

# МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

## **ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

### **ПРОГРАММА**

вступительного экзамена по специальной дисциплине,  
соответствующей научной специальности аспирантуры

### **2.6.9 ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ**

Поступающие в аспирантуру сдают вступительное испытание по специальной дисциплине в устной форме.

Экзамен проводится по билетам, включающим два теоретических вопроса из разных разделов предложенной программы, и развернутое сообщение по теме проводимого научного исследования.

В основу ответа на третий вопрос могут быть положены публикации поступающего в аспирантуру или выполненные ранее выпускные квалификационные или иные исследовательские работы.

Цель третьего задания – оценить навыки и умения в области научно-исследовательской деятельности: а) постановка цели, б) формулировка задач исследования, в) описание материала исследования, г) знание терминологии по теме проводимого исследования, д) владение стилем научного изложения.

Члены экзаменационной комиссии вправе задавать дополнительные уточняющие вопросы, которые могут касаться как фактического, так и теоретического материала.

Ответы на все вопросы оцениваются по одним и тем же критериям.

Программа ориентирована на самостоятельную подготовку к вступительному экзамену и включает основные разделы: «Основы электрохимии», «Основы коррозии металлов», «Основные принципы коррозионностойкого легирования», «Методы исследования коррозионных процессов». К Программе приложен список основной и дополнительной литературы, необходимой для подготовки к экзамену.

#### **Раздел 1. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИИ**

1. Электролитическая диссоциация. Сильные и слабые электролиты. Термодинамическая активность электролита. Прохождение тока через электролит: электропроводность, подвижность ионов, законы Фарадея.

2. Равновесия ионных реакций обмена. Ионное произведение воды. Гидролиз. Буферные растворы. Произведение растворимости малорастворимых солей и оснований. рН гидратообразования.

3. Механизм возникновения скачка потенциала на границе металл-электролит. Строение двойного электрического слоя. Влияние адсорбции на его строение. Потенциал точки нулевого заряда и адсорбция ПАВ.

4. Термодинамика электрохимического элемента. Обратимый электродный потенциал. Классификация электродов. Опытное определение ЭДС элементов. Необратимый электродный потенциал. Приложение термодинамики электрохимического элемента к процессам коррозии металлов и электролиза.

5. Основные стадии электродного процесса. Электрохимическая и диффузионная

кинетика. Возникновение электродной поляризации. Электрохимическая и концентрационная поляризация. Методы измерения электродной поляризации.

6. Электрохимическая кинетика. Скорость и энергия активации электрохимической кинетики, поляризационные кривые: частные и суммарная. Уравнение Тафеля. Ток обмена и поляризуемость электродов. Перенапряжение выделения водорода. Влияние адсорбции ПАВ на скорость электрохимической реакции.

7. Диффузионная кинетика. Условия возникновения диффузионного тока. Неподвижный слой Нернста. Конвективная диффузия. Уравнение диффузионной плотности тока. Предельный ток. Уравнение концентрационной поляризации. Нестационарная диффузия. Смешанная кинетика. Полная поляризационная кривая. Механизм и кинетика разряда комплексных ионов.

8. Анодные процессы. Кинетика, анодного растворения металла. Анодная пассивность металла. Кинетика анодного выделения газов.

## **Раздел 2. ОСНОВЫ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ**

1. Электрохимическая природа коррозионных процессов в растворах электролитов. Межфазная разность потенциалов. Строение и уравнение двойного электрического слоя. Потенциал нулевого заряда. Термодинамика электрохимической коррозии металлов.

2. Кинетика электродных процессов. Зависимость скорости электродных процессов от потенциала. Равновесный потенциал и ток обмена.

3. Поляризация электродных процессов. Общие причины поляризации электродов. Электрохимическая поляризация.

4. Термодинамические основы. Классификация анодных процессов. Диаграммы Пурбэ. Закономерности анодного растворения металлов. Электрохимические реакции перехода.

5. Уравнение электрохимической поляризации (перенапряжение перехода). Влияние природы растворителя на анодное растворение. Анодные процессы в водных и водно-органических средах. Роль молекул растворителя. Растворение металлов в растворах электролитов по химическому механизму.

6. Влияние анионов на кинетику анодного растворения. Анодное растворение в активном состоянии. Ингибирующее действие анионов.

7. Анодное растворение в активном состоянии. Термодинамические основы растворения сплавов. Кинетика растворения сплавов.

8. Коррозия металлов с водородной депполяризацией. Термодинамическая возможность разряда ионов водорода на катоде. Схема процесса.

9. Перенапряжение водорода и его теории. Процесс Фольмера, процесс Гейровского, процесс Тафеля.

10. Концентрационная поляризация. Коррозия металлов с кислородной депполяризацией.

11. Термодинамическая возможность ионизации кислорода на катоде. Схема процесса. Механизм электрохимического восстановления кислорода.

12. Сложный электрод. Условие стационарности. Расчет скорости растворения металла по уравнению Тафеля. Влияние концентрации водородных ионов на скорость коррозии металлов.

13. Теория местных коррозионных элементов. Факторы дифференции поверхности металла. Влияние анодной и катодной поляризации на работу простого коррозионного элемента.

14. Разностный и защитный эффект. Теория макрокоррозионных пар. Макрокоррозионные пары неравномерного доступа окислителя к металлу. Термогальванические макропары.

15. Определение и характеристики пассивного состояния. Пассиваторы и активаторы. Анодная поляризационная кривая пассивирующегося металла и его характеристика.

16. Теория пассивности металлов. Перепассивация металлов и ее теории. Практическое значение пассивности металлов.

17. Анодная защита, катодное легирование. Аморфизация металлов, как фактор повышения пассивируемости.

18. Коррозионно-механическое разрушение металлов. Коррозия под напряжением. Коррозионное растрескивание. Влияние циклических напряжений. Коррозионная усталость. Способы защиты.

19. Водородная коррозия металлов. Водородное охрупчивание. Наводороживание и кинетика разряда ионов водорода. Влияние состава сплава и структуры его поверхности. Способы защиты.

### **Раздел 3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОРРОЗИОННОСТОЙКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ**

1. Пути повышения коррозионной стойкости металлов легированием. Перспективные методы создания коррозионностойких сплавов.

2. Обоснование выбора коррозионностойких сплавов в конкретных условиях эксплуатации.

3. Газовая коррозия железа и стали: окисление, обезуглероживание, водородная хрупкость, рост чугунов. Электрохимическая коррозия железа и стали: термодинамическая стойкость, влияние внешних и внутренних факторов на коррозионную стойкость железа, стали, чугуна.

4. Проблема коррозионного растрескивания и наводороживания низколегированных углеродистых сталей. Коррозия в сероводородных средах. Техничко-экономические показатели углеродистых и низколегированных сталей.

5. Классификация коррозионностойких железных сплавов по составу и структуре назначения основных легирующих компонентов. Коррозионная стойкость хромистых сталей: влияние структуры и содержания хрома на газовую коррозию в электролитах. Хромоникелевые аустенитные стали. Коррозионная стойкость сталей: газовая коррозия, общая электрохимическая коррозия, пассивность.

6. Локальные виды коррозии хромистых и хромоникелевых сталей. Межкристаллитная, точечная, щелевая коррозия, коррозионное растрескивание. Основные направления разработки хромоникелевых сталей. Проблемы экономии дефицитных легирующих компонентов.

7. Коррозионностойкие чугуны. Легирование чугунов для повышения их стойкости против газовой и электрохимической коррозии. Техничко-экономические показатели коррозионностойких сплавов на основе железа.

8. Медь и ее сплавы. Применение и технологические свойства. Электрохимическая коррозия меди и ее сплавов. Газовая коррозия меди. Электрохимическая и газовая коррозия сплавов меди: бронзы, латуней. Коррозионное растрескивание и обесцинкование латуней. Техничко-экономические показатели применения медных сплавов.

9. Никель и его сплавы. Электрохимическая и газовая коррозия никеля. Принципы коррозионностойкого легирования никеля. Применение и технико-экономические показатели сплавов никеля.

10. Алюминий и его сплавы. Электрохимическая коррозия алюминия. Межкристаллитная коррозия, коррозионное растрескивание, расслаивающаяся, точечная коррозия алюминиевых сплавов. Методы их устранения оптимальным легированием, термообработкой и низкотемпературной механической обработкой.

11. Магний и его сплавы. Электрохимическая и газовая коррозия магния. Коррозионная стойкость сплавов на основе магния. Локальные виды коррозии магниевых сплавов. Методы защиты магниевых сплавов от коррозии.

12. Титан и его сплавы. Электрохимическая и газовая коррозия титана. Коррозионная стойкость титановых сплавов.

#### **Раздел 4. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ**

1. Цели исследования коррозионных процессов. Требования, предъявляемые к методам исследований и научные принципы их применения к изучению процессов коррозии. Классификация методов исследований. Основные этапы подготовки проведения коррозионных исследований.

2. Методы коррозионных исследований, их развитие и области применения. Гравиметрия. Объемные методы. Резистометрические измерения. Исследование механических свойств, исследование жидких и газовых коррозионных сред. Химические, радиохимические, полярографические, фотокалориметрические и хроматографические методы.

3. Электрохимические методы исследований. Измерение электродных потенциалов. Методы снятия поляризационных кривых в различных режимах и их анализ. Кулонометрические измерения. Импульсные методы. Измерение импеданса. Аппаратура для электрохимических исследований.

4. Оптические методы коррозионных исследований. Макро- и микроскопические исследования поверхности корродирующего металла. Измерение отражательной способности. Эллипсометрия, ее научные основы, возможности применения и аппаратное оформление. Метод фотоэлектрической поляризации.

5. Методы коррозионных испытаний: цели и классификация. Лабораторные коррозионные испытания: при полном погружении, испытания на коррозию по ватерлинии. Внелабораторные испытания: атмосферные, испытания в почве, в естественных водных средах. Метод ускоренных коррозионных испытаний.

6. Методы испытаний на местные (локальные) виды коррозии: на межкристаллитную коррозию (МКК), коррозионное растрескивание (КР), расслаивающую коррозию. Единая система защиты металлов от коррозии и старения (ЕСЗКС).

7. Классификация методов анализа поверхности твердых тел по виду зондирующего воздействия. Физические основы метода электронной Оже-спектроскопии (ОЭС). Аппаратурное оформление установки ОЭС. Применение ОЭС для изучения коррозии и окисления металлов и сплавов.

#### **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

##### **Основная**

1. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Химическая технология неорганических веществ и материалов». М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.

2. Ракоч А.Г. Коррозия и защита металлов: газовая коррозия металлов. Курс лекций / А.Г. Ракоч, Ю.А. Пустов, А.А. Гладкова. М.: Издательский Дом МИСиС, 2013. 56 с.

3. Лазуткина О.Р. Химическое сопротивление и защита от коррозии: Учебное пособие. Изд-во Урал. ун-та, 2014. 140 с.

4. Кайдриков Р.А. Электрохимические методы оценки коррозионной стойкости многослойных гальванических покрытий: монография / Р.А. Кайдриков, С.С. Виноградова, Б.Л. Журавлев. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2010. 141 с.

5. Основы электрохимии и защита от коррозии: контрольные задания / составители В.Э. Ткачева. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. 48 с.

6. Коррозия и защита металлов: учебное пособие для вузов / О.В. Ярославцева [и др.]; под научной редакцией А.Б. Даринцевой. М.: Юрайт, 2020. 89 с.

##### **Дополнительная**

1. Васильев В.Ю. Коррозионная стойкость и защита от коррозии металлических, порошковых и композиционных материалов: учебное пособие / В.Ю. Васильев,

Ю.А. Пустов. М.: Издательский Дом МИСиС, 2005. 130 с.

2. Коррозия: справочник / пер. с англ.: В.Д. Вальков, В.М. Гладышев, П. Поздеев, ред. Л.Л. Шрайер. М.: Металлургия, 1981. 632 с.

3. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов: учебное пособие для студентов металлургических специальностей вузов / Н.П. Жук. М.: Металлургия, 1976. 472 с.

4. Физические методы в исследованиях осаждения и коррозии металлов: учебное пособие / С.С. Виноградова, Р.А. Кайдриков, А.Н. Макарова, Б.Л. Журавлев. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. 144 с.

5. Теория и технология электрохимических методов защиты от коррозии: учебно-методическое пособие / О.В. Ярославцева, В.М. Рудой, Н.И. Останин [и др.]; под редакцией А.Б. Даринцева. Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. 96 с.

6. Гамбург Ю. Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению / Ю.Д. Гамбург. М.: Техносфера, 2006, ISBN 5-94836-079-2. 216 с.

7. Поветкин В.В., Ковенский И.М. Структура электролитических покрытий: научное издание. М.: Металлургия, 1989, ISBN 5-229-00350-2. 136 с.

8. Прикладная электрохимия: учебник для вузов / Р.И. Агладзе [и др.]; ред. А.П. Томилов. 3-е изд., перераб. М.: Химия, 1984. 519 с.

### **Рекомендуемый список Интернет-ресурсов**

1. «Коррозия: материалы, защита» – ежемесячный рецензируемый научно-технический, производственный и учебно-методический журнал

[http://www.nait.ru/journals/index.php?p\\_journal\\_id=5](http://www.nait.ru/journals/index.php?p_journal_id=5)

2. Конденсированные среды и межфазные границы / Condensed Matter and Interphases – научный журнал <https://journals.vsu.ru/kcmf/about>

3. Электрохимия – научный журнал <https://sciencejournals.ru/journal/elkhim/>

4. Гальванотехника и обработка поверхности <http://www.galvanotehnika.info/index.php>

5. Neftegaz.RU – деловой журнал <https://magazine.neftegaz.ru/>

6. Электронный фонд актуальных правовых и нормативно-технических документов <https://docs.cntd.ru/>

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Причины коррозионного разрушения металлов. Виды коррозионных разрушений.

2. Классификация коррозионных процессов.

3. Явления на границе раздела фаз металл-электролит. Межфазная разность потенциалов.

4. Электродные потенциалы, механизмы их возникновения. Обратимые и необратимые потенциалы. Понятие о стационарном потенциале металла. Потенциал нулевого заряда.

5. Термодинамические аспекты электрохимической коррозии.

6. Общая характеристика электрохимического коррозионного процесса. Понятие о катодных и анодных процессах.

7. Коррозионный процесс с водородной деполяризацией. Кинетическая схема катодного процесса. Перенапряжение водорода.

8. Коррозионный процесс с кислородной деполяризацией. Кинетическая схема процесса.

9. Общая характеристика анодных процессов при коррозии металлов. Диаграммы Пурбэ.

10. Электрохимическая гетерогенность поверхности металла, ее причины и влияние на коррозионный процесс.

11. Основные закономерности кинетики электродных реакций.

12. Катодная и анодная поляризация, ее причины. Поляризационные кривые.

13. Основные уравнения электрохимической кинетики.

14. Анодная реакция растворения металла. Понятие о стадийных процессах. Участие анионов в анодном процессе.
15. Кинетические схемы анодного растворения железа в кислых и щелочных электролитах.
16. Механизмы коррозии и анодного растворения сплавов.
17. Пассивность металлов. Основные теории пассивности. Параметры, характеризующие пассивное состояние металла.
18. Влияние внутренних и внешних факторов на электрохимическую коррозию металлов.
19. Структура металлов и ее влияние на коррозионные процессы.
20. Основные методы защиты металлов от коррозии.
21. Электрохимические методы. Катодная защита. Протекторная защита. Анодная защита. Кислородная защита.
22. Ингибиторы как средство защиты от коррозии. Механизм их действия, типы ингибиторов.
23. Защита металла от коррозии поверхностными покрытиями. Металлические покрытия. Неметаллические покрытия.
24. Локальные виды коррозии. Щелевая, питтинговая коррозия.

*Составители программы: профессор А.Б. Шеин, доцент И.В. Петухов, доцент Н.А. Медведева.*

*Программа одобрена Ученым советом химического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета.*