

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

**Физический факультет**

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
Решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. №13

**Рабочая программа дисциплины**

**Методы коррозионных испытаний**

(наименование дисциплины)

Уровень высшего образования

**магистратура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки

**03.04.02 - Физика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Физика конденсированного состояния**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

**Магистр**

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

**Очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Методы коррозионных испытаний» (Б1.В.ДВ.01.04) относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ООП по направлению подготовки 03.04.02 «Физика». Дисциплина является дисциплиной выбора для освоения на первом году обучения в магистратуре, в 1 семестре.

Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Характеристика дисциплины
Блок 1. Дисциплины (модули). Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.01.04 относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ООП направления подготовки 03.04.02 Физика

Целями освоения дисциплины являются:

- познакомить с основами теории коррозионных процессов в газовых и жидких средах;
- предоставить общие сведения о состоянии и изменении свойств конструкционных материалов под влиянием техногенных и антропогенных факторов;
- познакомить с основными источниками коррозионного воздействия на конструкционные материалы, их качественные и количественные характеристики, методы и способы прогнозирования надежности оборудования и последствия коррозионного воздействия;
- научить оценивать характер влияния окружающей среды на закономерности течения коррозионных процессов;
- научить эффективному использованию знаний в области теории коррозионных процессов в газовых и жидких средах для решения практических задач по выбору оптимального химического и фазового состава с целью получения в них требуемого уровня физико-механических свойств;
- выработать навыки анализа многофакторных экспериментальных результатов, получаемых при исследовании коррозионных процессов.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ПК-1.1 Знание принципов построения научной работы, методов сбора и анализа полученного материала	<u>Знать:</u> З1: Знать современные тенденции и передовые мировые достижения в области своей профессиональной деятельности (в области науки о коррозии) З2: Знать основы теории коррозии и защиты металлов.	Собеседование  Собеседование
	ПК-1.2 Уметь осуществлять постановку и проведение экспериментов с помощью современной	У1: Уметь применять теоретические знания в области физики металлов и сплавов и науки о коррозии для решения теоретических и экспериментальных задач	Практическое задание

	аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	в профессиональной деятельности, связанной с разработкой новых коррозионно-стойких материалов с высокими физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками. У2: Уметь использовать знания различных разделов физики конденсированного состояния, физики металлов, сплавов и керамик и смежных дисциплин для решения типовых (стандартных) задач в области науки о коррозии.	Практическое задание
	ПК-1.3 Навыки решения поставленных задач с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	В1: Владеть навыками проведения коррозионных испытаний металлов и сплавов (испытания на общую коррозию, испытания на окалиностойкость, электрохимические испытания, испытания на коррозионное растрескивание под напряжением)	Отчет по лабораторной работе (практическому заданию)

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, всего 180 часов, из которых 50 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 32 часа – лабораторные работы, 2 часа контроль самостоятельной работы), 54 часа мероприятия промежуточной аттестации (экзамен), 76 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

<b>Очная форма обучения</b>	
Общая трудоемкость	5 з.е.
Часов по учебному плану в том числе	180
аудиторные занятия (контактная работа):	50
- занятия лекционного типа, ч	16
- практические занятия, ч	32
самостоятельная работа, ч	54
КСРИФ	2
Промежуточная аттестация	Экзамен

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы, из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Тема 1: Введение в науку о коррозии. Определение науки о коррозии и защите металлов. Социальные, экологические и экономические аспекты проблемы борьбы с коррозией металлов. Классификация коррозионных процессов. Показатели коррозии.	8	2	-	-	-	2	6
Тема 2: Химическая (газовая) коррозия металлов. Термодинамическая вероятность химического окисления металлов. Основные стадии газовой коррозии металлов. Кинетика газовой коррозии металлов. Механизм химической коррозии. Влияние внутренних и внешних факторов на скорость газовой коррозии. Теория жаростойкого легирования.	14	4	-	-	-	6	8
Тема 3: Исследование влияния содержания легирующих добавок в сплавах на их стойкость к высокотемпературному окислению	12	-	-	8	-	8	4
Тема 4: Электрохимическая коррозия металлов. Явления на границе раздела фаз металл-электролит. Термодинамика электрохимической коррозии. Диаграммы Пурбэ. Кинетика электродных процессов. Явление поляризации и деполяризации. Поляризационные кривые. Пассивность металлов. Внутренние факторы электрохимической коррозии. Внешние факторы электрохимической коррозии	16	4	-	8	-	12	4
Тема 5: Исследование влияния легирующих добавок в сплавах на их стойкость к электрохимической коррозии	16	-	-	-	-	10	6
Тема 6: Исследование влияния легирующих добавок в сплавах на скорость электрохимической коррозии при помощи тафелевской зависимости	14	-	-	8	-	8	6
Тема 7: Исследование влияния	13	-	-	-	-	6	7

легирующих добавок в сплавах на электрохимические характеристики анодной поляризационной кривой							
Тема 8: Механизмы коррозионно-механического разрушения конструкционных материалов. Влияние механических напряжений на скорость коррозии. Влияние коррозионной среды на механические свойства конструкционных материалов. Эффект Ребиндера. Феноменология процесса коррозионного растрескивания под напряжением. Понятие о времени инкубационного периода и пороговом разрушающем напряжении. Основные модели процесса КРН: локальное анодное растворение и водородное охрупчивание. Влияние микроструктуры сталей на их склонность к КРН. Проблема определения скорости роста трещин и времени инкубационного периода КРН. Основные закономерности процесса коррозионно-усталостного разрушения. Физика и механика коррозионно-усталостного разрушения сталей. Влияние коррозионной среды на предел выносливости материалов, скорость роста усталостной трещины и коэффициент интенсивности напряжения. Влияние параметров микроструктуры материалов на их склонность к коррозионно-усталостному разрушению.	16	4	-	8	-	12	4
В том числе текущий контроль успеваемости – 2 часа							
<b>Промежуточная аттестация:</b> Экзамен – 54 часа							

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогическая форма проведения лекций, элементы научной дискуссии.

Самостоятельная работа студентов связана с применением компьютерных и информационно-коммуникационных технологий.

В преподавании дисциплины активно используются интерактивные технологии групповой работы на практических занятиях, когда студенты обсуждают с преподавателем предложенную им задачу (научно-практическую проблему) как индивидуально («преподаватель – студент»), так и в ходе группового обсуждения с преподавателем возможных вариантов предложенных студентами решений («преподаватель – группа студентов»). В ходе обсуждения преподаватель может высказывать конструктивные критические замечания к предлагаемым решениям, просить студентов уделить особое внимание какому-нибудь аспекту рассматриваемого явления (обосновать сделанные



<b>отношение)</b>	активности и мотивации	слабо выражены, готовность качественно решать поставленные задачи отсутствует	низкие, слабо выражены, стремление решать задачи качественно	проявляются на среднем уровне, демонстрируется готовность выполнять поставленные задачи на среднем уровне качества	проявляются на уровне выше среднего, демонстрируется готовность выполнять большинство поставленных задач на высоком уровне качества	проявляются на высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять все поставленные задачи на высоком уровне качества	проявляются на очень высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять нестандартные дополнительные задачи на высоком уровне качества
<b>Характеристика сформированности компетенции</b>	Компетенция не сформирована. Отсутствуют знания, умения, навыки, необходимые для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям, но есть недочеты. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по некоторым профессиональным задачам.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции превышает стандартные требования. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для применения творческого подхода к решению сложных практических (профессиональных) задач.
<b>Уровень сформированности компетенций</b>	Нулевой	Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий	Очень высокий
<b>Баллы, %</b>	0-30	31-50	51-70	71-85	86-90	91-98	99-100

При промежуточной аттестации студентов на экзамене используется традиционная семибальная шкала оценивания (выставления оценки («Плохо», «Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично», «Превосходно»)), общие критерии выставления оценок по которой определены приказом ректора ННГУ №229-ОД от 10 октября 2002 г.

<b>Оценка</b>	<b>Критерий выставления</b>
Превосходно	Отличная подготовка. Студент самостоятельно решает задачу, отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
Отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета, самостоятельно решает задачу в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на вопросы допускаются незначительные неточности.
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета, самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями.
Хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания

	вопросов билета, решает задачу с наводящими вопросами преподавателя и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
Удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, может решить типовую задачу с помощью преподавателя.
Неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Задача не решена. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
Плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- тестирование (текущий контроль);
- индивидуальное собеседование (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- письменные ответы на вопросы (промежуточная аттестация).

Для оценивания результатов обучения в виде умений используются следующие процедуры и технологии:

- простые практические контрольные задания (задачи) (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- индивидуальная или групповая дискуссия с преподавателем при обсуждении возможных вариантов решения поставленных задач (текущий контроль);

Для оценивания результатов обучения в виде владений (оценка навыков) используются следующие процедуры и технологии:

- простые практические контрольные задания (задачи) (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- рефераты.

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 5.2.1 Типовые темы рефератов

1. Термодинамика газовой коррозии.
2. Кинетика газовой коррозии.
3. Влияние внешних и внутренних факторов на скорость газовой коррозии.
4. Теория жаростойкого легирования.
5. Термодинамика электрохимической коррозии.
6. Кинетика электрохимической коррозии.
7. Влияние внешних и внутренних факторов на скорость электрохимической коррозии.
8. Теория коррозионно-стойкого легирования.
9. Контактная коррозия.
10. Водородное охрупчивание сталей. Основные механизмы водородного охрупчивания сталей.
11. Коррозионная усталость. Механизмы и основные факторы.
12. Коррозионное растрескивание под напряжением. Механизмы и основные факторы.
13. Межкристаллитная коррозия в нержавеющей сталях. Влияние параметров микроструктуры сталей на их склонность к межкристаллитной коррозии.
14. Эффект Ребиндера. Феноменология и основные закономерности

### 5.2.2 Типовые вопросы для собеседования

1. Почему пороговое разрушающее напряжение при КРН меньше предела текучести?
2. Как МКК влияет на пороговое разрушающее напряжение КРН?

3. Как среда влияет на механические свойства металла?
4. Как связаны закон роста пленки и тип пленки, образующейся на поверхности металла?
5. В чем отличие процессов электрохимической коррозии однофазного металла (железа) и двухфазной стали?
6. Какие микроструктурные условия необходимы для развития МКК?
7. За счет каких структурных факторов обеспечивается повышенная коррозионная стойкость стали?
8. Как связаны параметры кривой Тафеля (плотность тока коррозии, потенциал коррозии) с общей скоростью коррозии?
9. Почему увеличение скорости потока среды увеличивает скорость коррозии?
10. Как приложение разности потенциалов влияет на скорость коррозии стали?
11. Каковы электрохимические условия для проявления МКК?

#### Типовые примеры лабораторных работ

1. Исследование высокотемпературной окислительной стойкости металлов и сплавов
2. Электрохимические исследования сталей
3. Испытания на общую коррозию
4. Испытания на контактную коррозию
5. Испытания на коррозионное растрескивание под напряжением

#### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

##### а) основная литература

1. Козлова Н.А., Нохрин А.В., Чегуров М.К., Чувильдеев В.Н. Исследование стойкости сталей к высокотемпературному окислению – Н.Новгород, ННГУ, 2020, 36 с.
2. Семенова И.В., Хорошилов А.В., Флорианович Г.М. Коррозия и защита от коррозии / Под ред. И.В. Семеновой. – 2-е изд., перераб и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 376 с. (доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «Znanium.com»: <http://znanium.com/bookread2.php?book=256669>)
3. Кайдриков Р.А., Виноградова С.С., Назмиева Л.Р., Егорова И.О. Стандартизованные методы коррозионных испытаний - Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2011, 150 с. [доступно авторизованным пользователям через ЭБС «IPRbooks»: <http://www.iprbookshop.ru/64001.html>]
4. Жарский М.И., Иванова Н.П., Куис Д.В., Свидунович Н.А. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования. – Минск: Вышэйшая школа, 2012, 303 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «IPRbooks»: <http://www.iprbookshop.ru/20220.html>]
5. Наумов С.В., Самуилов А.Я. Материаловедение. Защита от коррозии. - Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012, 84 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «IPRbooks»: <http://www.iprbookshop.ru/60479.html>]
6. Мирзоев Р.А., Давыдов А.Д. Анодные процессы электрохимической и химической обработки металлов – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2013, 382 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «IPRbooks»: <http://www.iprbookshop.ru/43938.html>]

##### б) дополнительная литература

1. Белоглазов С.М. Электрохимический водород и металлы. Поведение, борьба с охрупчиванием – Калининград: Калининградский государственный университет, 2004, 324 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «IPRbooks»: <http://www.iprbookshop.ru/23960.html>]
2. Кайдриков Р.А., Виноградова С.С., Журавлев Б.Л. Электрохимические методы оценки коррозионной стойкости многослойных гальванических покрытий – Казань: Казанский

национальный исследовательский технологический университет, 2010, 141 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «IPRbooks»: <http://www.iprbookshop.ru/64046.html>]

3. Кайдриков Р.А., Журавлев Б.Л., Виноградова С.С., Назмиева Л.Р., Исакова И.О. Электрохимические методы исследования локальной коррозии пассивирующихся сплавов и многослойных систем - Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2013, 144 с. [доступно авторизованным пользователям через ЭБС «IPRbooks»: <http://www.iprbookshop.ru/64045.html>]

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <https://biblio-online.ru/> - сайт электронной библиотеки «Юрайт», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
4. <https://e.lanbook.com> – сайт электронно-библиотечной системы «ЛАНЬ», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
5. <http://www.sciencedirect.com> – сайт международного издательства «Elsevier», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
6. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
7. <http://znanium.com> – сайт электронно-библиотечной системы «Znanium.com», содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.
8. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Библиотечные залы и компьютерные классы ННГУ и НИФТИ ННГУ, обеспечивающие доступ к Интернет – ресурсам. Для чтения лекций со стороны физического факультета и НИФТИ ННГУ предоставляются аудитории с презентационным оборудованием.

Для выполнения лабораторных работ используется следующее оборудование:

- печи воздушные типа ЭКПС-10
- потенциостат-гальваностат Р-8
- потенциостат-гальваностат Р-20Х
- весы аналитические
- стенд для проведения испытаний на коррозионное растрескивание под напряжением
- металлографический микроскоп Leica IM DRM
- металлографический микроскоп Neophot-32
- рентгеновский дифрактометр ДРОН-1

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.02 «Физика» и с учетом рекомендаций ООП направленности «Физика конденсированного состояния».

Авторы д.ф.-м.н., проф. Нохрин А.В., м.н.с. Козлова Н.А.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н.

Рецензент: к.ф.-м.н., зам. декана по учебной работе Белова О.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета  
от «    »            202    года, протокол № б/н.

Председатель учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ

\_\_\_\_\_ / Перов А.А. /