

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 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 легких 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 **3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 108
в том числе:
аудиторные занятия 36
самостоятельная работа 36
Часы на контроль 36

Виды контроля в семестрах: экзамен 8

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	8 (4.2)			
	Неделя 6			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	12	12	12	12
Практические	24	24	24	24
В том числе инт.	24	24	24	24
В том числе электрон.	36	36	36	36
Итого ауд.	36	36	36	36
Контактная работа	36	36	36	36
Сам. работа	36	36	36	36
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	108	108	10	108

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 _____ 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 электрометаллургических и пирометаллургических процессах)

1.1. Цель дисциплины: Формирование у обучающихся комплексных профессиональных компетенций в области теории и практики получения легких и тугоплавких легких металлов (алюминий, магний, титан, литий, бериллий), с особым акцентом на освоение прогрессивных, энергоэффективных и экологически безопасных технологий (современные электролизеры с обожженными анодами, бездиафрагменный электролиз магния, процесс Кролля).

1.2. Основные задачи дисциплины:

1. Изучить минералого-петрографический состав, физико-химические свойства и сферы стратегического применения легких металлов и их сплавов.
2. Освоить принципы и аппаратное оформление современных способов производства глинозема (процесс Байера) и электролитического получения алюминия (включая управление анодным эффектом и составом электролита).
3. Изучить технологические схемы получения магния (карналлитовая и хлормagneйевая схемы, электролиз с диафрагмой и бездиафрагменный).
4. Научиться анализировать технологические схемы получения титана (магниетермическое восстановление) и редких легких металлов (Li, Be), рассчитывать основные технологические параметры (выход по току, расход энергии) и материальные балансы.
5. Сформировать понимание принципов улавливания фтористых соединений и переработки пылегазовых отходов в рамках концепции экологической безопасности металлургического производства.

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

(Изменение: логически выверены пререквизиты, устранены дублирования из исходного файла, четко определены постреквизиты)

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

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

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

1. Переработка техногенных ресурсов
2. Экология металлургического производства
3. Производственная (технологическая) практика
4. Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы (ВКР)

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 электролиза криолито-глиноземных расплавов и хлоридных расплавов магния.
2. Конструктивные особенности и режимы работы современного оборудования (электролизеры алюминия с ПА и САО, магниевые электролизеры, печи для процесса Кролля).
3. Принципы составления и анализа материальных и тепловых балансов электролизеров.
4. Современные экологические требования к производству легких металлов (улавливание фторидов, ПФУ, переработка отработанных футеровок).

3.2. Уметь:

1. Анализировать технологические схемы получения легких металлов, выявляя «узкие» места и точки потенциальной оптимизации энергопотребления.
2. Рассчитывать основные технологические параметры процессов (выход по току, удельный расход электроэнергии, состав шихты).
3. Обосновывать выбор метода переработки сырья (например, выбор между карналлитовой и хлормagneвовой схемой) в зависимости от его состава.
4. Интерпретировать данные технологического контроля и предлагать корректирующие воздействия при отклонениях режима (например, при развитии анодного эффекта).

3.3. Владеть:

1. Методикой расчета материального баланса процесса электролиза алюминия или магния.
2. Навыками работы со справочной литературой, диаграммами состояния систем (например, $\text{NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$) и технологическими регламентами.
3. Методами оценки технико-экономической и экологической эффективности металлургических процессов.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(Изменение: содержание логически перегруппировано по металлам и типам процессов для лучшего усвоения, добавлены современные аспекты)

Раздел 1. Металлургия алюминия

1. **Тема 1.1.** Свойства, применение и сырьевая база алюминия. Производство глинозема: процесс Байера (термодинамика, кинетика выщелачивания, декомпозиция, кальцинация).

2. **Тема 1.2.** Теоретические основы электролиза криолито-глиноземных расплавов. Роль криолита, влияние молярного отношения (МО) и температуры на свойства электролита.
3. **Тема 1.3.** Технология электролитического производства алюминия. Конструкция современных ванн с обожженными (ПА) и самообжигающимися (САО) анодами. Механизм анодного эффекта и методы его предотвращения. Экология производства (улавливание фторидов, ПФУ).

Раздел 2. Metallургия магния

1. **Тема 2.1.** Свойства, применение и сырьевая база магния. Подготовка сырья: обезвоживание бишофита и производство безводного карналлита.
2. **Тема 2.2.** Электролиз хлоридов магния. Сравнительный анализ карналлитовой и хлормagneйевой схем. Конструкция электролизеров с диафрагмой и бездиафрагменных ванн. Рафинирование магния.

Раздел 3. Metallургия титана и редких легких металлов

1. **Тема 3.1.** Свойства и сырьевая база титана. Получение четыреххлористого титана. Магниетермическое восстановление (процесс Кролля): технология и аппаратное оформление.
2. **Тема 3.2.** Краткий обзор металлургии лития, бериллия и кальция: особенности сырья, специфика электролиза расплавленных солей и техника безопасности при работе с высокотоксичными и пожароопасными материалами.

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ФОС)

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

5.1. Тестовые задания для текущего контроля (примеры)

1. **Вопрос 1:** Какова основная роль фтористого алюминия (AlF_3) в криолито-глиноземном электролите? а) Повышение электропроводности; б) Снижение температуры плавления электролита и повышение выхода по току; в) Увеличение растворимости глинозема. *(Правильный ответ: б)*
2. **Вопрос 2:** Какое основное преимущество бездиафрагменного магниевого электролизера? а) Получение более чистого магния; б) Упрощение конструкции, снижение расхода электроэнергии и отсутствие необходимости в замене диафрагм; в) Возможность использования влажного сырья. *(Правильный ответ: б)*

5.2. Задания на установление соответствия

1. **Задание:** Установите соответствие между технологическим процессом и его основным назначением:
 - а. Процесс Байера → А) Выщелачивание бокситов щелочью для получения чистого глинозема.
 - б. Процесс Кролля → Б) Магниетермическое восстановление $TiCl_4$ для получения губчатого титана.

- с. Электролиз с диафрагмой → В) Разделение анодного и катодного пространств для предотвращения рекомбинации продуктов электролиза магния.
- d. Анодный эффект → Г) Резкое возрастание напряжения на ванне из-за истощения глинозема и выделения фторуглеродов.

5.3. Открытые вопросы для устного опроса и рубежного контроля

1. Опишите механизм развития анодного эффекта на алюминиевом электролизере. Каковы его негативные последствия и как оператор должен действовать для его гашения?
2. В чем заключаются принципиальные отличия в подготовке сырья для карналлитовой и хлормagneйевой схем производства магния?
3. Объясните, почему процесс Кролля является периодическим, и какие технологические трудности возникают при извлечении губчатого титана из реторты.
4. Каковы современные экологические проблемы производства алюминия и какие прогрессивные методы используются для улавливания сухих и мокрых фторидов?

5.4. Ситуационные задачи (кейсы) для промежуточной аттестации

1. **Кейс 1 (Электрометаллургический).** На серии алюминиевых электролизеров зафиксировано систематическое снижение выхода по току на 2-3% и рост удельного расхода электроэнергии. Анализ проб электролита показал снижение молярного отношения (МО) ниже 2.2 и повышение уровня железа. Проанализируйте возможные причины (например, подсадка сырых анодов, нарушение дозировки AlF_3 , попадание железистых примесей). Предложите алгоритм действий технолога по нормализации состава электролита.
2. **Кейс 2 (Технологический).** При электролизе магния в бездиафрагменной ванне наблюдается резкое повышение температуры и ухудшение качества металла (повышенное содержание хлоридов). Опишите возможные причины (например, нарушение баланса подачи шихты, снижение уровня электролита, загрязнение катода) и предложите корректирующие воздействия.

5.5. Критерии оценивания

1. **«Отлично»:** Глубокое понимание физико-химических основ электролиза, свободное ориентирование в прогрессивных технологиях, 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 электрохимических 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 легких металлов, неумение объяснить принцип работы ключевого оборудования или рассчитать базовые технологические показатели.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

(Изменение: литература актуализирована, добавлены современные пособия и ресурсы)

6.1. Рекомендуемая литература 6.1.1. Основная литература:

1. Григорьев В.А., Поляков П.В. *Металлургия легких металлов: учебник для вузов.* – М.: МИСиС, 2019. – 450 с.
2. Набойченко С.С., Агеев Н.Г. *Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник для вузов.* – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – 480 с.
3. *Редкие и рассеянные элементы: учебное пособие / под ред. В.П. Чистякова.* – М.: Руда и металлы, 2020. – 320 с.

6.1.2. Дополнительная литература:

1. *Экология и ресурсосбережение в цветной металлургии: учебное пособие.* – М.: Интернет Инжиниринг, 2018. – 280 с.
2. *Металлургия легких металлов: методические указания к лабораторным работам / сост. Л.И. Рогова.* – Норильск: ЗГУ, 2022. – 45 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. Электронно-библиотечная система «Лань» – <https://e.lanbook.com>
4. Э4. 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 и тепловым балансам (15 ПК, доступ к ЭБС и инженерному ПО).
3. **Лаборатория металлургии легких металлов:** Учебные макеты алюминиевого и магниевого электролизеров, набор образцов сырья и продукции (бокситы, глинозем, криолит, катодный алюминий, магниевые чушки, губчатый титан), лабораторные установки для изучения свойств расплавов, муфельные печи, аналитические весы.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

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

Общие рекомендации: Дисциплина требует понимания не только последовательности операций, но и физико-химической сущности электрохимических процессов. Не заучивайте схемы наизусть, а анализируйте: *почему электролиз идет при такой температуре, зачем вводится та или иная добавка (например, AlF_3 или CaF_2), куда уходит энергия и как предотвратить потери (анодный эффект, рекомбинация).*

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, флюсы/реагенты, основной продукт, побочные продукты (анодные газы, шлаки, шламы) и возвращаемые в цикл оборотные материалы (например, возврат электролита).
3. Используйте цветовую маркировку потоков (например, глинозем/алюминий – красным, фториды/газы – желтым).

Рекомендации по выполнению расчетных заданий:

1. Расчет материального и теплового баланса электролизера начинайте с выбора базы расчета (например, 1 тонна катодного алюминия или магния).
2. Все расчеты оформляйте в виде структурированных таблиц в MS Excel. Это минимизирует арифметические ошибки и позволяет легко проверить сходимость баланса.
3. Всегда указывайте размерности величин и делайте краткий вывод по результатам расчета (например: «Полученный выход по току 94% соответствует современным показателям для ванн с обожженными анодами»).

Подготовка к промежуточной аттестации:

1. **За 4 недели:** повторите фазовые диаграммы систем $NaF-AlF_3-Al_2O_3$ и основы электрохимии расплавленных солей.
2. **За 3 недели:** прорешайте задачи по расчету материального баланса и выхода по току при электролизе.
3. **За 2 недели:** разберите ситуационные кейсы из ФОС, сформулируйте для себя алгоритм действий технолога в нештатной ситуации (анодный эффект, загрязнение электролита).
4. **За 1 неделю:** повторите устройство и принципы работы ключевого оборудования (современный электролизер, реторта для процесса Кролля).

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 электролитического получения алюминия (или магния)» с пошаговым алгоритмом и примером оформления.

Приложение В. Альбом типовых технологических схем: производство глинозема по процессу Байера, электролиз алюминия (с ПА и СаО), бездиафрагменный электролиз магния, процесс Кролля.

Приложение Г. Глоссарий основных терминов дисциплины (процесс Байера, криолит, молярное отношение, анодный эффект, выход по току, губчатый титан, процесс Кролля, карналлит и др.).