

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 инновационной 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 ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

## Металлургия свинца и цинка

### рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Металлургии, машин и оборудования**  
Учебный план 22.03.02\_бак\_очн\_ТМ-2026.rlx  
Направление подготовки: **Металлургия**

**бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **5 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 180  
в том числе:  
аудиторные занятия 48  
самостоятельная работа 105  
Часы на контроль 27

Виды контроля в семестрах: экзамен 6

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	6 (3.2)			
	Неделя 16			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	16	16	16	16
Практические	32	32	32	32
Итого ауд.	48	48	48	48
Контактная работа	48	48	48	48
Сам. работа	105	105	105	105
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	180	180	180	180

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 конкретизированы, добавлен акцент на современные автогенные процессы, гидрометаллургию цинка и экологическую безопасность)*

**1.1. Цель дисциплины:** Формирование у обучающихся комплексных профессиональных компетенций в области теории и практики пирометаллургических и гидрометаллургических процессов получения свинца и цинка, с особым акцентом на прогрессивные автогенные методы плавки, глубокую очистку растворов и обеспечение экологической безопасности за счет улавливания сернистого газа.

### 1.2. Основные задачи дисциплины:

- Изучить минералогический состав и физико-химические свойства свинцовых и цинковых концентратов, а также полиметаллических руд.
- Освоить термодинамику и кинетику процессов агломерирующего обжига, шахтной и автогенной плавки свинца (в т.ч. процессы КИВЦЭТ, QSL).
- Изучить современные гидрометаллургические схемы переработки цинка: обжиг в кипящем слое, выщелачивание, очистку растворов и электролиз.
- Овладеть методикой составления серных и материальных балансов металлургических переделов.
- Сформировать понимание принципов комплексного использования сырья и переработки вторичных ресурсов (аккумуляторный лом, вельцевание шлаков).

---

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

*(Изменение: исправлены логические ошибки в постреквизитах, выстроена четкая преемственность знаний)*

**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», «Кристаллохимия», «Физико-химические основы металлургических процессов», «Обогащение руд цветных металлов».

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

- Теория гидрометаллургических процессов
  - Переработка техногенных ресурсов
  - Проектирование металлургических цехов
  - 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 обжига, плавки и рафинирования свинца и цинка.
- Конструктивные особенности и режимы работы агрегатов: агломерационных машин, шахтных печей, аппаратов КИВЦЭТ, реакторов кипящего слоя, электролизеров.
- Схемы глубокой очистки цинковых электролитов от примесей (железа, меди, кадмия).
- Принципы организации сернокислотного производства для улавливания SO<sub>2</sub> из печных газов.

#### 3.2. Уметь:

- Анализировать технологические схемы и выбирать оптимальный метод переработки в зависимости от состава сырья.
- Рассчитывать материальные, тепловые и серные балансы процессов обжига и плавки.
- Интерпретировать данные фазовых диаграмм (Pb-S, Zn-Fe-S-O) для прогнозирования поведения компонентов.

#### 3.3. Владеть:

- Методикой расчета технологических показателей (степень извлечения, расход реагентов, удельный расход электроэнергии).
- Навыками работы с нормативно-технической документацией и патентными базами в области цветной металлургии.
- Методами оценки экологической эффективности металлургических производств.

---

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

*(Изменение: содержание логически перегруппировано, добавлены современные прогрессивные и экологические аспекты)*

#### Раздел 1. Металлургия свинца

- **Тема 1.1.** Сырьевая база свинцового производства. Подготовка концентратов к плавке. Агломерирующий обжиг: термодинамика, кинетика, устройство ленточных спекательных машин.
- **Тема 1.2.** Восстановительная плавка свинцового агломерата в шахтных печах. Термодинамика восстановления, распределение компонентов по продуктам плавки, требования к шлакам.
- **Тема 1.3.** Прогрессивные автогенные методы плавки свинцовых концентратов. Кислородно-факельная плавка в аппарате КИВЦЭТ-ЦС. Процессы в ванне расплава (QSL, Ausmelt). Сравнительная эффективность и экологические преимущества.

- **Тема 1.4.** Рафинирование черного свинца. Пирометаллургические методы (обезмеживание, деарсенирование, обезвисмучивание). Электролитическое рафинирование.
- **Тема 1.5.** Комплексная переработка отходов свинцового производства. Фьюмингование и вельцевание шлаков. Переработка свинцовых аккумуляторов.

## Раздел 2. Metallургия цинка

- **Тема 2.1.** Сырьевая база и физико-химические свойства цинка. Обжиг цинковых концентратов в печах кипящего слоя. Материальный и тепловой баланс обжига.
- **Тема 2.2.** Выщелачивание обожженного продукта. Нейтральное и кислотное выщелачивание. Очистка растворов сульфата цинка от примесей (цементация, методы удаления железа: ярозитный, гетитный, паргозитный процессы).
- **Тема 2.3.** Электролиз растворов сульфата цинка. Подготовка электролита, конструкция электролизеров, катоды и аноды. Выход по току и удельный расход электроэнергии.
- **Тема 2.4.** Переработка цинковых кеков и пылей. Пирометаллургические (вельцевание) и гидromеталлургические методы извлечения цветных и благородных металлов из вторичного сырья.

## Раздел 3. Экология и комплексное использование сырья

- **Тема 3.1.** Улавливание и переработка сернистых газов металлургических производств. Производство элементарной серы и серной кислоты (нитрозный и контактный методы).
- **Тема 3.2.** Очистка сточных вод и газоочистка в свинцово-цинковом производстве. Современные требования к экологической безопасности.

## 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 из перечисленных процессов относится к автогенной плавке свинцовых концентратов во взвешенном состоянии? а) Шахтная плавка; б) КИВЦЭТ; в) Электротермическая плавка; г) Вельцевание. *(Правильный ответ: б)*
- **Вопрос 2:** Какой процесс преимущественно применяется для удаления железа из цинковых электролитов в современной гидromеталлургии? а) Цементация цинковой пылью; б) Ярозитный или гетитный процесс; в) Экстракция диэтиловым эфиром; г) Осаждение гидроксидом натрия. *(Правильный ответ: б)*

### 5.2. Задания на установление соответствия

- **Задание:** Установите соответствие между металлургическим агрегатом/процессом и его основным назначением:
  1. Аппарат КИВЦЭТ -> А) Прямая автогенная плавка свинцовых концентратов с получением черного свинца и сернистого газа.

2. Электролизер цинкового завода -> Б) Осаждение металлического цинка из очищенного сульфатного раствора.
3. Вельц-печь -> В) Оздоровление (обеднение) шлаков и переработка пылей с извлечением цинка и свинца.
4. Контактная серноокислотная система -> Г) Улавливание диоксида серы из печных газов для производства товарной  $H_2SO_4$ .

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

- Вопрос 1. Объясните термодинамические условия селективного окисления свинца в присутствии цинка при агломерирующем обжиге. Почему цинк переходит в ферритную форму, трудно поддающуюся выщелачиванию?
- Вопрос 2. Опишите механизм цементационной очистки цинкового электролита от меди и кадмия. Почему необходимо строгое контроль потенциала и расхода цинковой пыли?
- Вопрос 3. В чем заключаются физико-химические преимущества процесса КИВЦЭТ перед традиционной агломерацией и шахтной плавкой свинца с точки зрения экологии и энергозатрат?
- Вопрос 4. Как влияет присутствие кобальта и мышьяка в цинковом концентрате на технологию его переработки? Какие дополнительные переделы необходимо ввести в схему?

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

- **Кейс 1 (Технологический/Экологический).** На свинцовом заводе произошло резкое снижение качества агломерата из-за высокого содержания цинка и железа в концентрате. Агломерат стал хрупким, а в шахтной печи вырос расход кокса и ухудшилось разделение на штейн и шлак. Предложите комплекс мероприятий: как изменить состав шихты (флюсование), температурный режим обжига или рассмотреть переход на альтернативную схему плавки (например, ISF или КИВЦЭТ)?
- **Кейс 2 (Гидрометаллургический).** На цинковом заводе в цикле нейтрального выщелачивания накопилось критическое количество железа (более 3 г/л), что привело к ухудшению фильтруемости пульпы и загрязнению катода. Проанализируйте причины. Предложите переход на один из современных методов осаждения железа (ярозитный, гетитный или паргозитный), обоснуйте выбор, опишите технологические параметры (pH, температура, реагенты) и рассчитайте изменение выхода цинка.

### 5.5. Критерии оценивания

- **«Отлично»:** Глубокое понимание физико-химических основ процессов, свободное ориентирование в прогрессивных технологиях (КИВЦЭТ, ярозитный процесс), умение самостоятельно составлять материальные и серные 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 свинца и цинка, неумение объяснить принцип работы ключевого оборудования или рассчитать базовые технологические показатели.
- 

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

*(Изменение: литература актуализирована, убраны устаревшие источники 1980-х годов)*

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

1. Металлургия тяжелых цветных металлов: учебник для вузов / Под ред. Д.К. Кожеурова. – М.: Metallurgia, 2021. – 450 с.
2. Набойченко С.С., Агеев Н.Г. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2020. – 512 с.
3. Гидрометаллургия цветных металлов: учебное пособие / А.А. Абрамов. – М.: Горная книга, 2022. – 410 с.

### 6.1.2. Дополнительная литература:

1. Прогрессивные технологии переработки минерального сырья: монография / В.А. Чантурия. – М.: Наука, 2023. – 320 с.
2. Экологические аспекты металлургического производства: учебное пособие / И.В. Федоров. – М.: Юрайт, 2024. – 280 с.

### 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>

### 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).
  - 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 (КИБЦЭТ, электролизеры).
- **Ауд. 116:** Компьютерный класс для выполнения расчетных работ по материальным и серным балансам (15 ПК, доступ к ЭБС).
- **Лаборатория металлургии цветных металлов:** Учебные макеты аппарата КИБЦЭТ и шахтной печи, набор образцов сырья (свинцовые и цинковые концентраты, агломерат, катодный цинк), лабораторная установка для электролиза, муфельные печи, весы.

---

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

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

**Общие рекомендации:** Дисциплина разделена на два принципиально разных блока: пирометаллургия свинца и гидрометаллургия цинка. Ваша главная задача — не просто заучить последовательность операций, а понять *почему* свинец плавят (из-за высокой температуры плавления и летучести его соединений), а цинк выщелачивают (из-за амфотерности и электрохимических свойств).

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

- При изучении свинца обязательно разберите диаграмму Pb-S. Поймите, как меняются условия восстановления оксидов в зависимости от температуры и парциального давления кислорода.
- При изучении цинка сосредоточьтесь на диаграмме Zn-Fe-S-O. Именно поведение железа при обжиге и выщелачивании является «узким местом» всей технологии.
- Рисуйте принципиальные технологические схемы самостоятельно, выделяя цветом потоки серы — это ключ к пониманию экологии производства.

### Рекомендации по выполнению расчетных заданий:

- Расчет материального баланса всегда начинайте с выбора базы (например, 100 кг концентрата).
- При расчете обжига и плавки свинца особое внимание уделяйте **серному балансу**. Распределение серы между газом, агломератом и штейном — главный показатель экологичности процесса.
- При расчете электролиза цинка строго следите за размерностями: выход по току, удельный расход электроэнергии (кВт·ч/т) и плотность тока (А/м<sup>2</sup>) жестко связаны законом Фарадея.

### Техника безопасности и охрана труда:

- Свинец и его соединения — кумулятивные яды. При работе с концентратами и агломератом в лаборатории строго используйте СИЗ (респираторы, перчатки), не принимайте пищу в лабораториях.
- Цинковые электролиты содержат серную кислоту. При работе с ними соблюдайте правила обращения с кислотами (защитные очки, фартуки).

### Подготовка к промежуточной аттестации:

- За 4 недели: повторите физиго-химию пирометаллургических процессов (термодинамика восстановления).
- За 3 недели: прорешайте задачи по серным и материальным балансам.
- За 2 недели: разберите ситуационные кейсы из ФОС (особенно по удалению железа из цинковых растворов).
- За 1 неделю: повторите устройство и принципы работы ключевого оборудования (КИВЦЭТ, реактор кипящего слоя, электролизер).

---

## 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 и серного баланса процесса агломерирующего обжига свинцового концентрата» с пошаговым алгоритмом.

**Приложение В.** Альбом типовых технологических схем: пирометаллургическое получение свинца (агломерация-шахтная плавка и КИВЦЭТ), гидрометаллургическое получение цинка (с ярозитным и гетитным методами удаления железа).

**Приложение Г.** Глоссарий основных терминов дисциплины (КИВЦЭТ, вельцевание, ярозитный процесс, цементация, выход по току, феррит цинка и др.).