


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО ВГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
физической химии



Козадеров О.А.

08.06.2023

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.01.02 Коррозия металлов и методы**  
**защиты от коррозии**

1. Код и наименование направления подготовки: 04.03.01 Химия
2. Профиль подготовки: Теоретическая и экспериментальная химия
3. Квалификация выпускника: Бакалавр
4. Форма обучения: Очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: Физической химии
6. Составитель программы: Бобринская Елена Валерьевна, к.х.н., доцент
7. Рекомендована: Научно-методическим Советом химического факультета от 25.04.2023, протокол № 4.
8. Учебный год: 2024/ 2025                      Семестр: 5

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью освоения учебной дисциплины является:

сформировать систему знаний о закономерностях процессов окислительно-восстановительного взаимодействия металлов с агрессивными средами; освоить фундаментальные законы науки применительно к химической и электрохимической коррозии металлов и сплавов, а также научиться определять оптимальные методы защиты от коррозии.

Задачи учебной дисциплины:

- сформировать у обучающихся систему знаний в области термодинамики и кинетики парциальных процессов химической и электрохимической коррозии;
- познакомить обучающихся с основными методами коррозионных испытаний;
- сформировать систему знаний о принципах противокоррозионной защиты металлов.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** блок 1 вариативной части, дисциплина по выбору. Для изучения данной учебной дисциплины требуются базовые знания материала по курсам «Физика» и «Физическая химия» бакалавриата химического факультета.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен проводить сбор, анализ и обработку научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации	ПК -1.1  ПК-1.2	Обеспечивает сбор научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач исследования, поставленных специалистом более высокой квалификации. Составляет аналитический обзор литературных источников по заданной тематике, оформляет отчеты о выполненных научно-исследовательских работах по заданной форме.	Знать: основные положения электрохимической коррозии металлов Уметь: применять знания в области коррозии для определения причин развития коррозионных разрушений и их устранения Владеть: навыками работы на оборудовании, составления протоколов испытаний, интерпретации полученных результатов, отчетов о выполненной работе по заданной форме

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 4/144.**

**Форма промежуточной аттестации** Зачет.

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ 5	№ семестра	...
Аудиторные занятия	108	108		
в том числе:	лекции	36	36	
	практические	36	36	
	лабораторные	36	36	
Самостоятельная работа	36	36		
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (экзамен – _ час.)	зачет	зачет		
Итого:	144	144		

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Основные понятия и предмет курса	Определение понятия «коррозия металла». Химическая и электрохимическая коррозия. Объекты коррозионной науки. Виды коррозионных поражений металла. Скорость коррозии. Значение науки о коррозии.	
1.2	Термодинамические предпосылки и кинетические особенности газовой коррозии	Оценка термодинамической устойчивости металлов к газовой коррозии. Жаростойкость и жаропрочность. Влияние температуры на склонность металлов к окислению. Элементарные стадии процесса газовой коррозии. Законы роста пленок продуктов коррозии на металле. Сплошные (защитные) и несплошные пленки. Влияние различных факторов на скорость газовой коррозии.	
1.3	Термодинамика электрохимической коррозии.	Коррозия металла как самопроизвольный окислительно-восстановительный процесс. Термодинамические предпосылки коррозии. Диаграммы потенциал—рН (М.Пурбе).	
1.4	Метод коррозионных диаграмм.	Экспериментальное доказательство электрохимического механизма коррозии. Графическое представление кинетики коррозионного процесса. Принцип независимого протекания парциальных процессов коррозии: каноническая и современная формулировка. Коррозионные диаграммы Вагнера-Трауда и Эванса. Коррозионные диаграммы при наличии в агрессивной среде двух окислителей, электрическом контакте металлов и пассивации металла. Положительный и отрицательный разностный эффект.	
1.5	Кинетика парциальных катодных процессов коррозии.	Кинетика восстановления растворенного кислорода. Кислые и щелочные среды. Роль диффузионного массопереноса. Кинетика выделения водорода из кислых и щелочных сред. Влияние природы металла. Определение характера катодного процесса по реальной поляризационной кривой выделения водорода. Специфика одновременного	

		восстановления кислорода и водородных ионов на металлическом электроде.	
1.6	Кинетика парциальных анодных процессов коррозии.	Общая характеристика анодных процессов на металле. Полная анодная потенциостатическая кривая металла. Контролирующие факторы анодного растворения металла в активном состоянии. Кинетика анодного растворения меди и железа Кинетика анодных процессов на никеле, цинке, серебре. Равномерный и селективный характер растворения сплавов и интерметаллических фаз.	
1.7	Теоретические основы электрохимической коррозии	Коррозия с водородной деполяризацией. Влияние природы металла и pH среды на скорость процесса. Роль структуры двойного электрического слоя. Ингибирование коррозионного процесса. Пассивация металла и пассиваторы. Катодная и протекторная защита. Локальные виды коррозии. Коррозия с кислородной деполяризацией Коррозия в обескислороженных средах. Пассивное состояние металла. Теории пассивности. Коррозия металла в пассивном состоянии.	
1.8	Некоторые практические виды коррозии.	Морская коррозия, методы ее изучения. Морская коррозия меди и сталей. Коррозия по ватерлинии. Протекторная защита от морской коррозии. Особенности коррозии в почвах. Влияние характера почв на скорость коррозии. Локальные виды коррозии. Теория питтинга. Щелевая, межкристаллитная и транскристаллитная коррозия. Ингибиторы, их классификация и механизмы действия. Роль адсорбции ингибитора. Пассиваторы и депассиваторы.	
1.9	Экспериментальные методы исследования процесса коррозии	Качественные и количественные показатели коррозионного разрушения. Методика проведения испытаний коррозионного поведения металлических материалов. Электрохимические методы определения скорости коррозии.	
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1-2.2	Термодинамические предпосылки и кинетические особенности газовой коррозии	Оценка термодинамической устойчивости металлов к газовой коррозии. Влияние температуры на склонность металлов к окислению. Расчет скорости коррозии. Законы роста пленок продуктов коррозии на металле (линейный, параболический и логарифмический).	
2.2-2.3	Термодинамика электрохимической коррозии.	Коррозия металла как самопроизвольный окислительно-восстановительный процесс. Диаграммы потенциал—pH (М.Пурбе) меди, алюминия и железа.	
2.4	Метод коррозионных диаграмм.	Коррозионные диаграммы Вагнера-Трауда и Эванса. Практическое построение коррозионных диаграмм при наличии в агрессивной среде двух окислителей, при контакте металлов и в случае пассивации металла.	
2.5	Кинетика парциальных катодных процессов коррозии.	Кинетика восстановления растворенного кислорода. Кинетика выделения водорода из кислых сред, влияние природы металла. Практическое построение поляризационных кривых. Определение характера катодного процесса по	

		реальной поляризационной кривой выделения водорода.	
2.6	Кинетика парциальных анодных процессов коррозии.	Кинетика анодного растворения меди и железа в сульфатных средах. Практическое построение поляризационных кривых. Кинетика анодного растворения латуней в хлоридных средах.	
2.7	Теоретические основы электрохимической коррозии	Практическое построение коррозионных диаграмм при коррозии с водородной деполяризацией. Прогнозы влияния природы металла и pH среды на скорость процесса. Ингибирование коррозионного процесса, Катодная и протекторная защита на коррозионных диаграммах. Практическое построение коррозионных диаграмм при коррозии с кислородной деполяризацией.	
2.8-2.9	Некоторые практические виды коррозии	Морская коррозия. Моделирование морской коррозии меди и сталей. Коррозия по ватерлинии. Протекторная защита от морской коррозии. Локальные виды коррозии. Наблюдение питтинговой коррозии на меди и железе. Ингибиторы кислотной коррозии. Моделирование действия ингибиторов.	
<b>3. Лабораторные занятия</b>			
3.1-3.2	Термодинамика электрохимической коррозии.	1. Электрод I рода. 2. Электрод II рода.	
3.2--3.3	Теоретические основы электрохимической коррозии	1. Водородный электрод 2. Химические цепи.	
3.4	Метод коррозионных диаграмм.	1. Влияние состава электролита на эффективность работы коррозионного элемента 2. Определение скорости коррозии короткозамкнутого гальванического элемента.	
3.5-3.7	Кинетика парциальных катодных и анодных процессов	1. Кинетика электрохимического восстановления кислорода. 2. Установление кинетических закономерностей катодного выделения водорода 3. Анодное поведение меди в кислых хлоридных растворах.	
3.8-3.9	Некоторые виды коррозии	1. Контактная коррозия металлов. 2. Гравиметрическое определение скорости коррозии железа в различных электролитах. 3. Питтинговая коррозия меди. 4. Селективная коррозия.	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Основные понятия и предмет курса	3	3	—	-	3
2	Термодинамические предпосылки и кинетические особенности газовой коррозии	3	3		5	17
2	Термодинамика электрохимической коррозии.	3	3	8	5	14
3	Метод коррозионных	6	6	8	6	20

	диаграмм.					
4	Кинетика парциальных катодных процессов коррозии.	3	3	4	5	23
5	Кинетика парциальных анодных процессов коррозии.	3	3	4	5	17
6	Теоретические основы электрохимической коррозии	3	3	4	4	16
7	Некоторые практические виды коррозии.	6	6	8	4	18
8	Методы коррозионных испытаний	6	6	-	2	16
	Итого	36	36	36	36	144

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения материала необходимо сочетать изучение лекционного материала по основным разделам курса, подготовку и выполнение заданий на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, а также обязательно осуществлять самостоятельную работу с литературными источниками по материалу курса.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

##### а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Дамаскин Б.Б. Электрохимия : [учебное пособие для студ., обуч. по направлению подгот. «Химия» ] / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирлина.- Изд. 3-е, испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2015. - 670 с
2	Козадеров О.А. Массоперенос и фазообразование при анодном селективном растворении гомогенных сплавов : монография / О.А. Козадеров, А.В. Введенский. – Воронеж : ИПЦ «Научная книга», 2014. – 288 с.
3	Семенова И.В. Коррозия и защита от коррозии : [ учебное пособие для студ., вузов] / И.В. Семенова. – М.: Физматлит, 2012. – 373 с.

##### б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Ангал Р. Коррозия и защита от коррозии. Перевод с англ. /Р. Ангал.-Изд. 2-е.- Долгопрудный. Интеллект, 2014.-345 с.
5	Анодное растворение и селективная коррозия сплавов / И.К. Маршаков [и др.]. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1988. – 288 с.
6	Kubaschewski O. Metallurgical Thermochemistry / O. Kubaschewski, E.Ll. Evans. – London : Pergamon Press, 1958. - 426 p.
7	Бокштейн Б.С. Термодинамика и кинетика границ зерен в металлах / Б.С. Бокштейн, Ч.В. Копецкий, Л.С. Швиндлерман. – М. : Металлургия, 1986. – 224 с.
8	Кеше Г. Коррозия металлов. Физико-химические принципы и актуальные проблемы / Г. Кеше : пер. с нем. – М. : Металлургия, 1984. – 400 с.

##### в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет\*:

№ п/п	Ресурс
1.	<a href="#">Электронная библиотека ЗНБ ВГУ</a>
2.	<a href="#">ЭБ «Military»</a>
3.	<a href="#">ЭБС «Консультант студента»</a>
4.	<a href="#">ЭБС «IPRbooks»</a>
5.	<a href="#">ЭБС «Лань»</a>
6.	<a href="#">ЭБС «Университетская библиотека on-line»</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Козадеров О.А. Массоперенос и фазообразование при анодном селективном растворении гомогенных сплавов : монография / О.А. Козадеров, А.В. Введенский. – Воронеж : ИПЦ «Научная книга», 2014. – 288 с.
2	Сборник вопросов и задач по прикладной электрохимии : учебно-методическое пособие / составители: Е. В. Бобринская, Н. В. Соцкая, О. А. Козадеров .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2019 .— 79 с.
3	Введенский А.В. Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие / А.В. Введенский, С.А. Калужина, Т.А. Кравченко и др. Под ред. А.В. Введенского и О.А. Козадерова. – СПб.: Лань, 2018. – 208 с.

## 17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

При реализации учебной дисциплины используются элементы электронного обучения и различные дистанционные образовательные технологии, позволяющие обеспечивать опосредованное взаимодействие (на расстоянии) преподавателей и обучающихся, включая инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), проведение вебинаров, видеоконференций (в том числе с применением сервисов Zoom, Discord и др.), взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционные и практические занятия проводятся в аудиториях, оснащенных оборудованием, техническими средствами обучения, программными продуктами, состав которых определяется в РПД, РПП. Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета. Реактивы и химическая посуда, доска ученическая, шкаф вытяжной, водяная баня, термостат, комплексная лаборатория по физической химии (термодинамики и кинетика), весы аналитические, мультиметры, источники питания, сушильный шкаф, аквадистиллятор.

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	1.2-1.3 Термодинамика химической и электрохимической коррозии. 1.2, Кинетические особенности газовой коррозии. 1.4-1.5 Кинетика парциальных анодных и катодных процессов коррозии. 1.6 Теоретические	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	Решение практических задач, устный опрос

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	основы электрохимической коррозии			
2.	1.3 Метод коррозионных диаграмм. 1.4-1.5 Кинетика парциальных анодных и катодных процессов коррозии. 1.7 Некоторые практические виды коррозии.	ПКВ-1	ПКВ-1.2	<i>Решение практических задач, устный опрос</i>
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				<i>Перечень вопросов</i>

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Решение практических задач

---

#### Перечень расчетных заданий к практическим занятиям.

##### **Расчетные задания** (разделы 1.2-1.7)

1. Заданы температура и pH морской воды. Будет ли в данных условиях термодинамически стабилен сплав указанного состава? Ответ пояснить.
2. Изобразить коррозионную диаграмму для контакта железо –  $\alpha$ -латунь. Саморастворение протекает в морской воде.
3. Представить данные, свидетельствующие об электрохимическом механизме саморастворения латуней в концентрированном хлоридном растворе. Изобразить соответствующие коррозионные диаграммы.
4. На серебряном электроде задано определенное значение потенциала. Что можно сказать о термодинамически вероятном процессе при разных значениях pH агрессивной среды? Как изменится ответ при замене серебра  $\alpha$ -фазой Ag<sub>30</sub>Zn?
5. Медный электрод погружен в раствор с известным значением pH. Что можно сказать о термодинамически вероятном процессе при разных значениях электродного потенциала? Как изменится ответ при замене меди  $\beta$ -фазой Cu<sub>44</sub>Zn?
6. Чистый металл подвергается коррозии с водородной деполяризацией. Даны уравнения анодной поляризационной кривой растворения металла и катодной поляризационной кривой выделения водорода на данном металле. Построить коррозионную диаграмму и определить графически ток коррозии и потенциал свободной коррозии.
7. Тот же вопрос в случае замены металла гомогенным сплавом на основе этого же металла с небольшим содержанием более благородного металла.
8. Металл подвергается коррозии с кислородной деполяризацией. Задан предельный катодный ток восстановления кислорода в данных условиях. Построить коррозионную диаграмму и определить графически ток коррозии и потенциал свободной коррозии.
9. Тот же вопрос в случае замены металла гомогенным сплавом на основе этого же металла с небольшим содержанием более благородного металла.
10. Чистый металл подвергается коррозии с водородной деполяризацией. Даны уравнения анодной поляризационной кривой растворения металла и катодной поляризационной



кривой выделения водорода на данном металле. Построить коррозионную диаграмму и показать графически возможность катодной защиты.

11. Тот же вопрос в случае замены металла гомогенным сплавом на основе этого же металла с небольшим содержанием более благородного металла.
12. Чистый металл подвергается коррозии с кислородной деполяризацией. Задан предельный катодный ток восстановления кислорода в данных условиях. Построить коррозионную диаграмму и показать графически возможность катодной защиты.
13. Как изменится решение предыдущей задачи, если металл содержит 15-20% менее благородного компонента?
14. Даны анодная поляризационная кривая чистой меди и полная анодная поляризационная кривая  $\alpha$ -латуни  $\text{Cu}_{30}\text{Zn}$  в концентрированной хлоридной среде. Построить парциальные поляризационные кривые растворения цинка и меди из сплава и рассчитать термодинамическую активность меди на поверхности растворяющегося сплава.
15. Известно, что при анодном растворении  $\beta$ -латуни в хлоридных средах часть медного компонента ионизируется, а часть подвергается фазовому превращению в поверхностном слое в чистую медь. По мере роста содержания цинка в  $\beta$ -латуни доля перегруппированной меди быстро увеличивается. Чем объяснить этот факт?
16. Привести примеры эффективного противокоррозионного легирования  $\alpha$ - и  $\beta$ -латуни
17. Даны анодная поляризационная кривая чистой меди и полные анодные поляризационные кривые простой  $\alpha$ -латуни  $\text{Cu}_{30}\text{Zn}$  и мышьяковистой  $\alpha$ -латуни  $\text{Cu}_{30}\text{Zn}_{0,05}\text{As}$  в концентрированной хлоридной среде. Построить парциальные поляризационные кривые растворения меди из обоих сплавов и рассчитать термодинамическую активность меди на их поверхности. В чем формальная причина защитного действия мышьяка?
18. Предложить эксперимент, подтверждающий наличие фазовых превращений в поверхностном слое сплава при его анодном растворении и саморастворении.
19. Объяснить, почему цинк с примесью никеля или платины подвергается сильной кислотной коррозии. Почему чистый цинк корродирует значительно медленнее?
20. Сравнить скорости коррозии  $\alpha$ - и  $\beta$ -латуни в морской воде. Какой характер коррозии ожидается в первом и во втором случае? Почему?

### **Перечень заданий для самостоятельной работы (разделы 1.2-1.7)**

1. Показать умение читать диаграммы потенциал-рН. Какую информацию могут, а какую не могут дать эти диаграммы?
2. Построить коррозионную диаграмму саморастворения амальгамы натрия в растворе  $\text{NaOH}$ . О чем свидетельствует дробный порядок по растворенному натрию в ртути?
3. Построить коррозионную диаграмму саморастворения амальгамы цинка в растворе  $\text{HCl} + \text{ZnCl}_2$ .  
О чем свидетельствует дробный порядок по растворенному цинку в ртути?
4. Рассчитайте равновесный электродный потенциал амальгамного электрода  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$ (амальг.).  
Мольная доля цинка в амальгаме составляет 4%, а его коэффициент активности 0,33.
5. На примере сплавов системы  $\text{Cu}-\text{Zn}$  показать изменение характера анодного растворения в ряду  $\alpha$ -фаза –  $\beta$ -фаза –  $\gamma$ -фаза ... Раствор – концентрированная соляная кислота.
6. На примере сплавов системы  $\text{Ag}-\text{Zn}$  показать изменение характера анодного растворения в ряду  $\alpha$ -фаза –  $\beta$ -фаза –  $\gamma$ -фаза ... Раствор – концентрированный нитрат калия.
7. На основе предложенной потенциостатической хроноамперограммы селективного растворения сплава  $\text{Sn}_{51}\text{In}$  на этапе формирования диффузионной зоны рассчитать коэффициент диффузии индия в сплаве.
8. Известно, что коэффициенты взаимодиффузии компонентов  $\beta$ -латуни, измеренные при селективном растворении, монотонно растут с ростом потенциала растворения. Чем объяснить этот факт?
9. Рассмотрите эксперимент по определению доли меди, перегруппированной в собственную фазу в процессе анодного растворения  $\beta$ -латуни (И.К. Маршаков, Н.В. Вязовикина, 1979). Почему при такой постановке эксперимента можно измерить эту величину? Какие факторы мешают измерению?
10. Доля меди, подвергнувшейся фазовому превращению в поверхностном слое сплава, значительно выше на  $\beta$ -латуни  $\text{Cu}_{48}\text{Zn}$ , чем на  $\beta$ -латуни  $\text{Cu}_{42}\text{Zn}$ . Чем объяснить этот экспериментальный факт?

11. Построить парциальные поляризационные кривые растворения меди из простой  $\alpha$ -латуни  $Cu_{30}Zn$  и мышьяковистой  $\alpha$ -латуни  $Cu_{30}Zn_{0,05}As$  в концентрированной хлоридной среде. Рассчитать термодинамическую активность меди на поверхности обоих сплавов. В чем формальная причина защитного действия мышьяка?
12. Объяснить физико-химические причины саморастворения латуни в морской воде, протекающей с ионизацией и обратным осаждением меди (псевдоселективная коррозия).

#### Описание технологии проведения

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос) по темам курса и выполнения расчетных лабораторных и контрольных работ при проведении лабораторного практикума.

Для текущего контроля усвоения материала используются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом дисциплины
- 2) умение связывать теоретические знания с их практическим применением;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными проводимых лабораторных работ;
- 4) умение применять знание основных законов и закономерностей дисциплины к решению задач.

Для оценивания результатов обучения используется шкала: «зачтено»/«незачтено» или «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно». ..

#### Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Критерии оценивания	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным показателям. Продемонстрировано знание учебного материала, владение понятийным аппаратом дисциплины, умение применять теоретические знания при решении практических задач.	Повышенный уровень	Отлично (зачтено)
Обучающийся владеет понятийным аппаратом, теоретическими основами дисциплины, способен применять имеющиеся знания при решении практических задач, однако при ответе допускает незначительные ошибки, которые способен исправить.	Базовый уровень	Хорошо (зачтено)
Ответ обучающегося не соответствует любым двум из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы. Демонстрирует частичные знания и допускает существенные ошибки при ответе. Не умеет решать практические задачи.	Пороговый уровень	Удовлетворительно (зачтено)
Ответ не соответствует любым трем из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, которые не способен исправить.	–	Неудовлетворительно (незачтено)

Полученные в ходе текущего оценивания знаний предмета баллы преподаватель может использовать при проведении промежуточной аттестации в форме зачета.

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Вопросы к зачету

1. Заданы температура и природа металлического образца. При выбранных условиях оценить склонность к газовой коррозии данного металла. Объяснить, что произойдет при изменении: -температуры; -давления газа; -природы газа.

2. Заданы температура и pH морской воды. Будет ли в данных условиях термодинамически стабилен сплав указанного состава? Ответ пояснить.
3. Изобразить коррозионную диаграмму для контакта железо –  $\alpha$ -латунь. Саморастворение протекает в морской воде.
4. Представить данные, свидетельствующие об электрохимическом механизме саморастворения латуни в концентрированном хлоридном растворе. Изобразить соответствующие коррозионные диаграммы.
5. На серебряном электроде задано определенное значение потенциала. Что можно сказать о термодинамически вероятном процессе при разных значениях pH агрессивной среды? Как изменится ответ при замене серебра  $\alpha$ -фазой Ag<sub>30</sub>Zn?
6. Медный электрод погружен в раствор с известным значением pH. Что можно сказать о термодинамически вероятном процессе при разных значениях электродного потенциала? Как изменится ответ при замене меди  $\beta$ -фазой Cu<sub>44</sub>Zn?
7. Чистый металл подвергается коррозии с водородной деполяризацией. Даны уравнения анодной поляризационной кривой растворения металла и катодной поляризационной кривой выделения водорода на данном металле. Построить коррозионную диаграмму и определить графически ток коррозии и потенциал свободной коррозии.
8. Тот же вопрос в случае замены металла гомогенным сплавом на основе этого же металла с небольшим содержанием более благородного металла.
9. Металл подвергается коррозии с кислородной деполяризацией. Задан предельный катодный ток восстановления кислорода в данных условиях. Построить коррозионную диаграмму и определить графически ток коррозии и потенциал свободной коррозии.
10. Тот же вопрос в случае замены металла гомогенным сплавом на основе этого же металла с небольшим содержанием более благородного металла.
11. Чистый металл подвергается коррозии с водородной деполяризацией. Даны уравнения анодной поляризационной кривой растворения металла и катодной поляризационной кривой выделения водорода на данном металле. Построить коррозионную диаграмму и показать графически возможность катодной защиты.
12. Тот же вопрос в случае замены металла гомогенным сплавом на основе этого же металла с небольшим содержанием более благородного металла.
13. Чистый металл подвергается коррозии с кислородной деполяризацией. Задан предельный катодный ток восстановления кислорода в данных условиях. Построить коррозионную диаграмму и показать графически возможность катодной защиты.
14. Как изменится решение предыдущей задачи, если металл содержит 15-20% менее благородного компонента?
15. Даны анодная поляризационная кривая чистой меди и полная анодная поляризационная кривая  $\alpha$ -латуни Cu<sub>30</sub>Zn в концентрированной хлоридной среде. Построить парциальные поляризационные кривые растворения цинка и меди из сплава и рассчитать термодинамическую активность меди на поверхности растворяющегося сплава.
16. Известно, что при анодном растворении  $\beta$ -латуни в хлоридных средах часть медного компонента ионизируется, а часть подвергается фазовому превращению в поверхностном слое в чистую медь. По мере роста содержания цинка в  $\beta$ -латуни доля перегруппировавшейся меди быстро увеличивается. Чем объяснить этот факт?
17. Привести примеры эффективного противокоррозионного легирования  $\alpha$ - и  $\beta$ -латуни
18. Даны анодная поляризационная кривая чистой меди и полные анодные поляризационные кривые простой  $\alpha$ -латуни Cu<sub>30</sub>Zn и мышьяковистой  $\alpha$ -латуни Cu<sub>30</sub>Zn<sub>0,05</sub>As в концентрированной хлоридной среде. Построить парциальные поляризационные кривые растворения меди из обоих сплавов и рассчитать термодинамическую активность меди на их поверхности. В чем формальная причина защитного действия мышьяка?
19. Предложить эксперимент, подтверждающий наличие фазовых превращений в поверхностном слое сплава при его анодном растворении и саморастворении.
20. Объяснить, почему цинк с примесью никеля или платины подвергается сильной кислотной коррозии. Почему чистый цинк корродирует значительно медленнее?
21. Сравнить скорости коррозии  $\alpha$ - и  $\beta$ -латуни в морской воде. Какой характер коррозии ожидается в первом и во втором случае? Почему?

#### Описание технологии проведения

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета с оценкой в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические или практические вопросы, позволяющие оценить степень сформированности знаний, умений и(или) навыков. При оценивании знаний используются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом дисциплины

- 2) умение связывать теоретические знания с их практическим применением;  
 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами,  
 4) умение применять знание основных законов и закономерностей дисциплины к решению конкретных задач.

Для оценивания результатов обучения используется шкала:

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания:

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся владеет терминологией и понятийным аппаратом теории коррозии; способен иллюстрировать ответ примерами, применять теоретические знания для решения практических задач. При ответе может допускать незначительные ошибки, которые способен исправить.	Базовый уровень	Зачтено
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допуская при ответе грубые ошибки.	Не достигнут базовый уровень	Незачтено

### 20.3. Оценочные средства для диагностической работы

#### Закрытые

- Какое из приведенных утверждений может быть отнесено к характеристике электрохимической коррозии:
  - процесс растворения металла происходит при взаимодействии с агрессивной газовой средой;
  - коррозионный процесс это работа микрогальванических элементов;
  - при высоких температурах одновременно с окислением происходит обезуглевание углеродистых сталей;
  - коррозия протекает в сухой атмосфере
- К электрохимической коррозии относятся коррозионные процессы протекающие:
  - в продуктах переработки нефтей;
  - в органических веществах;
  - в растворах электролитов;
  - при горячей прокатке металлов
- При электрохимической коррозии:
  - протекают реакции анодного восстановления металла и катодного окисления восстановителя
  - протекают реакции анодного окисления металла и катодного восстановления окислителя
  - протекают реакции анодного восстановления металла и катодного восстановления деполяризатора
- Величина предельного диффузионного тока в коррозионном процессе:
  - зависит от концентрации ионов металла в растворе;
  - зависит от концентрации ионов гидроксония в растворе;
  - зависит от толщины двойного электрического слоя;
  - не зависит от толщины диффузионного слоя;
  - зависит от вязкости раствора;
  - верны а) и в).
- Медная гайка накручена на болт, изготовленный из железа. Какая из этих деталей будет разрушаться первой при коррозии во влажном воздухе
  - гайка;
  - болт;
  - болт и гайка;
  - детали корродировать во влажном воздухе не будут
- Неоднородность металлической фазы, приводящая к электрохимической гетерогенности поверхности раздела металл-электролит, вызвана:
  - неоднородностью физических условий;

- б) возможной химической и физической неоднородностью металла;  
в) различием в концентрации нейтральных солей в растворе;  
г) неоднородностью жидкой фазы.
7. В каких из перечисленных коррозионных гальванических элементов катодный процесс будет протекать с водородной деполяризацией  
а)  $\text{Mg}|\text{H}_2\text{O}|\text{Cu}$ ; б)  $\text{Sn}|\text{H}_2\text{O}, \text{O}_2|\text{Cu}$ ; в)  $\text{Cd}|\text{HCl}, \text{H}_2\text{O}|\text{Ag}$ ; г)  $\text{Fe}|\text{HCl}|\text{Ni}$ .
8. Условная запись коррозионного гальванического элемента, возникающего при коррозии железа в нейтральном растворе, имеет вид:  
а)  $\text{Fe}|\text{H}^+|\text{C}$ ; б)  $\text{Fe}|\text{H}_2\text{O}|\text{C}$ ; в)  $\text{Fe}|\text{Fe}^{3+}, \text{H}_2\text{O}, \text{O}_2|\text{Fe}$ ;  
г)  $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; д)  $\text{Fe}|\text{H}_2\text{O}, \text{O}_2|\text{Fe}$
9. Укажите, в контакте с каким металлом железо будет подвергаться наиболее интенсивной коррозии: а) железо – магний; б) железо – медь; в) железо – цинк; д) железо – железо.
10. Условия, способствующие электрохимической коррозии:  
а) положение металлов в ряду напряжений, чем дальше расположены металлы друг от друга в ряду, тем медленнее происходит коррозия;  
б) чистота металла (с примесями металл корродирует интенсивнее);  
в) наличие сухой атмосферы;  
г) отсутствие деполяризатора
11. При контакте  $\text{Cu}$  и  $\text{Fe}$  в растворе кислоты  
а) железо будет растворяться  
б) железо будет восстанавливаться  
в) медь будет растворяться  
г) на меди будет выделяться кислород.
12. При коррозии меди в кислой среде деполяризатором являются:  
а) ионы гидроксония; б) ионы кислотного остатка; в) вода; г) растворенный кислород; д) все перечисленные одновременно.
13. Скорость какого процесса может определять общую скорость коррозии:  
а) только катодного; б) только анодного; в) это зависит от поляризуемости анода и катода;  
г) это зависит от электропроводности раствора электролита и поляризуемости анода и катода.
14. Диаграммы Пурбе для металлов помогают оценить:  
а) возможность коррозионного процесса в данных условиях; б) скорость коррозионного процесса в данных условиях; в) поляризуемость анода и катода; г) степень анодного и катодного контроля при коррозии; д) природу деполяризатора.
15. Диаграмма Эванса позволяет определить:  
а) равновесный потенциал коррозионного элемента; б) механизм анодного процесса при коррозии; в) механизм катодного процесса; г) природу лимитирующей стадии; д) скорость коррозии; е) верны г) и д).
16. При нарушении покрытого цинком железа в нейтральном растворе хлорида натрия:  
а) будут подвергаться коррозии оба металла; б) будет подвергаться коррозии железо; в) будет подвергаться коррозии цинк; г) коррозия станет невозможна.
17. Какое из приведенных утверждений не может быть отнесено к характеристике электрохимической коррозии: а) разрушение металлов под действием агрессивных газов в

бензине; б) разрушение металлов в жидкостях, проводящих электрический ток при повышенной температуре; в) окисление арматуры печей, деталей двигателей внутреннего сгорания; г) разрушение металлов во влажной атмосфере; г) разрушение металла в морской воде.

18. Коррозия это разрушение металла, при котором:

а)  $\Delta G=0$ ; б)  $\Delta G<0$ ; в)  $\Delta G>0$ ; г)  $\Delta S=0$  д) верны б) и г).

19. В зависимости от состава электролита:

а) электрохимическая коррозия может протекать с участием молекул водорода ( $H_2$ ) и растворенного в электролите кислорода ( $O_2$ );

б) электрохимическая коррозия может протекать с участием ионов водорода ( $H^+$ ) и растворенного в электролите кислорода ( $O_2$ );

в) электрохимическая коррозия может протекать с участием катионов металла и гидроксид-анионов;

г) электрохимическая коррозия всегда протекает только с участием ионов водорода ( $H^+$ ).

20. Медный лист склепан алюминиевыми заклепками. Конструкция эксплуатируется в кислой влажной атмосфере. Какой процесс будет протекать на аноде данного коррозионного гальванического элемента

а)  $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ ; б)  $Al - 3e^- \rightarrow Al^{3+}$ ; в)  $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ ; г)  $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ ; д)  $O_2 + H_2O_2 \rightarrow H_2O$ .

Вопрос	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	Б	В	Б	Д	Б	Б	А и Г	Д	Б	б
Вопрос	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ответ	А	Г	Г	А и Д	Е	В	А и В	Б	Б	Б

#### Открытые

1. Медь погружена в водный 0.01 М раствор хлорида натрия. Какой потенциал при этом устанавливается: равновесный или бестоковый?

**Ответ.** Установление равновесного потенциала означает, что на межфазной границе металлическая медь| водный раствор NaCl устанавливается равновесие  $Cu^{2+}=Cu^0$ , т.е. катодный и анодный процессы имеют одну природу. При этом равновесие может быть описано уравнением Нернста. Для установления такого равновесия раствор должен содержать ионы меди, которых по условию задачи раствор не содержит. Следовательно, возникающий потенциал в данном случае будет бестоковым.

#### **Критерии оценивания:**

5 баллов – дан верный развернутый ответ.

2 балла – дан верный ответ без объяснения.

0 баллов – дан неверный ответ.

2. Возможна ли коррозия меди, находящейся в водном 0,01 М растворе соляной кислоты равновесном с атмосферой.

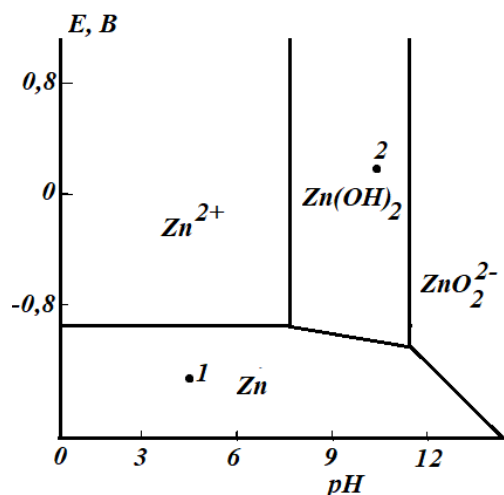
**Ответ.** В кислом водном растворе, равновесном с атмосферой имеется два окислителя, способных вызвать коррозию металла: ионы гидроксония и молекулярный кислород. Поскольку равновесный потенциал медного электрода более положителен по сравнению с равновесным потенциалом водородного электрода, то ион гидроксония не является окислителем для меди.

Равновесный потенциал кислородного электрода более положителен по сравнению с таковым для медного электрода, следовательно коррозия меди возможна и деполяризатором (окислителем) будет растворенный кислород.

**Критерии оценивания:**

- 5 баллов – дан верный развернутый ответ.
- 2 балла – дан верный ответ без объяснения.
- 0 баллов – дан неверный ответ.

3. Диаграмма Пурбэ для цинка имеет вид:



Охарактеризуйте процессы, протекающие на цинке в точках 1 и 2 на диаграмме. Определите природу деполяризатора, если цинк в этих точках способен корродировать.

**Ответ**

Точка 1 на диаграмме Пурбе находится в зоне «имунности» металла. Коррозионный процесс в этом случае не протекает. В т.2 будет происходить окисление цинка до гидроксида. В водном щелочном растворе анодный процесс может быть представлен следующим образом:  $Zn + 2OH^- = Zn(OH)_2 + 2e^-$ . Чтобы определить природу деполяризатора необходимо на диаграмму Пурбе для цинка нанести линии, отвечающие изменению равновесного потенциала водородного и кислородного электродов в зависимости от рН водного раствора или рассчитать равновесные потенциалы водородного и кислородного электродов при заданном рН. Поскольку потенциал в т.2 на диаграмме более положителен, чем потенциал равновесного водородного электрода, но меньше потенциала равновесного кислородного электрода, то деполяризатором будет растворенный кислород.

**Критерии оценивания:** 5 баллов – дан верный развернутый ответ.

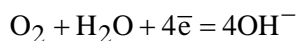
2 балла – дан верный ответ без объяснения.

0 баллов – дан неверный ответ.

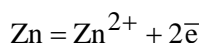
4. Запишите процессы протекающие на катоде и аноде коррозионного гальванического микроэлемента  $Zn|NaCl, H_2O, O_2|Fe$  ?

**Ответ**

На катоде:



на аноде:



**Критерии оценивания:**

5 баллов – дан верный развернутый ответ.

2 балла – дан верный ответ без объяснения.

0 баллов – дан неверный ответ.

5. Корректнее определять ток коррозии электрохимического процесса при условии  $\Delta E \ll RT/zF$  или  $\Delta E \gg RT/zF$ ?

**Ответ**

Поскольку коррозионный процесс протекает самопроизвольно, то величина поляризации катодных и анодных участков невелика. Следовательно ток коррозии корректнее определять при условии  $\Delta E \ll RT/zF$ .

**Критерии оценивания:**

5 баллов – дан верный развернутый ответ.

2 балла – дан верный ответ без объяснения.

0 баллов – дан неверный ответ.