

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Документ подписан простыми средствами
Информация о владельце: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
ФИО: Крюков Вадим Николаевич высшего образования
Должность: Проректор по образовательной деятельности и образовательной 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 редких 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 **6 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 216

в том числе:

аудиторные занятия 64

самостоятельная работа 107

Часы на контроль 45

Виды контроля в семестрах: зачет 7, экзамен 8

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)		8 (4.2)		Итого	
	уп	рп	уп	рп		
Неделя	14		6			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп	уп	рп
Лекции	14	14	12	12	26	26
Практические	14	14	24	24	38	38
В том числе электрон.	28	28			28	28
Итого ауд.	28	28	36	36	64	64
Контактная работа	28	28	36	36	64	64
Сам. работа	71	71	36	36	107	107
Часы на контроль	9	9	36	36	45	45
Итого	108	108	10	108	216	216

Программу составил(и):

Ст. преподаватель Каверзин Антон Викторович _____

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 переработки сложного сырья)

1.1. Цель дисциплины: Формирование у обучающихся комплексных профессиональных компетенций в области теории и практики пирометаллургических и гидрометаллургических процессов получения редких и тугоплавких металлов (вольфрам, молибден, тантал, ниобий, титан, рассеянные металлы), с особым акцентом на освоение прогрессивных, ресурсо- и энергосберегающих технологий (автоклавная переработка, жидкостная экстракция, электролиз).

1.2. Основные задачи дисциплины:

1. Изучить минералого-петрографический состав, физико-химические свойства и сферы стратегического применения редких металлов.
2. Освоить принципы и аппаратное оформление современных способов разложения концентратов: автоклавно-щелочное разложение, спекание, хлорирование и экстракционное извлечение.
3. Изучить технологические схемы получения чистых соединений и металлов (восстановление водородом, магниетермическое восстановление, электролиз расплавов и растворов).
4. Научиться анализировать технологические схемы, рассчитывать материальные балансы основных переделов и оценивать эффективность извлечения целевых компонентов из сложного многокомпонентного сырья.
5. Сформировать понимание принципов переработки техногенных ресурсов и вторичного сырья, содержащего редкие металлы, в рамках концепции циркулярной экономики.

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

(Изменение: логически выверены пререквизиты и постреквизиты, устранена избыточность)

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», «Физика», «Неорганическая химия», «Специальная химия», «Общие химические технологии», «Материаловедение», «Кристаллохимия», «Коррозия и защита металлов», «Аналитическая химия», «Физическая химия», «Метрология, стандартизация и сертификация», «Обогащение руд цветных металлов», «Металлургия тяжелых цветных металлов».

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

1. Основные процессы переработки металлургического сырья
2. Экология металлургического производства
3. Переработка техногенных ресурсов
4. Производственная (технологическая) практика

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

ПК-1.2: Использует основные принципы разработки технических решений и технологий в области металлургии. **ПК-2.2:** Определяет объекты металлургии с учетом фактора территориальной расположенности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен: 3.1. Знать:

1. Физико-химические основы процессов переработки концентратов редких металлов (термодинамика и кинетика автоклавного разложения, экстракции, хлорирования).
2. Конструктивные особенности и режимы работы современного оборудования (автоклавные реакторы, экстракторы, электролизеры, печи для восстановления водородом).
3. Принципы составления и анализа материальных балансов гидро- и пирометаллургических переделов получения редких металлов.
4. Современные экологические требования к переработке токсичных реагентов (плавиковая кислота, хлор, аммиак) и утилизации отходов.

3.2. Уметь:

1. Анализировать технологические схемы получения редких металлов, выявляя «узкие» места и точки потенциальной оптимизации.
2. Рассчитывать основные технологические параметры процессов (степень извлечения, расход реагентов, фазовый состав продуктов).
3. Обосновывать выбор метода переработки в зависимости от минералогического состава сырья и требуемой чистоты товарной продукции.
4. Интерпретировать данные технологического контроля и предлагать корректирующие воздействия при отклонениях режима.

3.3. Владеть:

1. Методикой расчета материальных балансов процессов гидрометаллургической переработки и электролиза.
2. Навыками работы со справочной литературой, фазовыми диаграммами и технологическими регламентами.
3. Методами оценки технико-экономической и экологической эффективности металлургических процессов.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(Изменение: содержание логически перегруппировано по группам металлов и типам процессов для лучшего усвоения)

Раздел 1. Тугоплавкие металлы: вольфрам и молибден

1. **Тема 1.1.** Свойства, сырьевая база и классификация редких металлов. Минералы, руды и требования к качеству вольфрамовых и молибденовых концентратов.
2. **Тема 1.2.** Способы переработки вольфрамовых концентратов: спекание с содой, автоклавно-щелочное разложение, разложение кислотами. Экстракционное извлечение из растворов вольфрамата натрия.
3. **Тема 1.3.** Переработка молибденовых концентратов: окислительный обжиг, гидрометаллургическая переработка молибденовых огарков. Производство чистого оксида молибдена (III) (способы возгонки, извлечение из маточных растворов, термическое разложение парамолибдата аммония).

Раздел 2. Тугоплавкие металлы: тантал, ниобий и титан

1. **Тема 2.1.** Свойства и сырьевая база тантала и ниобия. Способы переработки концентратов: сернокислотный способ переработки лопарита, разложение плавиковой кислотой, сплавление со щелочами. Экстракционное разделение тантала и ниобия и очистка от примесей.
2. **Тема 2.2.** Свойства и сырьевая база титана. Восстановительная плавка ильменита, получение искусственного рутила. Производство четыреххлористого титана и способы получения губчатого титана (процесс Кролля).

Раздел 3. Рассеянные металлы и вторичная металлургия

1. **Тема 3.1.** Источники сырья и способы извлечения рения, галлия, индия и германия (извлечение германия из пылей, получение галлия электролизом и цементацией, получение порошкообразного рения электролизом).
2. **Тема 3.2.** Вторичная металлургия редких металлов: классификация лома и отходов, прогрессивные методы извлечения тугоплавких и рассеянных металлов из техногенного сырья.

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ФОС)

(Изменение: добавлены современные форматы контроля: тесты, соответствие, открытые вопросы и производственные кейсы)

5.1. Тестовые задания для текущего контроля (примеры)

1. **Вопрос 1:** Какой метод является основным для разделения тантала и ниобия в современной гидрометаллургии? а) Фракционная кристаллизация; б) Жидкостная экстракция органическими растворителями; в) Электролиз расплавов. *(Правильный ответ: б)*
2. **Вопрос 2:** Какова главная цель окислительного обжига молибденового концентрата? а) Получение металлического молибдена; б) Перевод сульфида молибдена (MoS_2) в оксид (MoO_3) и удаление серы; в) Растворение примесей железа. *(Правильный ответ: б)*

5.2. Задания на установление соответствия

1. **Задание:** Установите соответствие между технологическим процессом и его основным назначением:
 - а. Автоклавно-содовое разложение → А) Перевод тугоплавкого минерала в растворимый вольфрамат натрия под давлением и при высокой температуре.

- b. Процесс Кролля → Б) Магнетермическое восстановление $TiCl_4$ для получения губчатого титана.
- c. Электролитическое получение галлия → В) Извлечение металла из щелочных растворов (например, алюминиевого производства) на катоде.
- d. Возгонка MoO_3 → Г) Очистка оксида молибдена от нелетучих примесей за счет высокой упругости пара оксида.

5.3. Открытые вопросы для устного опроса и рубежного контроля

1. Опишите термодинамические условия автоклавного разложения шеелитового концентрата и объясните роль давления и температуры в этом процессе.
2. В чем заключаются принципиальные отличия в технологии переработки сульфидных и окисленных руд редких металлов?
3. Объясните механизм влияния примесей (железа, кремния) на процесс экстракционного разделения тантала и ниобия. Как обеспечивается селективность процесса?
4. Каковы преимущества и ограничения гидрометаллургических методов переработки техногенного сырья, содержащего рассеянные металлы, по сравнению с пирометаллургией?

5.4. Ситуационные задачи (кейсы) для промежуточной аттестации

1. **Кейс 1 (Технологический).** На заводе по переработке молибденовых концентратов зафиксировано повышение содержания примесей (меди, свинца) в конечном продукте – чистом оксиде молибдена (III). Анализ показал нарушение температурного режима окислительного обжига и неполное выгорание сульфидов. Проанализируйте причины. Предложите комплекс технологических мероприятий для стабилизации процесса (корректировка подачи воздуха, многостадийный обжиг, дополнительная гидрометаллургическая очистка огарка).
2. **Кейс 2 (Гидрометаллургический).** При экстракционном разделении тантала и ниобия из серноокислотных растворов наблюдается резкое падение степени извлечения тантала в органическую фазу. Химический анализ показал снижение кислотности водной фазы ниже критического значения. Опишите алгоритм действий технолога по нормализации процесса (корректировка pH, регенерация или замена экстрагента, контроль фазового разделения).

5.5. Критерии оценивания

1. **«Отлично»:** Глубокое понимание физико-химических основ процессов, свободное ориентирование в прогрессивных технологиях (экстракция, автоклавные процессы), 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 протекания сложных химических реакций.
3. **«Удовлетворительно»:** Знание базовых определений и общих схем производства, решение простейших задач с использованием подсказок, поверхностное понимание отличий современных методов от традиционных.

4. **«Неудовлетворительно»:** Незнание основных этапов получения редких металлов, неумение объяснить принцип работы ключевого оборудования или рассчитать базовые технологические показатели.
-

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

(Изменение: литература актуализирована, добавлены современные пособия)

6.1. Рекомендуемая литература 6.1.1. Основная литература:

1. Зеликман А.Н., Крейн О.Е., Самсонов Г.В. *Металлургия редких металлов: Учебник для вузов.* – М.: МИСиС, 2018. – 450 с.
2. Набойченко С.С., Агеев Н.Г. *Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник для вузов.* – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – 480 с.
3. *Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья: сборник / под ред. В.А. Чантурия.* – М.: Руда и металлы, 2020. – 320 с.

6.1.2. Дополнительная литература:

1. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. *Теория гидрометаллургических процессов: Учеб. пособие для вузов.* – М.: Интермет инжиниринг, 2015. – 350 с.
2. Бобович Б.Б., Девяткин В.В. *Переработка отходов производства и потребления: Справочное изд.* – М.: Интермет инжиниринг, 2019. – 400 с.

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. Научная электронная библиотека eLibrary.ru – <https://www.elibrary.ru>

6.3. Программное обеспечение

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

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. **Ауд. 205:** Учебная аудитория для лекций и семинаров, оснащенная мультимедийным проектором для демонстрации 3D-моделей агрегатов и видеофильмов о работе цехов.
2. **Ауд. 210:** Компьютерный класс для выполнения расчетных работ по материальным балансам (15 ПК, доступ к ЭБС и инженерному ПО).
3. **Лаборатория металлургии редких металлов:** Учебные макеты экстракционных колонн и электролизеров, набор образцов сырья (вольфрамовые и молибденовые концентраты,

губчатый титан, порошки редких металлов), лабораторные установки для гидрометаллургических опытов, муфельные печи, аналитические весы.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

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

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 и давлении, зачем добавляется этот реагент (например, фториды при разложении лопарита), куда уходит целевой металл и примеси на каждой стадии.

Рекомендации по работе с технологическими схемами:

1. При изучении каждой темы начинайте с построения принципиальной технологической схемы передела.
2. На схеме обязательно указывайте: основное сырье, реагенты, основной продукт, побочные продукты (шламы, газы, маточные растворы) и возвращаемые в цикл оборотные материалы.
3. Используйте цветовую маркировку потоков (например, целевые металлы – синим, кислотные потоки – красным, органическая фаза – желтым).

Рекомендации по выполнению расчетных заданий:

1. Расчет материального баланса начинайте с выбора базы расчета (например, 100 кг концентрата или 1 тонна товарной продукции).
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 вольфрама 95% соответствует современным показателям для автоклавного процесса»).

Подготовка к промежуточной аттестации:

1. **За 4 недели:** повторите фазовые диаграммы и основы термодинамики гидрометаллургических процессов (экстракция, автоклавное разложение).
 2. **За 3 недели:** прорешайте задачи по расчету материального баланса переработки вольфрамовых и молибденовых концентратов.
 3. **За 2 недели:** разберите ситуационные кейсы из ФОС, сформулируйте для себя алгоритм действий технолога в нестандартной ситуации.
 4. **За 1 неделю:** повторите устройство и принципы работы ключевого оборудования (экстракторы, автоклавы, печи восстановления).
-

(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 автоклавного разложения вольфрамового концентрата» с пошаговым алгоритмом и примером оформления.

Приложение В. Альбом типовых технологических схем: гидрометаллургическая переработка молибденита, экстракционное разделение тантала и ниобия, процесс Кролля для получения титана.

Приложение Г. Глоссарий основных терминов дисциплины (автоклавное разложение, жидкостная экстракция, рафинирование, процесс Кролля, парамолибдат аммония, губчатый титан, коэффициент распределения и др.).