

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего образования
 «Запорожский государственный университет им. Н.М. Федоровского»
 (ЗГУ)
 Документ подписан проставив печать
 Информация о владельце:
 ФИО: Крюков Вадим Николаевич
 Должность: Проректор по образовательной деятельности и образовательной политике
 Дата подписания: 25.06.2026 10:53:29
 Уникальный программный ключ:
 1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

УТВЕРЖДАЮ
 Проректор по ОД и МП
 _____ Крюков В.Н.

Металлургия благородных 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

Виды контроля в семестрах: зачет с оценкой 6, экзамен 7

в том числе:
 аудиторные занятия 60
 самостоятельная работа 102
 Часы на контроль 54

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	6 (3.2)		7 (4.1)		Итого	
	уп	рп	уп	рп		
Неделя	16		14			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп	уп	рп
Лекции	16	16	14	14	30	30
Практические	16	16	14	14	30	30
В том числе инт.	18	18	12	12	30	30
В том числе электрон.	26	26	28	28	54	54
Итого ауд.	32	32	28	28	60	60
Контактная работа	32	32	28	28	60	60
Сам. работа	49	49	53	53	102	102
Часы на контроль	27	27	27	27	54	54
Итого	108	108	108	108	216	216

Программу составил(и):

Ст. преподаватель Каверзин А.В. _____

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)

1.1. Цель дисциплины: Формирование у обучающихся комплексных профессиональных компетенций в области теории и практики технологий извлечения и аффинажа благородных металлов (золото, серебро, платиновая группа), с особым акцентом на освоение прогрессивных гидрометаллургических методов (цианирование, сорбция, экстракция), переработку упорных руд и вторичного сырья.

1.2. Основные задачи дисциплины:

1. Изучить минералого-петрографический состав и физико-химические свойства благородных металлов, особенности их нахождения в земной коре и формах существования в рудах.
2. Освоить принципы и аппаратное оформление прогрессивных методов обогащения золото- и серебросодержащих руд: гравитационные методы, флотация, цианирование.
3. Изучить современные гидрометаллургические схемы извлечения благородных металлов: сорбционные методы (RIP, RIL, CIP, CIL), цементация, жидкостная экстракция, ионообменная сорбция.
4. Научиться анализировать технологические схемы переработки простых кварцевых и упорных золотосодержащих руд, рассчитывать материальные балансы основных переделов и оценивать эффективность извлечения металлов.
5. Сформировать понимание принципов аффинажа благородных металлов (электролитическое рафинирование, химическое осаждение) и переработки вторичного сырья в рамках концепции циркулярной экономики.

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

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», «Специальная химия», «Общие химические технологии», «Кристаллохимия», «Аналитическая химия», «Физическая химия», «Обогащение руд цветных металлов», «Метрология, стандартизация и сертификация».

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

1. Переработка серосодержащих газов
2. Производство элементарной серы
3. Metallurgy легких металлов
4. Metallurgy редких металлов
5. Основные процессы переработки металлургического сырья
6. Переработка техногенных ресурсов
7. 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 извлечения благородных металлов: цианирование, сорбция, экстракция, электролиз.
2. Конструктивные особенности и режимы работы современного оборудования (мельницы, чаны цианирования, сорберы, электролизеры, печи аффинажа).
3. Принципы составления и анализа материальных балансов гидрометаллургических и пирометаллургических переделов.
4. Современные экологические требования и технологии очистки сточных вод золотоизвлекательных фабрик.

3.2. Уметь:

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

3.3. Владеть:

1. Методикой расчета материальных балансов процессов цианирования и сорбционного извлечения.
 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

Раздел 1. Сырьевая база и свойства благородных металлов

1. **Тема 1.1.** Свойства, сырьевая база, производство и применение благородных металлов. Введение. Группа благородных металлов и особенности нахождения их в земной коре.
2. **Тема 1.2.** Физические и химические свойства благородных металлов. Природа химической инертности золота. Комплексообразование как метод извлечения.
3. **Тема 1.3.** Сырьевая база производства благородных металлов. Формы нахождения золота, серебра и платиновых металлов в рудах. Минералы платиновых металлов.

Раздел 2. Обогащение и гидрометаллургия благородных металлов

1. **Тема 2.1.** Основные принципы формирования технологических схем извлечения золота и серебра из коренных руд. Компоновка схем.
2. **Тема 2.2.** Гравитационные и флотационные методы обогащения золото- и серебросодержащих руд. Конструкция аппаратов и режимы работы.
3. **Тема 2.3.** Цианирование золото- и серебросодержащих руд: термодинамика процесса, кинетика растворения, влияние минералогического состава.
4. **Тема 2.4.** Осаждение золота и серебра из цианистых растворов методом цементации. Конструкция цементационных ящиков и колонн.
5. **Тема 2.5.** Сорбционное извлечение золота и серебра из цианистых растворов и пульп с использованием ионообменных смол (RIP, RIL).
6. **Тема 2.6.** Извлечение благородных металлов из цианистых пульп сорбцией активированными углями (CIP, CIL). Десорбция и регенерация угля.

Раздел 3. Переработка упорных руд и аффинаж

1. **Тема 3.1.** Технологические схемы и практика переработки простых кварцевых и упорных золотосодержащих руд. Предварительная окислительная обработка (обжиг, автоклавное окисление, биовыщелачивание).
2. **Тема 3.2.** Аффинаж золота. Цели и методы аффинажа. Химическое осаждение золота из растворов.
3. **Тема 3.3.** Аффинаж золота и серебра электролитическим методом (процесс Мёбиуса, процесс Вольвилла). Режимы электролиза и конструкция ванн.
4. **Тема 3.4.** Переработка платиносодержащих шламов: выщелачивание, экстракционное разделение, осаждение металлов.

Раздел 4. Вторичная металлургия и экология

1. **Тема 4.1.** Вторичная металлургия благородных металлов. Классификация и характеристика отдельных типов золото- и серебросодержащего вторичного сырья.
2. **Тема 4.2.** Новые направления в совершенствовании технологии переработки вторичного сырья: пиро- и гидрометаллургические методы.
3. **Тема 4.3.** Очистка сточных вод золотоизвлекательных фабрик: разрушение цианидов, осаждение тяжелых металлов, современные экологические требования.

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ФОС)

5.1. Тестовые задания для текущего контроля (примеры)

1. **Вопрос 1:** Какой процесс преимущественно применяется для извлечения золота из упорных сульфидных руд? а) Прямое цианирование; б) Предварительная окислительная обработка с последующим цианированием; в) Гравитационное обогащение. **(Правильный ответ: б)**
2. **Вопрос 2:** Что является основным комплексообразователем при цианировании золота? а) Кислород; б) Цианид-ион; в) Ионы натрия. **(Правильный ответ: б)**

5.2. Задания на установление соответствия

1. **Задание:** Установите соответствие между технологическим процессом и его основным назначением:
 - а. Цианирование → А) Растворение золота и серебра в щелочном растворе цианида с образованием комплексных соединений.
 - б. Сорбция на активированном угле (CIP) → Б) Извлечение комплексных соединений благородных металлов из пульпы поверхностью угля.
 - с. Цементация → В) Осаждение золота из цианистых растворов на поверхности цинка.
 - d. Электролитический аффинаж → Г) Получение золота и серебра высокой чистоты (999,9 пробы) путем электролиза.

5.3. Открытые вопросы для устного опроса и рубежного контроля

1. **Вопрос 1.** Опишите термодинамические условия растворения золота в цианистых растворах и объясните роль кислорода в этом процессе.
2. **Вопрос 2.** В чем заключаются принципиальные отличия в технологии переработки окисленных и сульфидных (упорных) золотосодержащих руд? Приведите примеры промышленных агрегатов для каждого типа сырья.
3. **Вопрос 3.** Объясните механизм влияния мышьяка и сурьмы на процесс цианирования золота. Как предотвращается их негативное воздействие?
4. **Вопрос 4.** Каковы преимущества и ограничения применения сорбционных методов (CIP, CIL) по сравнению с традиционным противоточным цианированием?

5.4. Ситуационные задачи (кейсы) для промежуточной аттестации

1. **Кейс 1 (Технологический).** На золотоизвлекательной фабрике, перерабатывающей упорную сульфидную руду, зафиксировано резкое снижение извлечения золота (с 92% до 78%) при прямом цианировании. Анализ руды показал увеличение содержания пирротина и арсенопирита. Проанализируйте причины. Предложите комплекс технологических мероприятий для стабилизации процесса (предварительная окислительная обработка, корректировка расхода цианида, изменение тонкости помола).
2. **Кейс 2 (Электрометаллургический).** В цехе аффинажа золота наблюдается рост напряжения на электролизерах и появление дендритов на катодах. Химический анализ электролита показал снижение концентрации золота ниже 30 г/л и превышение допустимого уровня серебра. Опишите алгоритм действий технолога по нормализации состава электролита и предотвращению брака катодной продукции.

5.5. Критерии оценивания

1. **«Отлично»:** Глубокое понимание физико-химических основ процессов, свободное ориентирование в прогрессивных технологиях (CIP, CIL, автоклавное окисление), 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 электрохимических реакций.
 3. **«Удовлетворительно»:** Знание базовых определений и общих схем производства, решение простейших задач с использованием подсказок, поверхностное понимание отличий прогрессивных методов от традиционных.
 4. **«Неудовлетворительно»:** Незнание основных этапов получения благородных металлов, неумение объяснить принцип работы ключевого оборудования или рассчитать базовые технологические показатели.
-

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература:

1. Стрижко Л.С. Металлургия золота и серебра: Учеб. пособие для вузов. – М.: МИСиС, 2001. – 420 с.
2. Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов: учебник для вузов: В 2-х кн. – М.: МИСИС, Изд. дом "Руда и металлы", 2005. – 680 с.
3. Меретуков М.А. Золото: зарождение горного дела, металлургии и технологии. – М.: Изд. дом "Руда и металлы", 2008. – 520 с.

6.1.2. Дополнительная литература:

1. Андрющенко И.А. и др. Благородные металлы: справочник. – М.: Металлургия, 1984. – 360 с.
2. Свечников Л.Н. (сост.) Драгоценные металлы Норильска: (воспоминания, записки, письма ветеранов-металлургов). – М.: Руда и металлы, 2000. – 280 с.
3. Норильский индустр. ин-т; сост. Т.Н. Нарбекова. Металлургия благородных металлов: метод. указания к практическим занятиям. – Норильск: НИИ, 2011. – 85 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 балансам (15 ПК, доступ к ЭБС и инженерному ПО).
 3. **Лаборатория металлургии благородных металлов:** Учебные макеты электролизеров аффинажа, набор образцов сырья (золотосодержащие руды, концентраты, шламы, катодное золото/серебро), лабораторные установки для цианирования и сорбции, муфельные печи, весы.
-

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

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, зачем добавляется этот реагент (например, известь при цианировании), куда уходит примесь (мышьяк, сурьма, платиновые металлы).

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, сточные воды) и возвращаемые в цикл оборотные материалы.
3. Используйте цветовую маркировку потоков (например, золото- и серебросодержащие – желтым, цианистые растворы – синим).

Рекомендации по выполнению расчетных заданий:

1. Расчет материального баланса начинайте с выбора базы расчета (например, 100 кг руды 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 золота 92% соответствует современным показателям для данной технологии»).

Подготовка к промежуточной аттестации:

1. За 4 недели: повторите основы электрохимии благородных металлов и комплексообразование.
 2. За 3 недели: прорешайте задачи по расчету материального баланса цианирования и сорбции.
 3. За 2 недели: разберите ситуационные кейсы из ФОС, сформулируйте для себя алгоритм действий технолога в нештатной ситуации.
 4. За 1 неделю: повторите устройство и принципы работы ключевого оборудования (сорберы, электролизеры, печи аффинажа).
-

ПРИЛОЖЕНИЯ

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 цианирования золотосодержащей руды» с пошаговым алгоритмом и примером оформления.

Приложение В. Альбом типовых технологических схем: гидрметаллургическое получение золота (CIP, CIL), аффинаж золота и серебра, переработка платиносодержащих шламов.

Приложение Г. Глоссарий основных терминов дисциплины (цианирование, сорбция, CIP, CIL, аффинаж, цементация, катодное золото, проба, выход по току и др.).