


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

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
физической химии



д.х.н., доц. О.А. Козадеров

08.06.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.08 Кинетика электрохимических реакций**

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:** 04.03.01 – Химия
- 2. Профиль подготовки/специализации:** Теоретическая и экспериментальная химия
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** физической химии
- 6. Составитель программы:** Введенский Александр Викторович, д.х.н., проф., Морозова Наталья Борисовна, к.х.н., доц.
- 7. Рекомендована:** научно - методическим Советом химического факультета от 25.04.23, протокол № 4
- 8. Учебный год:** 2023 / 2024                      **Семестр** 5

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью освоения учебной дисциплины является формирование полной системы знаний в области электрохимической кинетики.

Задачи освоения учебной дисциплины:

- освоить общие идеи и принципы электрохимической кинетики,
- знать принципы моделирования электрохимических процессов,
- уметь применять основные способы описания электрохимических процессов, контролируемых стадиями различной природы.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Блок 1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений. Обязательная дисциплина. Для освоения данной дисциплины необходимы знания теоретических основ физической химии и электрохимии.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (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	Обеспечивает сбор научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач исследования, поставленных специалистом более высокой квалификации	знать: основы химического эксперимента; уметь: использовать синтетические и аналитические методы получения и исследования химических веществ; иметь навыки использования методов получения и исследования химических веществ.
		ПК-1.2	Составляет аналитический обзор литературных источников по заданной тематике, оформляет отчеты о выполнении научно-исследовательских задач по заданной форме	
ПК-3	Способен использовать современные экспериментальные и расчетно-теоретические методы для установления	ПК-3.1	Знает и может применять на практике современные экспериментальные методы для установления структуры	знать: систему фундаментальных химических понятий и методологических аспектов химии; уметь: применять систему фундаментальных химических понятий при выполнении лабораторных работ, по

	структуры и исследования реакционной способности химических соединений под руководством специалиста более высокой квалификации	ПК-3.2	химических соединений Способен изучать реакционную способность химических соединений с применением типовых экспериментальных и расчетно-теоретических методов	предложенным методикам; владеть основными методами выполнения лабораторных работ.
--	--	--------	--	---

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

**Форма промежуточной аттестации:** зачет с оценкой

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			5 семестр		...
Аудиторные занятия		126	126		
в том числе:	лекции	36	36		
	практические	54	54		
	лабораторные	36	36		
Самостоятельная работа		18	18		
Форма промежуточной аттестации Зачет с оценкой					
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.	Предмет электрохимической кинетики. Основные определения, цель и задачи курса.	Предмет и содержание электрохимии. Цель и задачи курса. Электрохимическая цепь как источник тока. Электролизер. Поляризация. Перенапряжение	ЭУМК «Кинетика электрохимических процессов» <a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4514">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4514</a>
1.2.	Термодинамические основы электрохимических процессов	Внешний, внутренний, поверхностный потенциалы. Гальвани- и вольта-потенциал. Равновесный электродный потенциал. Катодные и анодные процессы. Основные модели строения ДЭС. Анализ диаграмм состояния металл-вода.	
1.3	Перенапряжение перехода. Роль адсорбции. Равновесные и кинетические изотермы адсорбции	Соотношение Бренстеда-Поляни-Семенова-Фрумкина в электродной кинетике. Одностадийная Ox-Red реакция. Энергия активации на стадии перехода заряда. Коэффициент переноса. Безбарьерные и безактивационные процессы. Количественный анализ вольтамперограмм. Роль структуры ДЭС	

		в кинетике электродных реакций. Учет специфической адсорбции реагентов и продуктов в кинетике электрохимических реакций. Исправленные тафелевы зависимости. Кинетика восстановления анионов и ионов гидроксония. Стадийные электродные реакции. Критерии стадийности. Порядки электродной реакции по реагентам. Учет стадийности при определении порядка реакции.	
1.4.	Перенапряжение диффузии. Постановка диффузионных задач. Роль конвекции	Перенапряжение диффузии. Модель Нернста строения диффузионной зоны. Полярография. Одновременный перенос Ox - и Red - форм. Учет миграции ионов в диффузионной кинетике. Модель Прандля – Левича. Вращающийся дисковый электрод.	ЭУМК «Кинетика электрохимических процессов» <a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4514">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4514</a>
1.5.	Диффузионно-электрохимическая кинетика. Выявление "кинетических" токов.	Закономерности смешанной диффузионно-электрохимической кинетики. Выделение кинетических токов на ВДЭ. Метод Фрумкина – Тедорадзе. Вращающийся дисковый электрод с кольцом. Выделение кинетических токов при помощи нестационарных электрохимических методов.	
1.6.	Перенапряжение химической реакции. Перенапряжение кристаллизации (общие представления)	Перенапряжение реакции. Гомогенный химический процесс. Перенапряжение реакции. Гетерогенный химический процесс. Основы теории перенапряжения кристаллизации.	
<b>2. Лабораторные занятия</b>			
2.2.	Перенапряжение перехода. Роль адсорбции. Равновесные и кинетические изотермы адсорбции	Получение циклических вольтамперограмм на металлических электродах. Расчет изотерм адсорбции.	ЭУМК «Кинетика электрохимических процессов» <a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4514">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4514</a>
2.3.	Перенапряжение диффузии. Постановка диффузионных задач. Роль конвекции	Влияние перемешивания на скорость электрохимических процессов.	
2.4.	Диффузионно-электрохимическая кинетика. Выявление "кинетических" токов.	Выявление «кинетических» токов методом хроноамперометрии.	
2.5.	Перенапряжение химической реакции. Перенапряжение кристаллизации (общие представления)	Получение тафелевских зависимостей электрохимических процессов. 2D- и 3D- нуклеация.	

### 13.2 Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Предмет электрохимической кинетики. Основные определения, цель и задачи курса.	4	2	0	2	8
2	Термодинамические основы электрохимических процессов	8	16	0	4	28
3	Перенапряжение перехода.	8	12	12	4	36

	Роль адсорбции. Равновесные и кинетические изотермы адсорбции					
4	Перенапряжение диффузии. Постановка диффузионных задач. Роль конвекции	8	12	12	4	36
5	Диффузионно-электрохимическая кинетика. Выявление "кинетических" токов.	4	6	6	2	18
6	Перенапряжение химической реакции. Перенапряжение кристаллизации (общие представления)	4	6	6	2	18
Итого:		36	54	36	18	144

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

Аудиторная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. На лабораторных занятиях студенты либо индивидуально, либо в составе малой группы выполняют лабораторную работу. В ходе выполнения работ студенты приобретают навыки обращения с лабораторным оборудованием и инструментарием, самостоятельно осуществляют эксперименты, регистрируют, анализируют и интерпретируют результаты электрохимических исследований. Результаты учебно-исследовательской работы, включая необходимые расчеты, заключения и выводы, ответы на вопросы (задания) оформляются в рабочей тетради студента. В конце лабораторного занятия результаты и материалы учебно-исследовательской работы докладываются преподавателю, при необходимости обсуждаются в группе (отчет о лабораторном занятии). В случаях пропуска лабораторного занятия по каким-либо причинам студент обязан его самостоятельно выполнить под контролем преподавателя во время индивидуальных консультаций.

На практических занятиях студенты индивидуально выполняют практико-ориентированные задания, которые включают работу с конспектами лекций, рекомендуемой литературой, вычислительной техникой. Форма проведения практических занятий – решение расчетных задач и беседа по заданной теме.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия. Она включает формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.); подготовка к лабораторным работам, их оформление.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

Студенту предоставляется возможность работать в компьютерном классе химического факультета (271 аудитория), предоставляется доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, программному обеспечению компьютерного класса факультета, ресурсам Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечным системам.

#### 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 [и др.] : Лань, 2015 .— 670 с.

## б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Краснов К.С. Физическая химия: учеб для вузов / К.С. Краснов - М. : Высш. шк., 2001. - Кн. 2: Электрохимия. Химическая кинетика и катализ. - 318 с.
3	Феттер К. Электрохимическая кинетика / К. Феттер. - М.: Химия, 1967. - 855 с.
4	Скорчеллетти В.В. . Теоретическая электрохимия / В.В. Скорчеллетти .— 4-е изд., исправ. и доп. — Л. : Химия , 1974 .— 567 с.
5	Ротинян А.Л. Теоретическая электрохимия / А.Л. Ротинян, К.И. Тихонов, И.А. Шохина. - Л. : Химия, 1981. - 432 с.
6	Антропов Л.И. . Теоретическая электрохимия : учебник для студ. хим. и хим.-технол. спец. вузов / Л.И. Антропов .— 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1984 .— 518.
7	Справочник по электрохимии / Под ред. А.М. Сухотина .— Л. : Химия : Ленингр. отд-ние, 1981 .— 486 с.
8	Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: А.В. Введенский [и др.] .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010.

## в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9	Научная электронная библиотека — < <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> >
10	Электронная библиотека Воронежского государственного университета — < <a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> >
11	Официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Интернет - < <a href="http://www.chemnet.ru">http://www.chemnet.ru</a> >
12	ЭУМК «Кинетика электрохимических процессов» <a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4514">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4514</a>

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ)**

№ п/п	Источник
1	Введенский А.В. Кинетика электрохимических процессов. Часть 1. Стадия переноса заряда / А.В. Введенский, Н.Б. Морозова, Е.В. Бобринская // уч. пособ. для вузов. – Воронеж. – Изд. дом ВГУ. – 2017. – 117 с.
2	Введенский А.В. Кинетика электрохимических процессов. Часть 2. Стадия диффузии и химической реакции / А.В. Введенский, Н.Б. Морозова, Е.В. Бобринская // уч. пособ. для вузов. – Воронеж. – Изд. дом ВГУ. - 2017. – 60 с.
3	Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие / [А.В. Введенский и др.] .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2018 .— 204, [1] с.
4	Равновесные электродные системы. Потенциометрия / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: О.А. Козадеров, А.В. Введенский, С.Н. Грушевская, Н.Б. Морозова, Н.В. Соцкая; науч. ред. О.А. Козадеров] .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2021 .— 90 с. <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m21-187.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m21-187.pdf</a> >.
5	Электропроводность. Кинетика электрохимических процессов / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: О.А. Козадеров, А.В. Введенский, Е.В. Бобринская, В.Ю. Кондрашин, И.В. Протасова; науч. ред. О.А. Козадеров] .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2021 .— 91 с. <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m21-188.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m21-188.pdf</a> >.

### 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:

Ноутбук, проектор, лекционная аудитория, лабораторная посуда, учебный комплекс "Химия", учебно-лабораторный комплекс «УЛК-1» «Электрохимия», гальваностат, вольтметр универсальный, иономер

### 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)	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Предмет электрохимической кинетики. Основные определения, цель и задачи курса.	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	Контрольная работа 1
2	Термодинамические основы электрохимических процессов	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	Контрольная работа 1
3	Перенапряжение перехода. Роль адсорбции. Равновесные и кинетические изотермы адсорбции	ПК-1 ПК-3	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-3.1 ПК-3.2	Контрольная работа 2
4	Перенапряжение диффузии. Постановка диффузионных задач. Роль конвекции	ПК-1 ПК-3	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-3.1 ПК-3.2	Контрольная работа 2
5	Диффузионно-электрохимическая кинетика. Выявление	ПК-1 ПК-3	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-3.1 ПК-3.2	Контрольная работа 2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
	"кинетических" токов.			
6	Перенапряжение химической реакции. Перенапряжение кристаллизации (общие представления)	ПК-1 ПК-3	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-3.1 ПК-3.2	Контрольная работа 2
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				<i>Перечень вопросов</i>

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

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: выполнение и сдача лабораторных работ; написание двух контрольных работ.

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Примеры заданий для контрольных работ

1. Коэффициент переноса для необратимой двухэлектронной электродной реакции при температуре  $T = 298 \text{ K}$  равен 0.5. Рассчитайте, при каком изменении активационного перенапряжения скорость переноса заряда увеличится в 10 раз.
2. Плотность тока обмена  $i_0$  реакции электрохимического выделения водорода сильно зависит от природы металлического электрода. В кислых водных растворах при стандартных условиях ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = 101325 \text{ Па}$ ) параметр  $i_0$  равен  $10^{-3} \text{ A/cm}^2$  на платине и  $10^{-12} \text{ A/cm}^2$  на кадмии. Предполагая, что процесс лимитируется стадией переноса заряда, а катодное перенапряжение равно  $-0.1 \text{ В}$ , рассчитайте плотность тока выделения водорода на платине. При каком перенапряжении такая же плотность тока будет достигнута на кадмии? Примите, что коэффициент переноса заряда равен 0.5.
3. На электроде геометрической площадью  $0.5 \text{ см}^2$  протекает одноэлектронная реакция, лимитируемая переносом заряда. Равновесный потенциал электрода в данной среде равен  $0.47 \text{ В}$ . Рассчитайте силу тока, протекающего через электрод при потенциале  $0.54 \text{ В}$  и температуре  $298 \text{ K}$ , если геометрическая плотность тока обмена электродного процесса составляет  $28 \text{ мкA/cm}^2$ . Примите, что коэффициент переноса заряда равен 0.5, а фактор шероховатости поверхности электрода  $f_r = 1.2$ .
4. Рассчитайте коэффициент диффузии ионов  $\text{Ag}^+$  в водном растворе с концентрацией нитрата серебра  $0.001 \text{ моль/дм}^3$ , если опытная потенциостатическая зависимость силы парциального тока восстановления



серебра от времени на плоском гладком электроде площадью  $0.8 \text{ см}^2$  подчиняется уравнению  $I_{\text{Ag}^+} = \text{const} \cdot t^{-1/2}$ , в котором  $\text{const} = 172 \text{ мкА} \cdot \text{с}^{1/2}$ .

5. При какой плотности тока гальваностатического восстановления ионов серебра на плоском гладком электроде переходное время процесса  $\tau$  составит 25 с, если коэффициент диффузии ионов  $\text{Ag}^+$  равен  $1.6 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ , а их концентрация составляет  $10^{-2} \text{ моль/дм}^3$ ? Как изменится  $\tau$ , если разбавить раствор в 10 раз? Увеличить плотность тока в 10 раз?

Для оценивания результатов обучения используются следующие показатели:

- владение основными понятиями и законами электрохимической кинетики, способностью иллюстрировать ответ примерами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач;
- знание основ электрохимического эксперимента, методов исследования и получения химических веществ;
- умение формулирования выводов, предложений, обоснования полученных результатов электрохимического эксперимента; способность поиска, обработки и анализа научной информации.

## 20.2 Промежуточная аттестация

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

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний, позволяющие оценить степень сформированности умений, навыков и опыта выполнения химического эксперимента.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Перечень вопросов к зачету с оценкой:

1. Понятия «перенапряжение» и «поляризация».
2. Химические источники тока. Гальванический элемент и электролизер.
3. Виды перенапряжений.
4. Перенапряжение переноса заряда. Уравнения Эрдей-Груза и Фольмера без учета структуры ДЭС.
5. Уравнения Эрдей-Груза и Фольмера с учетом структуры ДЭС.
6. Соотношение Бренстеда-Поляни-Семенова–Фрумкина.
7. Коэффициент переноса. Безбарьерные и безактивационные процессы.
8. Роль структуры ДЭС в кинетике электродных реакций.
9. Учет специфической адсорбции реагентов и продуктов в кинетике электрохимических реакций.
10. Стадийные электродные реакции. Критерии стадийности.
11. Порядки электродной реакции по реагентам. Учет стадийности при определении порядка реакции.
12. Перенапряжение диффузии. Модель Нернста строения диффузионной зоны.
13. Учет миграции ионов в диффузионной кинетике.
14. Вращающийся дисковый электрод.
15. Закономерности смешанной диффузионно-электрохимической кинетики.
16. Выделение кинетических токов на ВДЭ. Метод Фрумкина–Тедорадзе.
17. Вращающийся дисковый электрод с кольцом.

18. Перенапряжение реакции в гомогенных и гетерогенных процессах.
19. Основы теории перенапряжения кристаллизации.
20. Кинетика выделения водорода. Основные механизмы.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется система оценок.

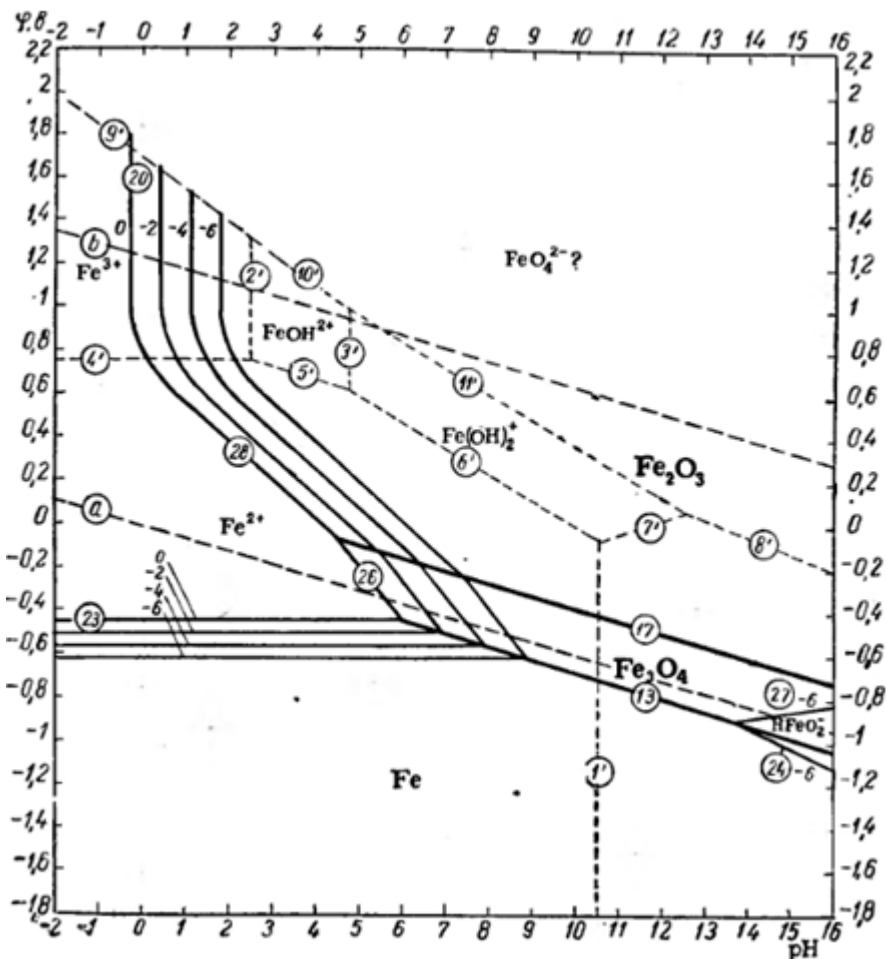
Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Всесторонние и глубокие знания по разделам курса. Безупречное выполнение в процессе изучения дисциплины всех заданий. Исчерпывающий ответ на вопросы билета.	Повышенный уровень	Отлично
Остаточное полное знание учебного материала, предусмотренного рабочей программой. Наличие аргументированного и обоснованного ответа на вопросы билета. Допускаются незначительные ошибки и неточности, которые исправлены после замечания преподавателя.	Базовый уровень	Хорошо
Знание основных положений рабочей программы. Ответ неполный, без обоснований и объяснений. Ошибки устраняются по дополнительным вопросам преподавателя.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Отрывочные знания. Грубые, принципиальные ошибки при ответе на вопросы билета.	–	Неудовлетворительно

При реализации дисциплины с применением дистанционных образовательных технологий оценка за зачет может быть выставлена по результатам текущей аттестации обучающегося в семестре.

ПК-1 Способен проводить сбор, анализ и обработку научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации

### Тест 1

Анализируя диаграмму E-pH для системы железо-вода (рис.),



ответьте на следующие вопросы (числа на диаграмме – номера уравнений, описывающих процессы):

1. Какая из представленных реакций не относится к электрохимическим реакциям гетерогенного равновесия

- 1)  $\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ ;      3)  $\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{FeO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3\text{e}^-$ ;  
 2)  $3\text{Fe}(\text{OH})_3 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ ;      4)  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 5\text{H}_2\text{O} - \text{e}^- = 3\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}^+$ .

2. Какая из представленных реакций относится к электрохимическим реакциям гетерогенного равновесия

- 1)  $\text{Fe} + 2\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_2$ ;      3)  $\text{FeOH}^{2+} + \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_2^+ + \text{H}^+$ ;  
 2)  $\text{Fe}(\text{OH})_2 = \text{HFeO}_2^- + \text{H}^+$ ;      4)  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 5\text{H}_2\text{O} - \text{e}^- = 3\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}^+$ .

3. В точке, соответствующей  $\text{pH} = 8$  и  $E = 0,2$  В наиболее устойчивой формой существования железа является

- 1) Fe;      2)  $\text{Fe}^{2+}$ ;      3)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;      4)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

4. Для какого сочетания pH и E диаграммы существует возможность только кислородной деполяризации

- 1)  $\text{pH} = 3$ ,  $E = 0,4$  В; 2)  $\text{pH} = 3$ ,  $E = 1,4$  В; 3)  $\text{pH} = 10$ ,  $E = -0,8$  В; 4)  $\text{pH} = 10$ ,  $E = 1$  В.

5. Какая из реакций преимущественно может быть осуществима при смещении потенциала в отрицательную сторону от точки  $pH = 5$  и  $E = 0$  В
- 1)  $Fe_2O_3 + 6H^+ - 2e^- \rightarrow 2Fe^{2+} + 3H_2O$ ;      3)  $Fe^{2+} + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + 2H^+$ ;  
 2)  $Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$ ;      4)  $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ .
6. Какие из уравнений (указаны их номера) ограничивают область устойчивости Fe к коррозии
- 1) 23, 13, 24;      2) 9, 28, 26, 23;      3) 28, 17;      4) 23, 13, 1'.
7. Что необходимо сделать с pH раствора, чтобы избежать образования  $Fe_3O_4$  на поверхности железного электрода, который находится в растворе 0,1М КОН (pH 13) при -0,8 В
- 1) увеличить;      2) уменьшить;      3) не менять.
8. Как изменить потенциал электрода чтобы избежать окисления поверхности железного электрода, который находится в растворе 0,1М КОН (pH 13) при -0,8 В
- 1) понизить на 0,1 В;      2) понизить более чем на 0,2 В;  
 3) увеличить на 0,1В;      4) повысить более чем на 0,2 В.
9. Какого потенциала не возникает на границе раздела фаз
- 1) поверхностного;      2) внутреннего;  
 3) внешнего;      4) объемного.
10. Перенапряжение – это отклонение потенциала от его
- 1) равновесного значения;      2) стационарного значения;  
 3) бестокового значения;      4) стандартного значения.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	4	3	1	1	1	2	2	4	1

1. Отклонение электродного потенциала от его равновесного значения – это \_\_\_\_\_ (Вставьте слово в именительном падеже)

Ответ: перенапряжение.

2. Устройство, состоящее из двух электродов, электролиты которых соприкасаются так, что между электродами возникает проводящий контакт, называется \_\_\_\_\_ (Вставьте слово в именительном падеже)

Ответ: гальванический элемент.

3. Плотность тока обмена это величина, при которой скорость прямого и обратного электрохимического процесса равны и соответствующая \_\_\_\_\_ потенциалу. (Вставьте слово в соответствующем падеже).

Ответ: равновесному

4. Электрод, на котором протекает положительный ток, т.е. положительное электричество проводника I рода в электролит, называют \_\_\_\_\_.  
(Вставьте слово в соответствующем падеже).

Ответ: анод.

5. Пространственное разделение двух слоев зарядов противоположного знака, представляющее собой своеобразный микроконденсатор, – это \_\_\_\_\_.  
(Ответ запишите в виде аббревиатуры слов).

Ответ: ДЭС.

*ПК-3. Способен использовать современные экспериментальные и расчетно-теоретические методы для установления структуры и исследования реакционной способности химических соединений под руководством специалиста более высокой квалификации*

#### Тест 2

1. Расчет перенапряжения *химической реакции* электрохимического процесса можно провести с использованием выражения:

$$1) \eta = a + b \lg i; \quad 2) \eta = \frac{RT}{nF} \frac{i_k}{i_0}; \quad 3) \eta = \frac{vRT}{nF} \ln \frac{c_i}{c_{0,i}}; \quad 4) E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{c_i}{c_{0,i}}.$$

2. Задачу конвективной диффузии вещества в жидкости можно решить, если использовать

- 1) вращающийся дисковый электрод;
- 2) стационарный электрод расположенный перпендикулярно потоку движения жидкости;
- 3) стационарный электрод расположенный параллельно потоку движения жидкости;
- 4) перемешивание раствора.

3. Стадия безбарьерного разряда характеризуется коэффициентом переноса заряда

$$1) \alpha = 0; \quad 2) 0 < \alpha < 1; \quad 3) \alpha > 1; \quad 4) \alpha = 1.$$

4. Графическим анализом уравнения Тафеля могут быть найдены значения

- 1) тока обмена;
- 2) перенапряжения;
- 3) коэффициента переноса заряда;
- 4) концентрации вещества.

5. Критерием диффузионной кинетики в нестационарных условиях является спрямление хроноамперограммы (с экстраполяцией в 0 координат) в координатах:

$$1) i - t^{1/2}; \quad 2) E - t^{1/2}; \quad 3) E - 1/t^{1/2}; \quad 4) i - 1/t^{1/2}.$$

6. Расчет перенапряжения переноса заряда в области *высоких* перенапряжений можно провести с использованием уравнения

$$1) \eta = a + b \lg i; \quad 2) \eta = \frac{RT}{nF} \frac{i_k}{i_0}; \quad 3) \eta = \frac{vRT}{nF} \ln \frac{c_i}{c_{0,i}}; \quad 4) E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{c_i}{c_{0,i}}.$$

7. Расчет перенапряжения переноса заряда в области *низких* перенапряжений можно провести с использованием уравнения

1)  $\eta = a + b \lg i$ ; 2)  $\eta = \frac{RT}{nF} \lg \frac{i_k}{i_0}$ ; 3)  $\eta = \frac{vRT}{nF} \ln \frac{c_i}{c_{0,i}}$ ; 4)  $E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{c_i}{c_{0,i}}$ .

8. Характеристикой равновесия в электрохимических процессах является  
 1) поляризация; 2) перенапряжение;  
 3) равновесный потенциал; 4) любой потенциал.

9. Ток обмена характеризует  
 1) равновесие; 2) неравновесный процесс;  
 3) структуру ДЭС; 4) обратимость.

10. Наличие величины  $\Psi_1$ - потенциала в уравнении Фрумкина, используемого при изучении перенапряжения переноса заряда, указывает на учет  
 1) структуры ДЭС; 2) перемешивания;  
 3) pH раствора; 4) диффузии.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1	4	1	4	1	2	3	1	1

**Задача 1.** Чему равен наклон линейной зависимости при стандартных условиях, построенной по уравнению Тафеля для электрохимического катодного процесса, сопровождаемого одноэлектронным переносом, если степень переноса заряда равна 0,5.

**Эталон ответа:** 1) записано уравнение Тафеля

$$\eta_k = \frac{2,3RT}{\alpha z F} \lg i_0 - \frac{2,3RT}{\alpha z F} \lg i_k \quad \text{или } \eta = a + b \lg i_k \quad (\eta = a + b \ln i_k)$$

1. Записано выражение для расчета наклона  $b = 2.3RT/(\alpha z F)$  (или  $b = RT/(\alpha z F)$ )
2. Проведен расчет величины наклона  $b = 2.3 \cdot 8.31 \cdot 298 / (0,5 \cdot 96500) = 0,118 \text{ В}$  (или  $b = 8.31 \cdot 298 / (0,5 \cdot 96500) = 0,051 \text{ В}$ ).

**Критерии оценивания:**

- 5 баллов – верно записаны все элементы ответа.
- 2 балла – верно записано выражение уравнения Тафеля.
- 0 баллов – не записан правильно ни один элемент ответа.

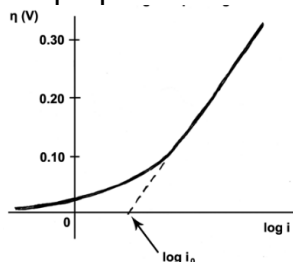
**Задача 2.** Приведите графическое решение для расчета плотности тока обмена для электрохимической реакции, протекающей при перенапряжении переноса заряда.

**Эталон ответа:**

1. записано уравнение Тафеля

$$\eta_k = \frac{2,3RT}{\alpha z F} \lg i_0 - \frac{2,3RT}{\alpha z F} \lg i_k$$

2. Построен график в полулогарифмических координатах.



3. Указан отрезок на оси абсцисс, соответствующий  $Ig j_0$ .

**Критерии оценивания:**

5 баллов – верно записаны все элементы ответа.

2 балла – изображен график зависимости уравнения Тафеля в полупологарифмических координатах или записано уравнение Тафеля.

0 баллов – не записан правильно ни один элемент ответа.