

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

**УТВЕРЖДАЮ**



Заведующий кафедрой  
физической химии

*О.А. Козадеров*

01.07.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.01.02 Компьютерное моделирование электрохимических систем**

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 04.05.01  
Фундаментальная и прикладная химия
2. Профиль подготовки/специализация: Фундаментальная химия в профессиональном образовании
3. Квалификация выпускника: Химик. Преподаватель химии
4. Форма обучения: Очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: 1004 физической химии
6. Составители программы: Козадеров Олег Александрович, д.х.н., доцент
7. Рекомендована: НМС химического факультета от 17.06.2021, протокол №5
8. Учебный год: 2023/2024                      Семестр: 5

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

*обучение основам компьютерного моделирования свойств основных компонентов электрохимических ячеек, гальванических элементов, химических источников тока, а также электрохимических процессов в объеме и на границе раздела фаз.*

*Задачи учебной дисциплины:*

*дать математическое описание электрохимических систем преобразования энергии (гальванических элементов, аккумуляторов, топливных элементов) и электролизеров, методов решения уравнений, описывающих электрохимические процессы в объеме фаз и на межфазных границах в электрохимических системах с учетом их кинетических закономерностей и свойств входящих в состав системы компонентов (электродов, электролитов), ознакомить с программным обеспечением, позволяющим моделировать различные электрохимические процессы.*

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

**часть, формируемая участниками образовательных отношений (вариативная), дисциплина по выбору**

**При освоении данного курса обучающийся должен уметь дифференцировать и интегрировать элементарные функции, знать специальные интегралы, основы линейной алгебры, дифференциального исчисления, молекулярной физики, физической химии, 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, систематизацию и критический анализ научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач химической направленности	ПК - 1.1	Обеспечивает сбор научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач	Знать: основные источники научно-технических данных, требующихся для моделирования электрохимических систем. Уметь: осуществлять постановку математической задачи для описания электрохимических систем. Владеть: способами поиска информации, необходимой для постановки и решения задач по моделированию электрохимических систем
		ПК - 1.2	Составляет аналитический обзор собранной научной, технической и патентной информации по тематике исследовательского проекта	Знать: основы составления аналитических обзоров Уметь: интерпретировать и обобщать собранную информацию Владеть: способами анализа собранной информации
ПК - 2	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области	ПК - 2.1	Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	Знать: основы планирования научного исследования Уметь: использовать на практике правила составления плана исследований Владеть: методами детализации плана исследований
		ПК - 2.2	Выбирает экспериментальные	Знать: методы исследования механизма процесса в соответствии с поставленной

аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии		е и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	перед ними проблемой. Уметь: разработать схему расчета и практически провести его с использованием аналитических или численных методов Владеть: способами интерпретации полученных результатов.
--	--	--	---

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2/72.

Форма промежуточной аттестации *зачет*

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			4	
Аудиторные занятия		54	54	
в том числе:	лекции	18	18	
	практические	36	36	
	лабораторные	-	-	
Самостоятельная работа		18	18	
в том числе: курсовая работа (проект)		-	-	
Форма промежуточной аттестации			<i>зачет</i>	
Итого:		72	72	

### 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	Теоретические основы математического моделирования электрохимических процессов	Многостадийность электрохимического процесса. Лимитирующая стадия. Математическое описание электрохимических систем. Дифференциальные уравнения нестационарного массопереноса. Диффузионная кинетика. Электрохимическая кинетика. Смешанная кинетика.	Электронный университет ВГУ. Образовательный портал. <a href="http://www.edu.vsu.ru">http://www.edu.vsu.ru</a>
1.2	Аналитические методы математического моделирования электрохимических процессов	Интегральные преобразования. Метод Лапласа. Метод Лапласа-Карсона. Применение методов интегрального преобразования к решению задач нестационарного массопереноса при электрохимических процессах. Потенциостатический режим. Гальваностатический режим. Потенциодинамический режим. Учет эффектов поверхностной сегрегации, шероховатости и релаксации неравновесной вакансионной подсистемы при аналитическом решении диффузионно-кинетических задач. Использование компьютерных математических пакетов для аналитического решения электрохимических задач.	
1.3	Численные методы математического моделирования электрохимических процессов	Метод конечных разностей. Метод конечных элементов. Компьютерная реализация. Применение методов интегрального преобразования к решению задач нестационарного массопереноса при электрохимических процессах. Хроноамперометрия. Хронопотенциометрия.	

		Вольтамперометрия. Использование компьютерных математических пакетов для численного решения электрохимических задач. Учет эффекта шероховатости поверхности электрода при численном решении диффузионно-кинетических задач.	
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Теоретические основы математического моделирования электрохимических процессов	Составление систем дифференциальных уравнений, описывающих электрохимические системы. Хроноамперометрия. Хронопотенциометрия. Вольтамперометрия. Стационарный и нестационарный режим. Диффузионная кинетика. Смешанная кинетика.	Электронный университет ВГУ. Образовательный портал. <a href="http://www.edu.vsu.ru">http://www.edu.vsu.ru</a>
2.2	Аналитические методы математического моделирования электрохимических процессов	Нестационарная диффузия в потенциостатических условиях поляризации. Аналитическое решение задачи. Нестационарная диффузия в гальваностатических условиях поляризации. Аналитическое решение задачи. Нестационарная диффузия в потенциодинамических условиях поляризации. Аналитическое решение задачи.	
2.3	Численные методы математического моделирования электрохимических процессов	Метод численного конечно-элементного моделирования. Платформа COMSOL Multiphysics. Базовый алгоритм моделирования диффузионно-контролируемого потенциостатического процесса в COMSOL Multiphysics. Базовый алгоритм моделирования диффузионно-контролируемого гальваностатического процесса в COMSOL Multiphysics. Базовый алгоритм моделирования диффузионно-контролируемого потенциодинамического процесса в COMSOL Multiphysics.	

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Теоретические основы математического моделирования электрохимических процессов	6	6	-	6	18
2	Аналитические методы математического моделирования электрохимических процессов	6	15	-	6	27
3	Численные методы математического моделирования электрохимических процессов	6	15	-	6	27
	Итого:	18	36	-	18	72

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

Работа с конспектами лекций, презентационным материалом, литературой, указанной в п.15, решение практических задач. Подготовка к промежуточной аттестации. При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или

“МООК ВГУ” (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (bigbluebutton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Козадеров О.А. Массоперенос и фазообразование при анодном селективном растворении гомогенных сплавов / О.А. Козадеров, А.В. Введенский. – Воронеж : Научная книга, 2014. – 288 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Диткин В.А. Интегральные преобразования и операционное исчисление / В.А. Диткин, А.П. Прудников. — М. : Наука, 1974.— 542 с.
3	Bard A.J. Electrochemical methods : fundamentals and applications / A. J. Bard, L. R. Faulkner. - Hoboken : John Wiley & Sons, 2001. - 833 p.
4	Галлагер Р. Метод конечных элементов : основы / Р. Галлагер. – М. : Мир, 1984. – 428 с.
5	Розин Л.А. Метод конечных элементов / Л.А. Розин // Соросов-ский образовательный журнал. – 2000. – № 4. – С. 120-127.
6	Трухан С.Н. Компьютерное моделирование процессов и явлений физической химии / С.Н. Трухан, В.С. Деревщиков. – Новосибирск : НИИГУ, 2012. – 75 с.
7	Егоров В.И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности / В.И. Егоров. – СПб : СПб ГУ ИТМО, 2006. – 77 с.
8	Datta A. An introduction to modeling of transport processes : applications to biomedical systems / A. Datta, V. Rakesh. – Cambridge : Cambridge University Press, 2010. – 503 p.
9	Вознесенский А.С. Компьютерные методы в научных исследованиях. Ч. 2 / А.С. Вознесенский. – М. : МГГУ, 2010. – 107 с.
10	Галюс З. Теоретические основы электрохимического анализа. Поляррография, хроновольтамперометрия, хронотенциометрия, метод вращающегося диска / З. Галюс. — М. : Мир, 1974 .— 552 с.
11	Агасян П.К. Основы электрохимических методов анализа : (потенциометрический метод) : [учебное пособие] / П.К. Агасян, Е.Р. Николаева.— М. : Изд-во Московского ун-та, 1986.— 192 с.
12	Лопатин Б.А. Теоретические основы электрохимических методов анализа : учебное пособие для студ. хим. спец. ун-тов / Б.А. Лопатин. — М. : Высшая школа, 1975. — 294 с.
13	Любиев О.Н. Математическое моделирование электрохимических систем : Учебное пособие / О.Н. Любиев. — Новочеркасск : НПИ, 1979. — 84 с.
14	Кошель Н.Д. Материальные процессы в электрохимических аппаратах: Моделирование и расчет / Н.Д. Кошель. — Киев-Донецк : Вища школа, 1986.

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

№ п/п	Ресурс
15	Научная электронная библиотека. — < <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> >
16	Электронный университет ВГУ. Образовательный портал. — < <a href="http://www.moodle.vsu.ru">http://www.moodle.vsu.ru</a> >
17	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" . — < <a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a> >
18	Информационная система "Университетская библиотека ONLINE" — < <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a> >
19	Электронно-библиотечная система "Издательство "Лань" — < <a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a> >
20	Электронная библиотека Воронежского государственного университета. — < <a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> >
21	Официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Интернет. - < <a href="http://www.chemnet.ru">http://www.chemnet.ru</a> >
22	Образовательный математический сайт Exponenta.ru. - < <a href="http://www.exponenta.ru">ww.exponenta.ru</a> >

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

№ п/п	Источник
23	Компьютерное моделирование электрохимических процессов : учебно-методическое пособие : [для студ. магистратуры, обуч. по направлениям "Физическая химия" и "Электрохимия"] / Воронеж. гос. ун-т. — Воронеж : Научная книга, 2015. Ч. 1:

	Диффузионный контроль. Хроноамперометрия / сост.: О.А. Козадеров, О.Ю. Дьяконова.— 34 с.
24	Компьютерное моделирование электрохимических процессов : учебно-методическое пособие : [для студ. магистратуры, обуч. по направлениям "Физическая химия" и "Электрохимия"] / Воронеж. гос. ун-т .— Воронеж : Научная книга, 2015. Ч. 2: Диффузионный контроль. Хронопотенциометрия / сост.: О.А. Козадеров, Е.А. Попова.— 31 с.
25	Компьютерное моделирование электрохимических процессов : учебно-методическое пособие : [для студ. магистратуры, обуч. по направлениям "Физическая химия" и "Электрохимия"] / Воронеж. гос. ун-т .— Воронеж : Научная книга, 2015. Ч. 3: Диффузионный контроль. Вольтамперометрия / сост.: О.А. Козадеров, Ю.И. Боброва.— 30 с.

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины проводятся различные типы лекций, практические занятия, контрольные работы по основным разделам теоретического материала, решение практических задач в режиме контактной и самостоятельной работы. 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:

271 Компьютерный класс 12 компьютеров, принтер, проектор, ноутбук, лицензионное программное обеспечение Comsol Multiphysics, Mathematica

## 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.	Теоретические основы математического моделирования электрохимических процессов	ПК-1	ПК-1.1, ПК-1.2	<i>Перечень заданий 1</i>
2.	Аналитические методы математического моделирования электрохимических процессов	ПК-2	ПК-2.1, ПК-2.2	<i>Перечень заданий 1</i>
3.	Численные методы математического моделирования электрохимических процессов	ПК-2	ПК-2.1, ПК-2.2	<i>Перечень заданий 1</i>
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет, контрольная работа				<i>Перечень заданий 2</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:

### Практико-ориентированные задания

#### Перечень заданий 1

1. Рассчитайте хроноамперограммы катодного потенциостатического диффузионно-контролируемого восстановления однозарядных ионов металла  $M^+$  из водного раствора на плоской идеально гладкой поверхности М-электрода при различных значениях диффузионного перенапряжения  $\uparrow$ . Сделайте вывод о роли перенапряжения в токовом транзiente электроосаждения металла.
2. Используя справочные данные о коэффициентах диффузии ионов различных металлов в водном растворе, рассчитайте хроноамперограммы анодного потенциостатического диффузионно-контролируемого растворения этих металлов с плоской идеально гладкой поверхности электрода.
3. Используя литературные данные о коэффициентах твердофазной диффузии атомов в бинарном гомогенном А,В-сплаве, рассчитайте хроноамперограммы анодного потенциостатического селективного растворения металла А из этого сплава при разных перенапряжениях. Примите, что поверхность плоского электрода является идеально гладкой, а процесс контролируется твердофазной диффузией.
4. Используя литературные данные о коэффициентах диффузии ионов металла А в водном растворе, а также твердофазной диффузии атомов в бинарном гомогенном А,В-сплаве, рассчитайте хроноамперограммы анодного потенциостатического селективного растворения металла А из этого сплава при разных перенапряжениях. Примите, что поверхность плоского электрода является идеально гладкой, а процесс контролируется диффузией ионов в растворе.
5. Рассчитайте хронопотенциограммы и переходные времена для процесса катодного гальваностатического диффузионно-контролируемого восстановления однозарядных ионов металла  $M^+$  из водного раствора на плоской идеально гладкой поверхности М-электрода при различных значениях: а) плотности тока  $i_k$ ; б) объемной концентрации диффузанта  $c_0$ . Проанализируйте зависимость диффузионно-кинетического параметра Санда  $i_k \cdot \tau_k$  от  $i_k$ .
6. Используя справочные данные о коэффициентах диффузии ионов различных металлов в водном растворе, рассчитайте хронопотенциограммы и параметры  $\tau_a$  для процесса анодного гальваностатического диффузионно-контролируемого растворения этих металлов с плоской идеально гладкой поверхности электрода.
7. Используя литературные данные о коэффициентах твердофазной диффузии атомов в бинарном гомогенном А,В-сплаве, рассчитайте хронопотенциограммы и переходные времена для процесса анодного гальваностатического селективного растворения металла А из этого сплава при разных плотностях тока. Примите, что поверхность плоского электрода является идеально гладкой, а процесс контролируется твердофазной диффузией.
8. Рассчитайте потенциодинамические  $i, \uparrow$ -кривые и координаты вольтамперометрического максимума для процесса катодного диффузионно-контролируемого восстановления однозарядных ионов металла  $M^+$  из водного раствора на плоской идеально гладкой поверхности М-электрода при различных значениях скорости сканирования потенциала. Проанализируйте зависимость  $i_{\max}$  и  $\eta_{\max}$  от  $v^{1/2}$ .
9. Используя справочные данные о коэффициентах диффузии ионов различных металлов в водном растворе, рассчитайте вольтамперограммы для процесса анодного потенциодинамического диффузионно-контролируемого растворения этих металлов с плоской идеально гладкой поверхности электрода.
10. Используя литературные данные о коэффициентах твердофазной диффузии атомов в бинарном гомогенном А,В-сплаве, рассчитайте вольтамперограммы для процесса анодного потенциодинамического селективного растворения металла А из этого сплава при разных скоростях сканирования потенциала. Примите, что поверхность плоского электрода является идеально гладкой, а процесс контролируется твердофазной диффузией.

Описание технологии проведения

В течение семестра обучающийся прослушивает курс лекций и посещает практические занятия, на которых реализуются:

- решение практико-ориентированные задания по основным разделам дисциплины, оформление отчета и собеседование по результатам решения задач;
- устные опросы по основным разделам дисциплины.

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Задача решена корректно.

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Контрольная работа

Перечень заданий 2

1. Рассчитайте хроноамперограммы анодного потенциостатического диффузионно-контролируемого растворения металла  $M$  с плоской идеально гладкой поверхности электрода с образованием однозарядных ионов металла  $M^+$  при различных значениях диффузионного перенапряжения  $\eta$ . Сделайте вывод о роли перенапряжения в токовом транзiente анодного растворения металла.
2. Используя справочные данные о коэффициентах диффузии ионов различных металлов в водном растворе, рассчитайте хроноамперограммы катодного потенциостатического диффузионно-контролируемого восстановления этих ионов на плоской идеально гладкой поверхности электрода.
3. Рассчитайте хронопотенциограммы и параметры  $\tau_a$  для процесса анодного гальваностатического диффузионно-контролируемого растворения металла  $M$  с плоской идеально гладкой поверхности электрода с образованием однозарядных ионов металла  $M^+$  при различных значениях: а) плотности тока  $i_a$ ; б) объемной концентрации диффузанта  $c_0$ . Проанализируйте зависимость параметра  $\tau_a^{1/2}$  от  $c_0$ .
4. Используя справочные данные о коэффициентах диффузии ионов различных металлов в водном растворе, рассчитайте хронопотенциограммы и переходные времена для катодного гальваностатического диффузионно-контролируемого восстановления этих ионов на плоской идеально гладкой поверхности электрода.
5. Рассчитайте вольтамперограммы процесса анодного потенциодинамического диффузионно-контролируемого растворения металла  $M$  с плоской идеально гладкой поверхности электрода с образованием однозарядных ионов металла  $M^+$  при различных значениях скорости сканирования потенциала. Проанализируйте зависимость  $i_a$  от  $v^{1/2}$ .
6. Используя справочные данные о коэффициентах диффузии ионов различных металлов в водном растворе, рассчитайте вольтамперограммы и характеристичные параметры  $i_{\max}$  и  $\eta_{\max}$  для катодного потенциодинамического диффузионно-контролируемого восстановления этих ионов на плоской идеально гладкой поверхности электрода.

## 20.3. Оценочные средства для диагностической работы по оценке остаточных знаний

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК - 1	Способен проводить сбор, систематизацию и критический анализ научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательски	ПК - 1.1	Обеспечивает сбор научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач	Знать: основные источники научно-технических данных, требующихся для моделирования электрохимических систем. Уметь: осуществлять постановку математической задачи для описания электрохимических систем. Владеть: способами поиска информации, необходимой для постановки и решения задач по моделированию электрохимических систем
		ПК - 1.2	Составляет	Знать: основы составления аналитических

	х задач химической направленности		аналитический обзор собранной научной, технической и патентной информации по тематике исследовательского проекта	обзоров Уметь: интерпретировать и обобщать собранную информацию Владеть: способами анализа собранной информации
ПК - 2	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научных задач в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии	ПК - 2.1	Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	Знать: основы планирования научного исследования Уметь: использовать на практике правила составления плана исследований Владеть: методами детализации плана исследований
		ПК - 2.2	Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Знать: методы исследования механизма процесса в соответствии с поставленной перед ними проблемой. Уметь: разработать схему расчета и практически провести его с использованием аналитических или численных методов Владеть: способами интерпретации полученных результатов.

#### ПК-1

- Укажите основную российскую базу научной информации для поиска научно-технических данных, требующихся для моделирования электрохимических систем.
  - eLIBRARY
  - Scopus
  - Web of Science
  - ScienceDirect
- По каким источникам проводится обзор литературы при постановке задачи по моделированию электрохимических процессов?
  - Монографии
  - Статьи
  - Патенты
  - Корректны все варианты ответов
- Что должен включать обзор источников научной, технической и патентной информации?
  - Критический анализ основных идей и тенденций для обоснования актуальности темы исследования.
  - Перечисление цитат из различных источников литературы
  - Копирование наиболее подходящих по теме статей
  - Корректны все варианты ответов
- Для чего служат поисковые сервисы?
  - Хранения информации
  - Получения информации
  - Удаления информации
  - Корректны все варианты ответов
- Как оформляется список использованной литературы?
  - По ГОСТУ
  - Только с разрешения автора публикации
  - Нет строгих требований
  - Нет правильного ответа
- Укажите зарубежную базу научной информации для поиска научно-технических данных, требующихся для моделирования электрохимических систем.
  - eLIBRARY
  - Scopus
  - lib.vsu.ru
  - Корректны все варианты ответов
- При моделировании электрохимических систем и процессов можно использовать
  - Только аналитические методы
  - Аналитические и численные методы

- В. Только численные методы
  - Г. Моделирование электрохимических систем и процессов невозможно
8. Каково назначение программы Microsoft PowerPoint?
- А. Для обеспечения правильной работы процессора компьютера
  - Б. Для проведения мультимедийных презентаций
  - В. Для набора и редактирования текста
  - Г. Для работы с таблицами и диаграммами
9. В каких случаях, и с какой целью создаются базы данных?
- А. Когда необходимо отследить, проанализировать и хранить информацию за определенный период времени
  - Б. Для удобства набора текста
  - В. Когда на компьютере нет свободной памяти
  - Г. Корректны все варианты ответов
10. Наглядная форма представления информации по результатам моделирования электрохимических систем и процессов:
- А. Воспоминания о проделанной работе
  - Б. Презентация
  - В. Аудиозапись хода эксперимента
  - Г. Корректны все варианты ответов
11. Каковы основные этапы создания научной презентации?
- А. Планирование, создание и редактирование слайдов, монтаж презентации, репетиция выступления с презентацией
  - Б. Монтаж презентации, выбор подходящего шаблона, планирование презентации
  - В. Разработка дизайна, проверка и отладка презентации
  - Г. Нет корректного ответа
12. Методом математического моделирования можно изучить характеристики
- А. Только стационарных электрохимических процессов
  - Б. Только нестационарных электрохимических процессов
  - В. Стационарных и нестационарных электрохимических процессов
  - Г. Верного ответа нет
13. Укажите компьютерную программу для численного моделирования электрохимических процессов
- А. Comsol Multiphysics
  - Б. MS Word
  - В. Maple
  - Г. Верного ответа нет
14. Укажите аналитический метод математического моделирования электрохимических процессов
- А. Метод Лапласа-Карсона
  - Б. Метод конечных элементов
  - В. Метод наименьших квадратов
  - Г. Верного ответа нет
15. Укажите численный метод математического моделирования электрохимических процессов
- А. Метод Лапласа-Карсона
  - Б. Метод конечных элементов
  - В. Метод наименьших квадратов
  - Г. Верного ответа нет
- Открытые  
Критерии оценивания:  
2 балла – указан верный ответ;  
0 баллов – указан неверный ответ.

16. Необходимо сделать вывод о роли перенапряжения в токовом транзiente анодного растворения металла. Какой тип функциональной зависимости следует рассчитать в ходе моделирования данного процесса?

Согласно литературным данным, токовый транзент – это зависимость плотности тока или силы тока от времени, следовательно, необходимо смоделировать нестационарный процесс анодного растворения металла и получить хроноамперограмму. Ответ: хроноамперограмма

17. Необходимо рассчитать хроноамперограммы катодного потенциостатического диффузионно-контролируемого восстановления различных ионов на плоской идеально гладкой поверхности электрода. Какие справочные данные потребуются использовать при таком моделировании?

Данные о коэффициентах диффузии ионов.

18. Необходимо сделать вывод о роли плотности тока в изменении потенциала анодного растворения металла. В каком режиме следует провести моделирование данного электрохимического процесса?

Предполагается задавать постоянной плотность тока, поэтому режим – гальваностатический.

19. При моделировании электрохимического процесса установлено, что на катодной поляризационной кривой неподвижного электрода обнаружена область независимости плотности тока от перенапряжения,

причем вращение электрода приводит к росту плотности тока. Какая стадия является скоростьюопределяющей в электрохимическом процессе, протекающем в данной системе?

Ответ: диффузия

20. Требуется смоделировать процесс катодного осаждения металла в потенциодинамическом режиме. Какой тип функциональной зависимости следует рассчитать в ходе моделирования данного процесса?

Согласно литературным данным, потенциодинамический режим предполагает изменение потенциала во времени и регистрацию при этом силы тока, в итоге получают зависимость плотности тока от потенциала, то есть вольтамперограмму. Ответ: вольтамперограмма

#### Ключи для ПК-1

Вопросы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ответы	А	Г	А	Б	А	Б	Б	Б	А
Вопросы	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ответы	Б	А	В	А	А	Б	хроноамперограмма	Данные о коэффициентах диффузии ионов	гальваностатический
Вопросы	19	20							
Ответы	диффузия	вольтамперограмма							

#### ПК-2

1. Моделирование электрохимических процессов осложняется тем, что они являются
  - А. Простыми
  - Б. Многостадийными
  - В. Гомогенными
  - Г. Моделирование электрохимических процессов невозможно
2. Для моделирования электрохимического процесса, лимитируемого нестационарным диффузионным массопереносом, используется
  - А. Дифференциальное уравнение первого закона Фика
  - Б. Дифференциальное уравнение второго закона Фика
  - В. Уравнение Батлера-Фольмера
  - Г. Корректны все варианты ответов
3. Для моделирования электрохимического процесса, лимитируемого стационарным диффузионным массопереносом, используется
  - А. Дифференциальное уравнение первого закона Фика
  - Б. Дифференциальное уравнение второго закона Фика
  - В. Уравнение Батлера-Фольмера
  - Г. Корректны все варианты ответов
4. Интегральные преобразования используются при моделировании электрохимических процессов
  - А. Аналитическими методами
  - Б. Численными методами
  - В. Методом наименьших квадратов
  - Г. Корректны все варианты ответов
5. При моделировании диффузионно-контролируемого электрохимического процесса в потенциостатическом режиме граничное условие предполагает постоянство
  - А. Поверхностной концентрации диффузанта
  - Б. Потока диффузанта на поверхности электрода
  - В. Граничное условие не задается в данном случае
  - Г. Нет правильного ответа
6. При моделировании диффузионно-контролируемого электрохимического процесса в гальваностатическом режиме граничное условие предполагает постоянство
  - А. Поверхностной концентрации диффузанта
  - Б. Потока диффузанта на поверхности электрода
  - В. Граничное условие не задается в данном случае
  - Г. Нет правильного ответа
7. При моделировании диффузионно-контролируемого электрохимического процесса в потенциодинамическом режиме граничное условие предполагает постоянство
  - А. Поверхностной концентрации диффузанта
  - Б. Потока диффузанта на поверхности электрода
  - В. Граничное условие не задается в данном случае
  - Г. Нет правильного ответа
8. При моделировании диффузионно-контролируемого электрохимического процесса в гальванодинамическом режиме граничное условие предполагает постоянство
  - А. Поверхностной концентрации диффузанта
  - Б. Потока диффузанта на поверхности электрода
  - В. Граничное условие не задается в данном случае

- Г. Нет правильного ответа
9. Методом Лапласа-Карсона можно получить точное решение задачи о нестационарной диффузии при катодном осаждении металла
- А. Только на идеально гладком электроде  
 Б. Только на шероховатом электроде  
 В. Данный метод не используется при моделировании электрохимических процессов  
 Г. Нет правильного ответа
10. Методом конечных элементов можно получить точное решение задачи о нестационарной диффузии при катодном осаждении металла
- А. Только на идеально гладком электроде  
 Б. Только на шероховатом электроде  
 В. Как на идеально гладком, так и на шероховатом электроде  
 Г. Нет правильного ответа
11. Каковы основные этапы моделирования электрохимического процесса в Comsol Multiphysics?
- А. Создание геометрической модели  
 Б. Формулирование начальных и граничных условий  
 В. Запуск решателя  
 Г. Корректны все варианты ответов
12. Диффузионно-контролируемый потенциостатический процесс моделируется
- А. В условиях постоянства плотности тока  
 Б. В условиях постоянства электродного потенциала  
 В. В условиях сканирования плотности тока  
 Г. В условиях сканирования электродного потенциала
13. Диффузионно-контролируемый гальваностатический процесс моделируется
- А. В условиях постоянства плотности тока  
 Б. В условиях постоянства электродного потенциала  
 В. В условиях сканирования плотности тока  
 Г. В условиях сканирования электродного потенциала
14. Диффузионно-контролируемый потенциодинамический процесс моделируется
- А. В условиях постоянства плотности тока  
 Б. В условиях постоянства электродного потенциала  
 В. В условиях сканирования плотности тока  
 Г. В условиях сканирования электродного потенциала
15. Диффузионно-контролируемый гальванодинамический процесс моделируется
- А. В условиях постоянства плотности тока  
 Б. В условиях постоянства электродного потенциала  
 В. В условиях сканирования плотности тока  
 Г. В условиях сканирования электродного потенциала

Открытые

Критерии оценивания:

2 балла – указан верный ответ;

0 баллов – указан неверный ответ.

16. Предложите аналитический метод для расчета хронопотенциограммы анодного гальваностатического диффузионно-контролируемого растворения металла с плоской идеально гладкой поверхности электрода.

Ответ: метод Лапласа или метод Лапласа-Карсона

17. Какие данные необходимы для расчета хронопотенциограммы процесса анодного гальваностатического селективного растворения металла А из сплава при разных плотностях тока при условии, что процесс контролируется твердофазной диффузией?

Ответ: коэффициент диффузии

18. Какой параметр необходимо варьировать для получения зависимости Рендлса-Шевчика модельного электрохимического процесса?

Ответ: скорость сканирования потенциала

19. В каких координатах следует перестраивать модельную хроноамперограмму диффузионно-контролируемого электрохимического процесса?

Ответ: Коттрелевых,  $i \cdot t^{-1/2}$

20. Какой параметр является критериальным в гальваностатическом электрохимическом процессе, контролируемом диффузией?

Ответ: переходное время

Ключи для ПК-2

Вопросы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ответы	Б	Б	А	А	А	Б	Г	Г	А
Вопросы	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Ответы	В	Г	Б	А	Г	В	метод Лапласа или метод Лапласа- Карсона	коэффициент диффузии	скорость сканирования потенциала
Вопросы	19	20							
Ответы	Коттрелевых, $i-t^{-1/2}$	переходное время							

**Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа).

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования. Промежуточная аттестация осуществляется по результатам контрольной работы. При успешном прохождении текущей аттестации зачет выставляется автоматически. В случае, если обучающийся не справился с заданиями контрольных работ, он получает задания из перечня для прохождения промежуточной аттестации.

Требования к выполнению заданий: корректное решение задачи. Ответ должен отражать способность обучающегося применять знания и умения, полученные на лекциях и практических занятиях, умение работать с литературой и находить нужную информацию. В этом случае выставляется оценка зачтено.

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