

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»  
Институт естествознания  
Кафедра химии

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института естествознания  
Е.В. Скрипникова  
«14» марта 2022 г.



## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине

**«Технология электрохимических процессов и защита от коррозии»**

Научная специальность:

2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии

Уровень высшего образования

подготовка кадров высшей квалификации  
по программам подготовки научных и  
научно-педагогических кадров в аспирантуре

Форма обучения

очная

Год набора

2022

**Автор программы:** Цыганкова Л.Е., доктор химических наук, профессор

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов) (приказ Минобрнауки России от 20 октября 2021 г. № 951).

Рабочая программа принята на заседании кафедры химии « 4 » марта 2022 года  
Протокол № 5

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1. Цели и задачи дисциплины
2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры
3. Объем и содержание дисциплины
4. Контроль знаний обучающихся
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
6. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

## **1. Цели и задачи дисциплины**

**1.1 Цель дисциплины** - формирование знаний в области научно-исследовательской деятельности по профилю технологии электрохимических процессов и защиты от коррозии, теоретических основ электрохимии, металловедения, физической и органической химии, практических навыков и умений в осуществлении методов защиты металлов от коррозии.

### **1.2 Задачи дисциплины:**

- приобретение знаний и умений в области информационно-аналитической и экспериментально-технологической деятельности при создании новых электрохимических технологий и принципиального совершенствования существующих;
- разработки путей и методов защиты современных и вновь создаваемых коррозионностойких конструкционных материалов в условиях постоянного ужесточения воздействия внешней среды;
- подготовка кадров высшей квалификации, владеющих методами исследования в данной области.

### **1.3 Требования к результатам освоения дисциплины**

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

#### **Знать:**

- творческие методы решения исследовательских и практических задач в области технологии электрохимических процессов и защиты от коррозии;
- средства и методы проведения исследований при химической, электрохимической и атмосферной коррозии металлов.

#### **Уметь:**

- количественно описывать и интерпретировать полученные результаты в методе поляризационных кривых и импедансной спектроскопии;
- различать питтинговую и межкристаллитную коррозию.

#### **Владеть:**

- культурой научного исследования в области технологии электрохимических процессов и защиты от коррозии;
- методами испытаний устойчивости конструкционных материалов к различным видам коррозии.

## **2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры:**

Дисциплина «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии» относится к образовательному компоненту «Дисциплины (модули)» программы аспирантуры по научной специальности 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Дисциплина «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии» изучается в 3 семестре.

## **3. Объём и содержание дисциплины**

### **3.1 Объём дисциплины**

Очная форма обучения: 4 з.е.

Вид учебной работы	Очная форма обучения (всего часов)
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>144</b>
<i>Контактная работа (по учебным занятиям)</i>	32
Лекции (Л)	14
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	18
Лабораторные занятия (ЛЗ)	-
<i>Самостоятельная работа (СР)</i>	76
<i>Кандидатский экзамен</i>	36

### 3.2 Содержание дисциплины:

№ те мы	Название раздела/темы	Вид учебной работы, час. (очная форма)				Формы текущего контроля
		Л	ПЗ	ЛЗ	СР	
1.	Тема 1. Теоретические основы электрохимии, металловедения, физической и органической химии	2	4	-	12	Собеседование, опрос
2.	Тема 2. Теоретические основы химического и электрохимического получения металлических покрытий	2	2		10	Собеседование, опрос
3.	Тема 3. Электролиз, электрохимический синтез и размерная обработка материалов	2	2		12	Собеседование, опрос
4.	Тема 4. Химические источники электрической энергии	2	2		10	Собеседование, опрос
5.	Тема 5. Коррозия металлов в растворах электролитов	2	2		12	Собеседование, опрос
6.	Тема 6. Коррозионная стойкость металлов и сплавов	2	2		10	Собеседование, опрос
7.	Тема 7. Методы исследования электрохимических процессов и способы коррозионных испытаний	2	4		10	Собеседование, опрос

## **Тема 1. Теоретические основы электрохимии, металловедения, физической и органической химии**

**Лекция.** Термодинамическая возможность химических реакций. Основные закономерности гомогенных и гетерогенных химических реакций. Адсорбция на энергетически однородных и неоднородных поверхностях. Электрохимические системы и их термодинамическая особенность. Двойной электрический слой на границе твердое тело-раствор. Заряжение и разряд ДЭС. Кинетика электрохимических процессов. Лимитирующая стадия. Кинетика реакции восстановления растворенного кислорода и разряда ионов водорода. Поляризация и перенапряжение. Металлическая связь. Зонная теория металлов и полупроводников. Кристаллическая структура и дефекты кристаллической решетки. Диаграммы состояния и фазовый состав сплавов. Интерметаллические соединения. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Объемная и граничная диффузия в металлах и сплавах. Сегрегация фаз по границам зерен. Строение и классификация органических соединений. Кинетика и механизм анодных реакций с участием органических соединений с различными функциональными группами. Современное состояние и проблемы электрохимии органических соединений.

### **Практическое занятие.**

1. Строение и классификация органических соединений.
2. Кинетика и механизм анодных реакций с участием органических соединений с различными функциональными группами.

### **Задания для самостоятельной работы:**

1. Кинетика и механизм анодных реакций с участием органических соединений с различными функциональными группами.
2. Топливные элементы. Пористые диафрагмы и электроды.

## **Тема 2. Теоретические основы химического и электрохимического получения металлических покрытий**

**Лекция.** Виды гальванических покрытий и их назначение. Механизм и кинетика электрокристаллизации. Влияние природы и состава электролитов, условий осаждения на структуру и свойства гальванических покрытий. Блестящие осадки. Губчатые осадки и порошки. Рассеивающая способность электролитов. Электролиты и условия цинкования, меднения, никелирования, хромирования, получение осадков благородных металлов. Получение сплавов. Свойства гальванических осадков: твердость, пористость, структура.

### **Практическое занятие.**

1. Виды топливных элементов.
2. Используемые электролиты.
3. Используемые электроды.
4. КПД топливных элементов.
5. Преимущества перед аккумуляторами.

### **Задания для самостоятельной работы:**

1. Механизмы пассивации металлов.
2. Защита металлов от сероводородной коррозии

## **Тема №3 . Электролиз, электрохимический синтез и размерная обработка материалов**

**Лекция.** Особенности процессов электролиза. Законы электролиза. Электродные материалы и диафрагмы. Конструкции электролизеров с твердым катодом. Электролизеры для процессов в расплавленных средах на примере получения алюминия и магния. Характерные особенности процессов электросинтеза органических соединений. Многостадийные анодные и катодные процессы. Селективность процессов электрохимического окисления и восстановления. Электролиз при контролируемом

постоянном потенциале. Электролиз на переменном токе. Примеры электролиза: кислородное соединение хлора. Димеризация, конденсация.

**Практическое занятие. Механизмы пассивации.**

1. Действие окислителей на металлы.
2. Анодная поляризация.
3. Окислители кислородсодержащие и бескислородные.
4. Сопоставление разных методов пассивации.

**Задания для самостоятельной работы**

1. Механизмы катодного выделения водорода.
2. Механизмы анодного растворения металлов.

**Тема №4. Химические источники электрической энергии**

**Лекция.** Основные типы гальванических элементов. Сухие элементы. Наливные и резервные гальванические элементы. Свинцовые (кислотные), кадмий- и железоникелевые аккумуляторы. Реакции токообразования. Электрические характеристики. Аккумуляторы с литиевыми электродами и литиевыми сплавами. Неводные электролиты. Топливные элементы. Пористые диафрагмы и электроды.

**Практическое занятие.**

1. Влияние сероводорода на процесс коррозии.
2. Участие сероводорода в катодных реакциях на металле при протекании электрохимической коррозии. .

**Задания для самостоятельной работы**

1. Участие сероводорода в анодных реакциях при электрохимической коррозии металлов.
2. Ингибирование сероводородной коррозии

**Тема №5. Коррозия металлов в растворах электролитов**

**Лекция.** Химический и электрохимический механизмы растворения металлов. Коррозия с кислородной и водородной деполяризацией. Другие активаторы коррозии ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , оксиды азота). Анодные процессы при коррозии металлов. Диаграммы Пурбе. Обобщенное кинетическое уравнение и кривые анодной поляризации активного и пассивного электрода. Механизмы пассивации. Вторичные процессы, влияние продуктов электрохимических реакций на их кинетику и механизм. Анодные процессы в органических и водно-органических средах. Анодное оксидирование. Электрополировка.

**Практическое занятие.**

1. Виды бактерий, вызывающих микробиологическую коррозию металлов.
2. Жизненный цикл развития бактерий.
3. Методы подсчета количества микроорганизмов.

**Задания для самостоятельной работы**

1. Сульфатредуцирующие бактерии.
2. Определение концентрации биогенного сероводорода.
3. Бактерициды против бактерий.

**Тема №6 Коррозионная стойкость металлов и сплавов.**

**Лекция.** Анодное растворение сплавов в активном состоянии. Избирательное растворение: варианты и особенности. Коэффициент селективности. Механизм объемной диффузии. Влияние пассивации на коэффициент селективности. Питтинговая и межкристаллитная коррозия. Методы исследования и защиты металлов и сплавов от подобного поражения. Коррозия металлов в природных и промышленных средах. Классификация и механизм атмосферной коррозии. Коррозия под пленками влаги различного типа. Особенности катодного процесса на металлах, покрытых тонкими пленками влаги. Работы Ю.Н. Михайловского с сотрудниками. Аналитические выражения

кинетики. Аналитические выражения кинетики атмосферной коррозии, учитывающие влияние природы пленок влаги, продолжительности процесса, природы и концентрации активатора. Подземная коррозия металлов. Почва как коррозионная среда. Механизм и контролирующие факторы подобного типа коррозии. Электролитическое сопротивление грунта и его влияние на уровень подземной коррозии. Коррозионно-стойкие сплавы на основе железа. Классификация их по химическому и фазовому составу. Структура и коррозионная стойкость, хромистые, хромоникелевые и хромоникельмолибденовые сплавы. Коррозионно-стойкие чугуны. Коррозионная стойкость сплавов на основе меди. Латунь, их обесцинкование. Магний, его сплавы и их коррозия в нейтральных и кислых средах. Титан, его сплавы, их коррозионная стойкость. Влияние фторид-ионов в нейтральных и кислых средах на коррозионное поведение титана, его сплавов и электронных аналогов (цирконий, гафний).

**Практическое занятие.**

1. Защитные металлические покрытия.
2. Ингибиторы.
3. Механизмы действия ингибиторов.

**Задания для самостоятельной работы**

1. Легирование металлов.
2. Рациональное конструирование для защиты металлов от коррозии.

**Тема 7. Методы исследования электрохимических процессов и способы коррозионных испытаний**

**Лекция.** Метод поляризационных кривых. Стадийное растворение металлов. Роль энергетической неоднородности. Кинетические уравнения процесса. Параллельно-последовательные реакции. Механизмы анодного растворения железа Хойслера, Бокриса, Колотыркина. Аномальное растворение металлов. Работы Я.М. Колотыркина с сотрудниками. Кинетика растворения металлов по химическому механизму. Деструкция растворителя и радикальные процессы при химическом растворении металлов. Роль растворителя, его природы и состава. Работы Фрумкина, Фольмера, Гейровского. Лимитирующая стадия реакции выделения водорода: Фольмера, Гейровского, Тафеля, латеральной диффузии. Критерии, характеризующие природу замедленной стадии. Катодное выделение водорода при сравнимых скоростях последовательных стадий. Особенности кинетики реакции выделения водорода на углеродных материалах и композитах на их основе. Диффузия водорода через мембрану. Различные формы адсорбированного водорода. Их роль в кинетике выделения водорода в газовую и твердую фазы. Классификация методов испытаний устойчивости конструкционных материалов к различным видам коррозии. Гравиметрические испытания на коррозию в электролитических средах. Метод поляризационного сопротивления. Состояние молекул растворителя в ДЭС и их роль в кинетике ионизации металлов. Закономерности ионизации сольвофильных металлов.

**Практическое занятие.**

1. Механизм Фольмера-Тафеля с первой лимитирующей стадией.
2. Механизм Фольмера-Гейровского со второй лимитирующей стадией.

**Задания для самостоятельной работы**

1. Рекомбинационный механизм Тафеля. Вывод критериальных величин.
2. Электроды для реакции катодного выделения водорода.

**4. Контроль знаний обучающихся**

**4.1 Формы текущего контроля работы аспирантов: собеседование, опрос.**

**4.2 Задания текущего контроля**

Темы для собеседования



1. Основные типы гальванических элементов.
2. Аккумуляторы: кислотные и щелочные.
3. Электрические характеристики.
4. Аккумуляторы с литиевыми электродами и литиевыми сплавами.
5. Топливные элементы.
6. Термодинамика электрохимических процессов.
7. Строение двойного электрического слоя. Теории Гельмгольца, Гуи, Штерна.
8. Гальванические покрытия из электролитов с добавками наноразмерных составляющих. Особенности физико-химических свойств таких покрытий.
9. Электрохимический синтез органических соединений.
10. Электроды на базе ОРТА. Особенности протекания на них электродных реакций

#### Темы для опроса

1. Электрохимические системы и их термодинамическая особенность.
2. Двойной электрический слой на границе твердое тело-раствор.
3. Кинетика электрохимических процессов.
4. Металлическая связь. Зонная теория металлов и полупроводников.
5. Строение и классификация органических соединений.
6. Современное состояние и проблемы электрохимии органических соединений.

**4.3 Промежуточная аттестация по дисциплине** проводится в форме кандидатского экзамена.

#### Вопросы экзамена

1. Электромембранные технологии.
2. Электродиализ и электродиализаторы.
3. Электродные материалы. Конструкции электролизеров. Выход по току и энергии.
4. Электрический баланс электролизеров.
5. Аккумуляторы и топливные элементы.
6. Механизмы анодного растворения железа Хойслера, Бокриса, Колотыркина.
7. Химическая и электрохимическая полировка.
8. Анодный и катодный процессы при меднении. Качество осадков и природа электролита.
9. Механизмы реакции выделения водорода.
10. Электролитическое получение хлора и щелочи.
11. Электролитическое получение алюминия. Ванны с верхним и боковым подводом тока к аноду.
12. Химическое (аномальное) растворение металлов. Радикальный механизм процесса.
13. Современные представления о пассивации металлов.
14. Бескислородная пассивация металлов органическими соединениями.
15. Состояние молекул растворителя в двойном электрическом слое и их роль в кинетике ионизации металлов.
16. Механизм анодного растворения меди в кислых средах. Роль природы среды.
17. Диффузия водорода через мембрану. Представления Пиккеринга. Влияние природы замедленной стадии и растворителя.
18. Высокие, средние и низкие энергии адсорбции растворителя и их роль в кинетике и механизме анодного растворения металлов.
19. Ингибиторы сероводородной коррозии металлов.
20. Ингибирование кислотной коррозии металлов.
21. Методы исследования коррозионной стойкости неметаллических материалов.
22. Защита от атмосферной коррозии ингибированными масляными пленками.

#### Задания для экзамена

1. Вывести кинетическое уравнение процесса анодного растворения железа по механизму Хойслера.
2. Вывести кинетическое уравнение процесса анодного растворения железа по механизму Бокриса.
3. Вывести критериальные величины процесса катодного выделения водорода по механизму Фольмера.
4. Вывести критериальные величины процесса катодного выделения водорода по механизму Форльмера-Тафеля с лимитирующей реакцией Тафеля.
5. Показать графически, как можно определить порядок анодного растворения металла по ионам водорода в кислой среде.

#### 4.4 Шкала оценивания промежуточной аттестации

Оценка	Основные показатели достижения результата
«отлично»	Демонстрирует высокий уровень знаний при решении исследовательских и практических задач в области технологии электрохимических процессов и защиты от коррозии
	Умеет определять основные цели, задачи, методы исследований в области технологии электрохимических процессов.
	В полном объеме владеет методами испытаний устойчивости конструкционных материалов к различным видам коррозии.
«хорошо»	Демонстрирует достаточный уровень знаний при решении исследовательских и практических задач в области технологии электрохимических процессов и защиты от коррозии
	Определяет основные цели, задачи, методы исследований в области технологии электрохимических процессов в достаточной мере.
	В достаточном объеме владеет методами испытаний устойчивости конструкционных материалов к различным видам коррозии.
«удовлетворительно»	Демонстрирует не достаточный уровень знаний при решении исследовательских и практических задач в области технологии электрохимических процессов и защиты от коррозии
	Слабо определяет основные цели, задачи, методы исследований в области технологии электрохимических процессов в достаточной мере.
	В не достаточном объеме владеет методами испытаний устойчивости конструкционных материалов к различным видам коррозии.
«неудовлетворительно»	Демонстрирует не достаточный уровень при решении исследовательских и практических задач в области технологии электрохимических процессов и защиты от коррозии
	Не ориентируется в определении основных целей, задач, методов исследований в области технологии электрохимических процессов.
	Не владеет методами испытаний устойчивости конструкционных материалов к различным видам коррозии.

#### 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

##### 5.1 Основная литература:

1. В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова. Электрохимическое и коррозионное поведение металлов в кислых спиртовых и водно-спиртовых средах. Монография. – М.: Радиотехника, 2009. 328 с. [http:// biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/](http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/)
2. В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова. Кинетика и механизм электродных реакций в процессах коррозии металлов. Тамбов. Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина. 2010. 127 с. [http:// biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/](http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/)
3. Ангал, Р. Коррозия и защита от коррозии [Текст] : [учеб. пособие] / Р. Ангал ; пер. с англ. А.Д. Калашникова . Долгопрудный : Издат. Дом "Интеллект", 2013 .— 344 с. (Книгафонд) [http:// biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/](http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/)

## **5.2 Дополнительная литература:**

1. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Таныгина Е.Д., Шель Н.В., Зазуля А.Н. Антикоррозионные тонкопленочные материалы на основе индивидуальных парафиновых углеводов. Изд-во Першина Р.В. 2013. 24.7 п.л. [http:// biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/](http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/)
2. Л.Е. Цыганкова, В.И. Вигдорович. Лабораторный практикум по химическому сопротивлению материалов и защите от коррозии. Тамбов. 2010. 197 с. Изд-во Першина Р.В. (эл. фонд). [http:// biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/](http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/)
3. В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова. Ингибирование сероводородной и углекислотной коррозии. Универсализм ингибиторов. М.: КАРТЭК. 2011. 243 с. [http:// biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/](http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/)
4. В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Н.В. Шель, Князева Л.Г., Зазуля А.Н. Защита металлов от атмосферной коррозии масляными покрытиями (теория, практика, экологические аспекты). ISBN 978-5-9901582-5-2. М. Изд-во «КАРТЭК» 2014. 220 с. [http:// biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/](http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/)
5. Л.Е. Цыганкова Лабораторные работы по импедансной спектроскопии. 2008. 2 печ. Л. Изд-во Першина Р.В. [http:// biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/](http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog/)

## **5.3 Иные источники: не предусмотрены.**

## **6. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Для проведения занятий по дисциплине необходимо следующее материально-техническое обеспечение: помещения для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, помещения для самостоятельной работы.

Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа используются наборы демонстрационного оборудования, обеспечивающие тематические иллюстрации (проектор, ноутбук, экран/ интерактивная доска).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

## **Электронная информационно-образовательная среда**

<http://moodle.tsutmb.ru>

Взаимодействие преподавателя и аспиранта в процессе освоения дисциплины осуществляется посредством мультимедийных, гипертекстовых, сетевых, телекоммуникационных технологий, используемых в электронной информационно-образовательной среде университета.

**Лицензионное программное обеспечение:**

Операционная система Microsoft Windows XP SP3

Office 2007

Антивирус касперского 10.2.6.3733

**Информационные справочные системы и профессиональные базы данных:**

ЭБС «Университетская библиотека онлайн»	<a href="http://www.biblioclub.ru">http://www.biblioclub.ru</a>
ЭБС «Консультант студента»: Медицина. Здравоохранение, Комплект Гуманитарные науки	<a href="http://www.studentlibrary.ru">http://www.studentlibrary.ru</a>
ЭБС «IPRSMART» (старое название « IPR books»)	<a href="http://iprbookshop.ru">http://iprbookshop.ru</a>
ЭБС «Юрайт»	<a href="http://www.urait.ru">http://www.urait.ru</a>
Сетевая электронная библиотека педагогических вузов	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
Государственная информационная система «Национальная электронная библиотека»	<a href="https://нэб.пф">https://нэб.пф</a>
Президентская библиотека имени Б.Н. Ельцина	<a href="http://www.prilib.ru">http://www.prilib.ru</a>
Электронный справочник «Информо»	<a href="http://www.informio.ru">www.informio.ru</a>
Справочная правовая система «Консультант Плюс»	<a href="http://www.consultant.ru">http://www.consultant.ru</a>
Архив научных журналов зарубежных издательств	<a href="https://arch.neicon.ru">https://arch.neicon.ru</a>