогащения руд цветных металлов, с особым акцентом на переработку медно-никелевых сульфидных руд Норильского и Кольского регионов.

1.2. Основные задачи дисциплины:

- Изучить закономерности дисинтеграции минерального сырья (дробление, измельчение) для достижения оптимальной степени раскрытия сульфидных минералов.
- Освоить теорию и практику гравитационных, магнитных и электрических методов обогащения.
- Глубоко изучить теорию флотации, химию поверхностных явлений, классификацию и механизмы действия флотационных реагентов.
- Научиться рассчитывать технологические балансы, режимы флотации и оценивать эффективность обогащения.
- Сформировать понимание проблем переработки труднообогатимых руд (в т.ч. с высоким содержанием серпентина и пирротина).

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

(Изменение: исправлены логические ошибки в постреквизитах, добавлена Неорганическая химия в пререквизиты)

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

2.1. Требования к предварительной подготовке обучающегося: Студент должен владеть знаниями по дисциплинам: «Введение в профиль», «Физика», «Кристаллохимия», «Неорганическая и аналитическая химия».

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

- Metallurgy of heavy colored metals (copper and nickel)
- Metallurgy of noble metals
- Processing of technogenic resources
- Production (technological) practice

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

ПК-1.1: Применяет знания основных закономерностей протекания металлургических процессов для повышения эффективности производства цветных металлов. **ПК-2.1:** Анализирует качество технологического процесса и качества продукции по результатам аналитического контроля.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

3.1. Знать:

- Физико-химические свойства основных рудообразующих и рудных минералов цветных металлов.
- Принципы работы, кинематику и технологические показатели дробилок, мельниц, классификаторов и флотационных машин.
- Химию флотационных процессов: механизмы адгезии, роль собирателей, пенообразователей, регуляторов среды и депрессоров.
- Специфику технологических схем обогащения медно-никелевых руд (включая проблемы магниевых силикатов).

3.2. Уметь:

- Составлять и анализировать принципиальные и технологические схемы обогащения.
- Рассчитывать материальные балансы, степень измельчения, циркуляционные нагрузки классификаторов.
- Подбирать реагентные режимы для флотации сульфидных минералов.
- Оценивать качество концентратов и хвостов по данным лабораторного и технологического контроля.

3.3. Владеть:

- Методиками лабораторных испытаний руд на обогатимость (технологические пробы).
- Навыками работы с флотационными машинами лабораторного масштаба и приборами для гранулометрического анализа.
- Программным обеспечением для моделирования технологических схем (базовые навыки).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(Изменение: содержание полностью переписано, добавлена специфика флотации и переработки сульфидных руд)

Раздел 1. Подготовка руд к обогащению (Дисинтеграция и классификация)

- **Тема 1.1.** Дробление и измельчение. Законы разрушения руд. Степень раскрытия минералов. Конструктивные особенности дробилок и мельниц (шаровые, стержневые, самоизмельчения), применяемых на обогатительных фабриках цветных металлов.
- **Тема 1.2.** Грохочение и классификация. Гидравлическая классификация (спиральные и чашевые классификаторы, гидроциклоны). Расчет циркулирующих нагрузок и эффективности классификации.

Раздел 2. Гравитационные и магнитные методы обогащения

- **Тема 2.1.** Теория гравитационного обогащения. Отсадка, концентрация на столах, шлюзовая сепарация. Обогащение в тяжелых суспензиях (применение для предварительного концентрирования медно-никелевых руд).
- **Тема 2.2.** Магнитные и электрические методы. Сепарация магнитных фракций (пирротин, магнетит) и выделение немагнитных сульфидов.

Раздел 3. Флотация (Основной раздел)

- **Тема 3.1.** Физико-химические основы флотации. Смачиваемость, краевой угол, работа адгезии и когезии. Модели двойного электрического слоя на границе минерал-вода.
- **Тема 3.2.** Химия флотационных реагентов. Собиратели (ксантогенаты, дитиофосфаты, тиокарбамиды). Пенообразователи (спирты, полиэферы). Регуляторы среды (известь, сода, серная кислота). Депрессоры и активаторы.
- **Тема 3.3.** Флотационное оборудование. Механические, пневматические и пневмомеханические флотационные машины. Колонные флотационные аппараты.
- **Тема 3.4.** Технология флотации медно-никелевых сульфидных руд. Влияние серпентина и талька на процесс. Методы депрессии пирротина. Коллективная и селективная флотация.

Раздел 4. Обезвоживание и комплексная переработка

- **Тема 4.1.** Сгущение пульпы (сгустители, гидроциклоны-сгустители). Фильтрация (вакуум-фильтры, фильтр-прессы). Термическая сушка.
- **Тема 4.2.** Гидрометаллургические и комбинированные методы извлечения цветных металлов из руд и концентратов.

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ФОС)

(Изменение: ФОС полностью структурирован, убраны таблицы, добавлены разнообразные типы заданий: тесты, соответствие, открытые вопросы, ситуационные кейсы)

5.1. Тестовые задания для текущего контроля (Примеры)

- **Вопрос 1.** Какой реагент применяется в качестве основного собирателя при флотации сульфидов меди и никеля? а) Олеиновая кислота; б) Бутиловый ксантогенат; в) Сосновое масло; г) Жидкое стекло. *(Правильный ответ: б)*
- **Вопрос 2.** Что является главной проблемой при флотации медно-никелевых руд Норильского месторождения? а) Высокое содержание золота; б) Наличие в руде серпентина и талька, которые переходят в концентрат; в) Низкая прочность минералов; г) Отсутствие сульфидов. *(Правильный ответ: б)*

5.2. Задания на установление соответствия

- **Задание.** Установите соответствие между типом реагента и его функцией во флотационном процессе:
 1. Собиратель -> А) Избирательно снижает смачиваемость сульфидов водой, облегчая прилипание к пузырьку.
 2. Пенообразователь -> Б) Стабилизирует минерализованные пузырьки в пенном слое.

3. Депрессор -> В) Повышает гидрофильность поверхности нежелательных минералов (например, пирротина).
4. Регулятор среды -> Г) Поддерживает необходимое значение рН пульпы для селективности процесса.

5.3. Открытые вопросы для устного опроса и рубежного контроля

- Вопрос 1. Сформулируйте закон Бонда и его применение для расчета работы измельчения.
- Вопрос 2. Объясните механизм адгезии пузырька воздуха к поверхности минерала с точки зрения термодинамики.
- Вопрос 3. В чем принципиальное отличие механических флотационных машин от колонных? В каких случаях применяются колонные аппараты?
- Вопрос 4. Как влияет степень измельчения руды на качество медного концентрата и извлечение никеля? Что такое «перешлихтовка»?
- Вопрос 5. Опишите схему коллективно-селективной флотации медно-никелевого концентрата.

5.4. Ситуационные задачи (Кейсы) для промежуточной аттестации

- **Кейс 1 (Технологический).** На обогатительной фабрике произошло резкое снижение качества никелевого концентрата (выросли содержания MgO и SiO₂). Лабораторный анализ показал, что в руде увеличилась доля руды с высоким содержанием серпентина. Ваши действия как технолога-обогапителя? Какие реагенты вы введете в цикл, как измените режим флотации?
- **Кейс 2 (Расчетный).** Гидроциклон диаметром 500 мм работает в замкнутом цикле с шаровой мельницей. Плотность питания 1.4 г/см³, плотность слива 1.1 г/см³. Рассчитайте циркуляционную нагрузку и эффективность классификации, если известно, что в песках гидроциклона содержится 60% класса -0.074 мм, а в сливе — 80%.

5.5. Критерии оценивания

- **«Отлично»:** Студент свободно ориентируется в реагентных режимах флотации, может рассчитать материальный баланс, понимает физико-химическую суть процессов, успешно решает кейсы по оптимизации технологии.
- **«Хорошо»:** Студент знает основные методы обогащения, умеет проводить расчеты, но допускает неточности в объяснении тонких физико-химических механизмов флотации.
- **«Удовлетворительно»:** Студент знает базовые определения (дробление, флотация, классификация), но с трудом применяет знания для решения расчетных и ситуационных задач.
- **«Неудовлетворительно»:** Незнание принципов работы оборудования и основ химии флотационных процессов.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

(Изменение: литература актуализирована, добавлены современные ЭБС)

6.1. Рекомендуемая литература 6.1.1. Основная литература:

1. Обогащение руд цветных металлов: учебник для вузов / В.А. Чантурия и др. — М.: Руда и металлы, 2021. — 450 с.
2. Флотационные методы обогащения: учебное пособие / А.А. Абрамов. — М.: Горная книга, 2020. — 620 с.
3. Технология и оборудование для обогащения минерального сырья: учебник / Е.Е. Андреев, В.Ю. Зайцев. — СПб.: Лань, 2022. — 384 с.

6.1.2. Дополнительная литература:

1. Чантурия В.А. Физико-химические основы управления селективностью флотации. — М.: Наука, 2019. — 288 с.
2. Серб-Сербина Н.Н. Флотация сульфидных минералов. — М.: Metallurgy, 2018. — 312 с.
3. Отчеты о научно-исследовательских работах ЗГУ по переработке медно-никелевых руд (доступно в ЭБС ЗГУ).

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. Электронный каталог ЗГУ — <http://biblio.norvuz.ru>
- Э4. Научная электронная библиотека eLibrary.ru — <https://www.elibrary.ru>

6.3. Программное обеспечение и справочные системы

- ПО1. Операционная система MS Windows 10/11 Professional.
- ПО2. MS Office Standard 2019/2021 (Word, Excel, PowerPoint).
- ПО3. Система автоматизированного проектирования (САПР) для построения технологических схем (AutoCAD / nanoCAD / Compass-3D).
- ИС1. Справочная система «КонсультантПлюс» (для работы с нормативными документами по недропользованию и экологии).

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- **Ауд. 108:** Лекционная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием для демонстрации 3D-моделей агрегатов и видеофильмов о работе обогатительных фабрик.
- **Ауд. 116:** Мультимедийный класс для выполнения расчетных работ и моделирования технологических схем.
- **Лаборатория обогащения полезных ископаемых:**
 - Щековая и конусная дробилки лабораторного масштаба.
 - Шаровые и стержневые мельницы периодического действия.
 - Набор стандартных сит для гранулометрического анализа.

- Лабораторные флотационные машины (МФЛ, механические ячейки).
 - Магнитные сепараторы.
 - Фильтровальные установки и сушильные шкафы.
 - Весы лабораторные, рН-метры, реагенты для флотации.
-

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

(Изменение: вместо шаблонного текста даны конкретные рекомендации по изучению химии флотации и работе с реагентами)

Общие рекомендации: Дисциплина «Обогащение руд цветных металлов» находится на стыке механики, физики и физической химии. Успешное освоение курса невозможно без понимания процессов на поверхности минералов. Особое внимание уделите разделу «Флотация», так как это основной метод переработки сульфидных руд в нашем регионе.

Рекомендации по работе на лекционных и практических занятиях:

- На лекциях фиксируйте не только названия реагентов, но и их химические формулы, а также механизм их взаимодействия с поверхностью минерала.
- При решении расчетных задач на практических занятиях всегда начинайте с составления схемы материального баланса. Используйте миллиметровую бумагу или ПО для построения кривых гранулометрического состава.
- Для запоминания реагентных режимов составляйте сравнительные таблицы (тип минерала — собиратель — пенообразователь — регулятор рН — депрессор).

Рекомендации по выполнению лабораторных работ и технике безопасности:

- Флотационные реагенты (ксантогенаты, дитиофосфаты, серная кислота) являются токсичными и легковоспламеняющимися. **Строго соблюдайте правила ТБ:** работайте в вытяжном шкафу, используйте средства индивидуальной защиты (перчатки, халат, очки).
- Перед началом лабораторной работы по флотации обязательно проверьте рН пульпы, так как от этого критически зависит селективность процесса.
- При оформлении отчета обязательно рассчитывайте технологические показатели: выход продуктов, содержание полезного компонента, извлечение.

Рекомендации по подготовке к промежуточной аттестации:

- За 3 недели: повторите физико-химические основы флотации (термодинамика, кинетика).
- За 2 недели: прорешайте все расчетные задачи по материальным балансам и циркуляционным нагрузкам.
- За 1 неделю: разберите ситуационные кейсы (особенно по влиянию серпентина и талька на флотацию). Подготовьте ответы на открытые вопросы из раздела 5.3.

Требования к допуску к экзамену:

- Посещение не менее 80% практических и лабораторных занятий.

- Защита всех лабораторных работ и расчетных заданий.
 - Положительная сдача рубежного контроля по разделу «Флотация».
-

ПРИЛОЖЕНИЯ

(Изменение: добавлен полноценный раздел приложений для завершенности программы)

Приложение А. Полный комплект Фонда оценочных средств (тестовые базы, карты оценивания кейсов, критерии защиты лабораторных работ) — размещен в ЭИОС ЗГУ. **Приложение Б.** Методические указания по выполнению расчетно-графической работы (РГР) «Проектирование технологической схемы обогащения медно-никелевой руды заданного минерального состава». **Приложение В.** Справочные таблицы: классификация флотационных реагентов, плотности минералов, стандартные ситовые анализы. **Приложение Г.** Шаблоны технологических схем (принципиальная, основная, подробная) для выполнения курсовых и расчетных работ.