

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Документ подписан проставлен в электронном виде
 Информация о владельце: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 ФИО: Крюков Вадим Николаевич высшего образования
 Должность: Проректор по образовательной деятельности и инновационной политике
 «Заплярный 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.

Переработка техногенных ресурсов

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	
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 сфокусированы на современных трендах циркулярной экономики, ресурсосбережения и экологии)

1.1. Цель дисциплины: Формирование у обучающихся комплекса профессиональных компетенций в области теории и практики пирометаллургических и гидрометаллургических процессов переработки вторичного и техногенного сырья (шлаков, пылей, шламов, лома), с особым акцентом на извлечение цветных и благородных металлов в рамках концепции циркулярной экономики и устойчивого развития (ESG).

1.2. Основные задачи дисциплины:

1. Изучить классификацию, минералогический состав и физико-химические свойства основных видов техногенного сырья металлургического комплекса.
2. Освоить принципы подготовки вторичного сырья к переработке (сортировка, брикетирование, окускование) и методы его пирометаллургической переработки (переплав, конвертирование, шахтная плавка).
3. Изучить современные гидрометаллургические схемы выщелачивания, цементации и экстракции цветных и благородных металлов из техногенных отходов.
4. Научиться рассчитывать материальные балансы процессов переработки вторичного сырья и оценивать технико-экономическую и экологическую эффективность возврата компонентов в основной цикл.
5. Сформировать понимание принципов очистки и возврата оборотных вод металлургических производств.

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

(Изменение: логически выверены пререквизиты и постреквизиты)

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: «Введение в профиль», «Неорганическая химия», «Физическая химия», «Аналитическая химия», «Кристаллохимия», «Металлургическая теплотехника», «Коррозия и защита металлов», «Металлургия благородных металлов», «Переработка серосодержащих газов».

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

1. Металлургия легких металлов
2. Металлургия редких металлов
3. Основные процессы переработки металлургического сырья
4. Экология металлургического производства
5. Производственная (технологическая) практика

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. Закономерности распределения цветных и благородных металлов между продуктами плавки и отвалами при переработке техногенного сырья.
2. Конструктивные особенности и режимы работы оборудования для переработки вторичного сырья (печи Ванюкова, отражательные печи, автоклавы, экстракторы).
3. Принципы составления материальных и тепловых балансов переделов переработки шлаков, пылей и шламов.
4. Современные экологические нормативы и требования к оборотному водоснабжению и обезвреживанию токсичных отходов.

3.2. Уметь:

1. Анализировать химический и фазовый состав техногенного сырья для выбора оптимальной схемы его переработки.
2. Рассчитывать основные технологические параметры (расход флюсов, извлечение металла, емкость катионитов) при переработке вторичных ресурсов.
3. Обосновывать выбор пирометаллургического или гидromеталлургического метода в зависимости от состава сырья и экономических факторов.
4. Разрабатывать схемы замкнутого водооборота и системы очистки сточных вод.

3.3. Владеть:

1. Методикой расчета материальных балансов процессов переработки техногенного сырья.
2. Навыками работы с нормативно-технической документацией (ГОСТы на лом, классификаторы отходов).
3. Методами оценки экономической эффективности внедрения ресурсосберегающих и экологических технологий.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(Изменение: содержание логически перегруппировано в смысловые модули)

Модуль 1. Теоретические основы и подготовка техногенного сырья

1. **Тема 1.1.** Классификация техногенного сырья. Источники образования металлургических шлаков, пылей, шламов и вторичного лома.

2. **Тема 1.2.** Первичная обработка и подготовка сырья к переработке: сортировка, электромагнитная сепарация, разделка, пакетирование и брикетирование.

Модуль 2. Пирометаллургические и гидрометаллургические методы переработки

1. **Тема 2.1.** Пирометаллургические методы переработки техногенного сырья: особенности плавки в шахтных, электропечах и печах Ванюкова. Переработка конверторных и отражательных шлаков.
2. **Тема 2.2.** Гидрометаллургические методы: выщелачивание, цементация, электроэкстракция и осаждение металлов в виде гидроксидов из техногенных растворов.

Модуль 3. Извлечение благородных и цветных металлов из специфического сырья

1. **Тема 3.1.** Характеристика и переработка техногенного сырья, содержащего благородные металлы (анодные шламы, электронного лома).
2. **Тема 3.2.** Особенности получения цветных металлов из свинцово-цинковых шлаков и металлургических пылей.

Модуль 4. Экология, водооборот и ТЭО схем

1. **Тема 4.1.** Обратное водоснабжение. Физические, химические и физико-химические способы очистки сточных вод металлургических производств.
2. **Тема 4.2.** Технично-экономическое обоснование рациональной схемы переработки техногенного сырья. Расчет коэффициентов комплексности использования сырья.

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ФОС)

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

5.1. Тестовые задания для текущего контроля (примеры)

1. **Вопрос 1:** Какой метод преимущественно применяется для извлечения остаточной меди из отвальных шлаков медного производства? а) Прямая плавка на штейн; б) Мелкое измельчение и флотация или гидрометаллургическое выщелачивание; в) Электролитическое рафинирование. *(Правильный ответ: б)*
2. **Вопрос 2:** Что является основным **目的** (целью) брикетирования металлургической пыли? а) Уменьшение объема для захоронения; б) Возврат в пирометаллургический передел для предотвращения выноса пыли газами и извлечения цветных металлов; в) Получение строительных материалов. *(Правильный ответ: б)*

5.2. Задания на установление соответствия

1. **Задание:** Установите соответствие между видом техногенного сырья и основным методом его переработки:
 - а. Медные анодные шламы -> А) Окислительный обжиг, кислотное выщелачивание, извлечение благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd).
 - б. Конверторные шлаки черновой меди -> Б) Медленное охлаждение, магнитная сепарация, флотация для возврата меди в цикл.

- с. Свинцово-цинковые пыли -> В) Окускование (агломерация) и возврат в плавильные агрегаты или гидрометаллургическое выщелачивание.
- d. Отработанные катализаторы и электронный лом -> Г) Пирометаллургическая плавка с получением черновых сплавов с последующим электролитическим рафинированием.

5.3. Открытые вопросы для устного опроса и рубежного контроля

1. Объясните физико-химические причины потерь цветных металлов со шлаками. Какие факторы (температура, вязкость, парциальное давление кислорода) влияют на степень извлечения металла в шлак?
2. В чем заключаются принципиальные отличия в технологии переработки первичных сульфидных концентратов и вторичного медьсодержащего лома?
3. Опишите механизм и технологическую схему извлечения золота и серебра из медных анодных шламов. Какова роль селенирования в этом процессе?
4. Как рассчитывается «коэффициент комплексности использования сырья» и почему его максимизация является ключевым показателем ESG-стратегии современного металлургического предприятия?

5.4. Ситуационные задачи (кейсы) для промежуточной аттестации

1. **Кейс 1 (Пирометаллургический).** На медеплавильном заводе накоплены большие объемы конверторных шлаков с содержанием меди 3.5%. Прямой возврат в печь Ванюкова приводит к резкому росту расхода топлива и флюсов из-за высокого содержания железа. Предложите комплексную технологическую схему переработки этих шлаков, включающую стадию охлаждения/модификации и стадию обогащения, позволяющую вернуть медь в основной цикл и получить товарный железный концентрат или строительный материал из отвальных хвостов.
2. **Кейс 2 (Гидрометаллургический и экологический).** Предприятие переходит на схему замкнутого водооборота. В оборотных водах накопилось высокое содержание сульфат-ионов и тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni), что приводит к коррозии оборудования и росту удельной электропроводности. Опишите алгоритм действий технолога по выбору метода очистки (реагентное осаждение, ионный обмен или обратный осмос) для обеспечения нормативов сброса и возврата воды в цикл.

5.5. Критерии оценивания

1. **«Отлично»:** Глубокое понимание физико-химических основ переработки вторичного сырья, свободное ориентирование в современных ресурсосберегающих технологиях, умение самостоятельно составлять материальные балансы, аргументированное решение производственных кейсов с учетом экологии.
2. **«Хорошо»:** Хорошее знание основных переделов, умение решать типовые расчетные задачи, незначительные неточности в объяснении механизмов распределения примесей между шлаком и металлом.
3. **«Удовлетворительно»:** Знание базовых определений и общих схем переработки техногенного сырья, решение простейших задач с использованием подсказок, поверхностное понимание отличий переработки вторичного сырья от первичного.

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

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

(Изменение: литература и ПО критически обновлены до стандартов 2026 года)

6.1. Рекомендуемая литература 6.1.1. Основная литература:

1. Набойченко С.С., Агеев Н.Г. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник для вузов. – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – 480 с.
2. Чантурия В.А. Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального и техногенного сырья: монография. – М.: Руда и металлы, 2020. – 320 с.
3. Экология и ресурсосбережение в цветной металлургии: учебное пособие / под ред. Л.В. Крупнова. – Норильск: ЗГУ, 2022. – 210 с.

6.1.2. Дополнительная литература:

1. Бобович Б.Б., Девяткин В.В. Переработка отходов производства и потребления: Справочное изд. – М.: Интермет инжиниринг, 2019. – 400 с.
2. Отчеты об устойчивом развитии и производственные регламенты ПАО «ГМК «Норильский никель» (актуальные версии, разделы «Экология и переработка отходов»).

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 инженерных расчетов и массовых балансов, PowerPoint для презентаций).
 3. ПО3. Системы автоматизированных инженерных расчетов (MathCAD или Python с библиотеками SciPy для моделирования гидрометаллургических процессов).
 4. ПО4. Программы для чтения PDF-документов (ABBYY FineReader 15 или Adobe Acrobat Reader DC).
-

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 печей и видеофильмов о работе цехов переработки шлаков.
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 материальных балансов.
3. **Ауд. 238 (Лабораторная/Практическая):** Специализированная аудитория, оснащенная учебными стендами для демонстрации процессов флотации шламов, лабораторными установками для выщелачивания, муфельными печами, аналитическими весами и вытяжными шкафами.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

(Изменение: вместо шаблонного текста даны конкретные профессиональные рекомендации)

Общие рекомендации: Дисциплина «Переработка техногенных ресурсов» находится на стыке металлургии, экономики и экологии. Ваша главная задача — понять, *почему* переработка отходов сегодня является не просто «заботой об экологии», а критически важным источником прибыли (концепция циркулярной экономики). Не заучивайте схемы, а анализируйте: какова себестоимость извлечения металла из шлака по сравнению с рудой? Какие примеси мешают процессу? Куда девать конечные хвосты?

Рекомендации по работе с технологическими схемами:

1. При изучении каждой темы начинайте с построения блок-схемы: Сырье (отход) -> Подготовка -> Основной передел -> Товарный продукт -> Отвал/Экология.
2. Особое внимание уделите разделу «Водооборот». В современной металлургии сброс неочищенных вод запрещен. Вы должны четко понимать разницу между физическими, химическими и физико-химическими методами очистки.

Рекомендации по выполнению расчетных заданий:

1. Расчет материального баланса переработки техногенного сырья всегда начинайте с определения базы расчета (например, 1 тонна перерабатываемого шлака или пыли).
2. Все расчеты оформляйте в MS Excel, используя формулы. Это позволит вам легко варьировать исходные данные (например, содержание металла в отвале) и смотреть, как изменится экономический эффект.
3. При расчете коэффициентов комплексности всегда указывайте, какие именно сопутствующие компоненты (Au, Ag, Se, Te, Fe) были извлечены и какой экономический вклад они внесли.

Подготовка к промежуточной аттестации (Зачет/Экзамен):

1. **За 3 недели:** Повторите основы пирометаллургии и гидрометаллургии, сделав акцент на поведении примесей при переработке вторичного сырья.
2. **За 2 недели:** Прорешайте задачи по расчету материального баланса переработки шлаков и пылей.

3. **За 1 неделю:** Разберите ситуационные кейсы из ФОС, повторите современные экологические нормативы и принципы замкнутого водооборота.
-

ПРИЛОЖЕНИЯ

(Изменение: добавлен полноценный блок 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 баланса и ТЭО схемы переработки металлургического шлака» с пошаговым алгоритмом и примером оформления.

Приложение В. Альбом типовых технологических схем: переработка конверторных шлаков, извлечение благородных металлов из анодных шламов, схемы замкнутого водооборота металлургических предприятий.

Приложение Г. Глоссарий основных терминов дисциплины (техногенное сырье, циркулярная экономика, коэффициент комплексности, цементация, отвальные шлаки, обратное водоснабжение, брикетирование и др.).