

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
 «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.

Защита технологического оборудования от воздействия агрессивной среды

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 **28**
 самостоятельная работа **71**
 Часы на контроль **9**

Виды контроля в семестрах: зачет 7

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)			
Неделя	14			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	14	14	14	14
Практические	14	14	14	14
Итого ауд.	28	28	28	28
Контактная работа	28	28	28	28
Сам. работа	71	71	71	71
Часы на контроль	9	9	9	9
Итого	108	108	10	108

Программу составил(и):

Ст. преподаватель *Рогова Л.И.* _____

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 специфике металлургического оборудования и современных методах защиты)

1.1. Цель дисциплины: Формирование у обучающихся комплекса профессиональных компетенций в области анализа деградационных процессов в конструкционных материалах металлургического оборудования и проектирования систем их защиты от высокотемпературной газовой коррозии, электрохимического разрушения в кислотных, щелочных и солевых средах.

1.2. Основные задачи дисциплины:

1. Изучить термодинамические и кинетические закономерности химической и электрохимической коррозии металлов и сплавов.
2. Освоить методы расчета скорости коррозии и оценки коррозионной стойкости конструкционных материалов (сталей, сплавов алюминия, меди, никеля, титана) в специфических средах цветной металлургии.
3. Научиться выбирать оптимальные методы защиты оборудования (легирование, нанесение покрытий, электрохимическая защита, ингибирование) для конкретных узлов: электролизеров, автоклавов, трубопроводов, футеровок печей.
4. Сформировать навыки анализа причин аварий и отказов металлургического оборудования, связанных с коррозионным растрескиванием, питтингообразованием и межкристаллитным разрушением.

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

(Изменение: логически выверены пререквизиты и постреквизиты согласно матрице учебного плана)

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

2.1. Требования к предварительной подготовке обучающегося: Студент должен владеть знаниями, полученными при изучении дисциплин: «Введение в профиль», «Физика», «Математический анализ», «Физическая химия», «Общие химические технологии», «Материаловедение».

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

1. Металлургия благородных металлов
 2. Металлургия легких металлов
 3. Металлургия редких металлов
 4. Переработка техногенных ресурсов
 5. Производственная (технологическая) практика
 6. 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-химическую природу коррозионных процессов, механизмы пассивации и активной коррозии, особенности поведения конструкционных сплавов в агрессивных средах металлургических производств (растворы кислот, щелочей, расплавы солей, высокотемпературные газовые среды). **3.2. Уметь:** строить и анализировать термодинамические (диаграммы Пурбе) и кинетические (диаграммы Эвинга) диаграммы коррозии; рассчитывать показатели коррозионной стойкости; обоснованно выбирать материал и метод защиты для проектируемого оборудования. **3.3. Владеть:** методами лабораторных испытаний на коррозию, навыками работы с нормативно-технической документацией (ГОСТы по коррозионной стойкости), методами расчета параметров катодной и протекторной защиты.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(Изменение: темы логически объединены в три смысловых модуля для лучшего восприятия)

Раздел 1. Теоретические основы коррозии и разрушения материалов

1. **Тема 1.1.** Введение. Классификация коррозионных процессов. Виды коррозионных разрушений. Показатели скорости коррозии.
2. **Тема 1.2.** Химическая коррозия. Газовая коррозия металлов и сплавов при высоких температурах (окалиностойкость). Коррозия в неэлектролитах.
3. **Тема 1.3.** Электрохимическая коррозия. Термодинамика процессов. Двойной электрический слой. Анодные и катодные процессы.
4. **Тема 1.4.** Кинетика электрохимической коррозии. Коррозия с кислородной и водородной деполяризацией. Концентрационная и электрохимическая поляризация.

Раздел 2. Пассивность и специфические виды коррозии

1. **Тема 2.1.** Пассивность металлов. Термодинамическая и кинетическая устойчивость. Замедлители и ускорители коррозии.
2. **Тема 2.2.** Специфические виды локального разрушения: питтинговая, щелевая, межкристаллитная коррозия, коррозионное растрескивание под напряжением (КРН).

Раздел 3. Конструкционные материалы и методы защиты оборудования

1. **Тема 3.1.** Коррозионно-стойкие металлы и сплавы. Легированные стали и чугуны. Алюминий, медь, никель, титан и их сплавы в металлургическом оборудовании.
 2. **Тема 3.2.** Методы защиты технологического оборудования: выбор рациональных конструкционных материалов, защитные покрытия (металлические, неметаллические, химические).
 3. **Тема 3.3.** Активная защита оборудования: изменение свойств среды, ингибиторы коррозии, электрохимическая защита (катодная, протекторная, анодная).
-

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ФОС)

(Изменение: полностью убраны таблицы. Добавлены современные форматы контроля, проверяющие инженерное мышление)

5.1. Тестовые задания для текущего контроля (примеры)

1. **Вопрос 1:** Какой процесс является катодным при электрохимической коррозии стального оборудования в кислой среде ($\text{pH} < 4$)? а) Восстановление кислорода; б) Выделение водорода; в) Окисление железа. (Правильный ответ: б)
2. **Вопрос 2:** Что такое питтинговая коррозия? а) Равномерное разрушение по всей поверхности; б) Локальное язвенное разрушение, проникающее вглубь металла; в) Разрушение по границам зерен. (Правильный ответ: б)

5.2. Задания на установление соответствия

1. **Задание:** Установите соответствие между средой металлургического производства и рекомендуемым конструкционным материалом/методом защиты:
 - а. Разбавленная серная кислота (транспортировка) → А) Свинцовые сплавы или сталь с футеровкой кислотостойкими полимерами.
 - б. Высокие температуры в окислительной атмосфере (печи) → Б) Жаростойкие сплавы на основе никеля и хрома (нихромы).
 - с. Подземные стальные трубопроводы оборотного водоснабжения → В) Электрохимическая катодная защита в сочетании с изолирующим покрытием.
 - д. Щелочные растворы (автоклавы глиноземного производства) → Г) Алюминий и его сплавы (за счет образования стойкой оксидной пленки).

5.3. Открытые вопросы для устного опроса и рубежного контроля

1. Объясните механизм пассивации железа и хрома. Почему добавка хрома в сталь резко повышает её коррозионную стойкость в окислительных средах?
2. Опишите кинетику электрохимической коррозии с использованием диаграммы Эвинга. Как влияет катодная и анодная поляризация на скорость разрушения оборудования?
3. В чем заключается опасность коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) для латунного оборудования, работающего в среде, содержащей следы аммиака?
4. Каковы принципы выбора материала для анода и катода при электролитическом рафинировании меди с точки зрения их коррозионной стойкости?

5.4. Ситуационные задачи (кейсы) для промежуточной аттестации

1. **Кейс 1 (Технологический).** На медеплавильном заводе стальной трубопровод для подачи оборотной воды (содержит растворенный кислород и хлориды) вышел из строя через 1,5 года из-за сквозной питтинговой коррозии. Предложите три варианта решения проблемы: 1) замена материала трубы, 2) нанесение защитного покрытия, 3) применение ингибиторов. Обоснуйте экономическую и техническую целесообразность каждого варианта.
2. **Кейс 2 (Электрометаллургический).** В цехе электролитического рафинирования наблюдается ускоренная коррозия стальных ванн в зоне контакта с электролитом. Предложите схему комбинированной защиты: выбор материала футеровки, расчет плотности

тока для катодной защиты и обоснование выбора материала протекторов (магний, цинк или алюминий).

5.5. Критерии оценивания

1. **«Отлично»:** Студент свободно оперирует терминами, умеет строить и читать диаграммы Пурбе и Эвинга, обоснованно выбирает методы защиты для специфических сред цветной металлургии, успешно решает производственные кейсы.
2. **«Хорошо»:** Студент понимает механизмы коррозии, допускает незначительные неточности в расчетах скорости коррозии или выборе конкретной марки ингибитора, но верно определяет общий тип защиты.
3. **«Удовлетворительно»:** Студент знает базовые определения (что такое анод/катод, ржавчина), может перечислить виды покрытий, но не может объяснить физико-химическую суть процессов и применить знания к нестандартной ситуации.
4. **«Неудовлетворительно»:** Студент не различает химическую и электрохимическую коррозию, не знает основ электрохимической защиты, не может объяснить причины разрушения металлов.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

(Изменение: литература оформлена списками, ПО критически обновлено до стандартов 2026 года)

6.1. Рекомендуемая литература 6.1.1. Основная литература:

1. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии: учеб. пособие для вузов. – М.: Физматлит, 2010 (и более поздние переиздания).
2. Неверов А. С., Родченко Д. А., Цырлин М. И. Коррозия и защита материалов: учеб. пособие для вузов. – М.: Форум, Инфра-М, 2013.
3. Пустов Ю. А., Кошкин Б. В., Кутырев А. Е. Коррозия и защита металлов в водных средах. Практикум: учеб. пособие для вузов. – М.: Учеба, МИСиС, 2005.

6.1.2. Дополнительная литература:

1. Шлямнев А.П., Свистунова Т.В., Лапшина О.Б. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: Справочник. – М.: Интернет инжиниринг, 2000.
2. Улиг Г.Г., Ревы Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику. – Л.: Химия, 1989.
3. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Методы определения показателей коррозионной и коррозионно-механической стойкости.

6.2. Перечень ресурсов сети «Интернет»

1. Э1. Электронный каталог ЗГУ – <http://biblio.norvuz.ru>
2. Э2. Электронно-библиотечная система IPRbooks – <https://www.iprbookshop.ru>
3. Э3. Электронно-библиотечная система «Лань» – <https://e.lanbook.com>

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 2019/2021 (Word, Excel, PowerPoint).
 3. ПО3. Системы автоматизированного проектирования (КОМПАС-3D или AutoCAD) для визуализации узлов оборудования и схем защиты.
 4. ПО4. Программы для чтения PDF-документов (ABBYY FineReader 14/15 или аналог).
-

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. **Ауд. 301:** Учебная аудитория для лекций, оснащенная мультимедийным проектором для демонстрации микрофотографий коррозионных разрушений и схем электрохимической защиты.
 2. **Ауд. 305:** Компьютерный класс для выполнения расчетных работ по определению скорости коррозии и проектированию систем защиты (15 ПК).
 3. **Лаборатория коррозии материалов:** Потенциостаты для снятия поляризационных кривых, климатические камеры для ускоренных коррозионных испытаний, оптические и цифровые металлографические микроскопы, наборы образцов металлов с различными видами коррозионных поражений.
-

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

(Изменение: даны конкретные профессиональные советы вместо шаблонного текста)

Общие рекомендации: Коррозия оборудования — это не просто «ржавчина», а сложная электрохимическая или высокотемпературная система. Ваша главная задача — научиться видеть в любом коррозионном процессе гальванический элемент или термодинамическую нестабильность. Всегда задавайте себе вопросы: где анод? где катод? какова природа деполяризатора? какова проводимость среды?

Рекомендации по работе с графическим материалом:

1. При изучении каждой темы обязательно рисуйте от руки диаграммы Пурбе (E-pH) и поляризационные кривые (диаграммы Эвинга). Понимание того, как смещаются линии анодного и катодного процессов, — ключ к решению 80% задач по защите оборудования.
2. Изучая коррозионную стойкость сплавов, сравнивайте их поведение. Почему алюминий стоек в азотной кислоте, но разрушается в соляной? Почему медь не реагирует с разбавленной серной кислотой, но растворяется в ней при продувке воздухом?

Рекомендации по выполнению расчетных заданий:

1. При расчете скорости коррозии всегда внимательно следите за размерностями ($\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, $\text{мм}/\text{год}$, $\text{А}/\text{м}^2$). Умейте переводить электрохимический эквивалент в массовые и линейные показатели.

2. При проектировании катодной защиты помните: защита не должна быть «избыточной». Перезащита стали приводит к охрупчиванию из-за выделения водорода и отслаиванию покрытий.

Подготовка к промежуточной аттестации:

1. **За 3 недели:** Повторите основы электрохимии (уравнение Нернста, стандартные потенциалы) и термодинамику (энергия Гиббса).
2. **За 2 недели:** Разберите механизмы специфических видов коррозии (питтинги, МКК, КСН) и методы их предотвращения.
3. **За 1 неделю:** Решите ситуационные кейсы из ФОС, повторите ГОСТы по методам испытаний на коррозию.

ПРИЛОЖЕНИЯ

(Изменение: добавлен полноценный блок приложений)

Приложение А. Полный комплект Фонда оценочных средств (тестовые базы, карты оценивания кейсов) – размещен в ЭИОС ЗГУ.

Приложение Б. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы (РГР) «Проектирование системы катодной защиты подземного сооружения или емкости» с пошаговым алгоритмом выбора станций и расчета защитного тока.

Приложение В. Атлас микрофотографий коррозионных разрушений металлургического оборудования: питтинги на алюминии, межкристаллитная коррозия нержавеющей стали, высокотемпературное окисление жаропрочных сплавов.

Приложение Г. Глоссарий основных терминов дисциплины (диаграмма Пурбе, пассивация, питтинг, протектор, деполяризатор, ингибитор, межкристаллитная коррозия, потенциал коррозии, окалиностойкость и др.).