


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
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

30.04.2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.01.02 Нестационарные методы  
электрохимических исследований**

1. Шифр и наименование направления подготовки: 04.04.01 Химия
2. **Профиль подготовки/специализации:** Теоретическая и экспериментальная химия
3. **Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр
4. **Форма образования:** 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 19.03.2020 протокол № 3

8. **Учебный год:** 2021 / 2022

**Семестр:** 3

### 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

**Цель учебной дисциплины:** формирование у студентов системы знаний о современных нестационарных электрохимических методах исследования, контроля и управления процессами, протекающими на межфазных границах.

**Основные задачи учебной дисциплины:** научить студентов выбирать и применять нестационарные методы изучения кинетики электрохимических процессов, грамотно трактовать полученные результаты.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** вариативная часть блока Б1. Обязательная дисциплина.

При освоении данного курса обучающийся должен владеть основами теории фундаментальных разделов химии; способностью применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, иметь навыки самостоятельной обработки результатов измерений, грамотно подготовить объект исследования, выбрать технические средства и методы испытания, провести исследование по заданной методике и предложить ее улучшение при необходимости, подготовить отчет о выполненной работе.

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПКВ-1	Способен проводить сбор, анализ и обработку научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации	ПКВ -1.1	Обеспечивает сбор научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач исследования, поставленных специалистом более высокой квалификации	Знать: источники профессиональной информации.  Уметь: осуществлять поиск необходимой документации профессионального или производственного назначения.  Владеть: методиками сбора, систематизации и критического анализа научной, технической и патентной информации
		ПКВ-1.2	Составляет аналитический обзор литературных источников по заданной тематике, оформляет отчеты о выполненных научно-исследовательских работах по заданной форме	

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

Форма промежуточной аттестации - зачет.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		5 семестр	№ семестра	...
Аудиторные занятия	108	108		
в том числе: лекции	54	54		
практические	54	54		
Самостоятельная работа	36	36		
Форма промежуточной аттестации		<i>зачет</i>		
Итого:	144	144		

### Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Методика, оборудование и приборы в электрохимических исследованиях	Приготовление растворов. Выбор химических реактивов. Способы очистки воды и реактивов от загрязнений. Электроды. Ячейки для электрохимических измерений. Принципы измерения электродных потенциалов. Принципы гальвано- и потенциостатирования. Простые способы поддержания гальваностатического и потенциостатического режима поляризации.
1.2	Общие принципы изучения кинетики парциальных электрохимических процессов	Элементы классификации экспериментальных электрохимических методов. Регистрация отклика системы на возмущение. Теоретическое моделирование отклика для различных кинетических ситуаций. Выявление кинетической природы анодных и катодных процессов сочетанием анализа теоретических моделей и экспериментальных исследований.
1.3	Нестационарные гальваностатические методы	Метод включения тока в изучении стадии переноса заряда. Учет тока заряжения двойного слоя. Фиксация хронопотенциограмм. Анодная хронопотенциометрия в случае обратимой электродной реакции. Переходное время анодного и катодного процессов. «Быстрые» гальваностатические методы. Процедура обработки хронопотенциограмм. Сущность метода кулоностатического зондирования.
1.4	Нестационарные потенциостатические методы	Хроноамперометрия в условиях обратимой электродной реакции. Уравнение Коттреля. Хроноамперограмма в условиях смешанной кинетики. Стационарный и нестационарный массоперенос в растворе. Хроноамперограмма бинарного сплава в условиях необратимой электродной реакции. Хроноамперометрия в условиях окисления обоих компонентов сплава.
1.5	Хроноамперометрия с линейной разверткой потенциала	Принципы вольтамперометрии. Уравнения для обратимой окислительно-восстановительной реакции. Уравнение Рэндлса-Шевчика. Критерий обратимости электродной реакции. Необратимая хроновольтамперометрия. Критерий Семерано. Циклическая хроновольтамперометрия с линейной разверткой потенциала.

2. Практические занятия		
3.1	Методика, оборудование и приборы в электрохимических исследованиях	Подготовка рабочего электрода. Выбор Вспомогательного электрода. Определение потенциала электрода сравнения. Подготовка воды и реактивов. Выбор фонового электролита.
3.3	Нестационарные гальваностатические методы	Получение анодной и катодной хронопотенциограммы. Определение переходного времени процесса.
3.4	Нестационарные потенциостатические методы	Получение и анализ анодной и катодной хроноамперограммы. Применение уравнения Коттреля.
3.5	Хроноамперометрия с линейной разверткой потенциала	Регистрация вольтамперограммы с линейной разверткой потенциала. Определение характерных областей. Оценка обратимости или необратимости электрохимического процесса.

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.1	Методика, оборудование и приборы в электрохимических исследованиях	2	2	10	14
1.2	Общие принципы изучения кинетики парциальных электрохимических процессов	2	0	10	12
1.3	Нестационарные гальваностатические методы	4	4	20	28
1.4	Нестационарные потенциостатические методы	4	4	20	28
1.5	Хроноамперометрия с линейной разверткой потенциала	4	4	16	24
	Итого:	54	54	36	144

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

Работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение лабораторных заданий, заданий текущей 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	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.
2	Варенцов, В.К. Электрохимические системы и процессы / В.К. Варенцов ; Рогожников Н. А. ; Уваров Н. Ф. — Новосибирск : НГТУ, 2011 .— 102 с. — <URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=228776">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=228776</a> >.
3	Слепушкин В. В. , Рублинецкая Ю. В. Локальный электрохимический анализ /В.В.Слепушкин, Ю.В. Рублинецкая.- М.: Физматлит.- 2010.-309с. / ЭБС «Электронная библиотека онлайн»

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Электроаналитические методы. Теория и практика / А.М. Бонд [и др.] ; ред. Ф. Шольц.— М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006 .— 326 с.
5	Паутов В. Н. Электрохимический анализ : учеб. пособие / В.Н. Паутов ; Новосиб. гос. техн. ун-т .— Новосибирск : Новосиб. гос. техн. ун-т, Ч.1 -.2000- 90 с.; Ч. 2 .— 2004 .— 122с.
6	Плэмбек, Дж. А. Электрохимические методы анализа : Основы теории и применение / Дж.А. Плэмбек. — М. : Мир, 1985 .— 504с.
7	Дамаскин Б.Б. Принципы современных методов изучения электрохимических реакций / Б.Б. Дамаскин. – М. : Изд-во МГУ, 1965. – 132 с.
8	Электрохимический импеданс / З.Б.Стойнов [ и др.]. – М. : Наука, 1991. – 328 с.
9	Справочник по электрохимии / Под ред. А.М. Сухотина .— Л. : Химия : Ленингр. отд-ние, 1981 .— 486 с.

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

№ п/п	Ресурс
10	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
11	ЭБС «Консультант студента»
12	ЭБС «Лань»
13	ЭБС «Университетская библиотека on-line»

**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. <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m19-210.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m19-210.pdf</a> >.
2	Анодное растворение и селективная коррозия сплавов / И.К.Маршаков [и др.]. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1988. – 288 с.
3	Балмасов, А.В. Лукомский Ю.Я. Лабораторный практикум по теоретической электрохимии. Иван. гос. хим.–технол. ун-т. – Иваново, 2008. – 84 с.
4	Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие / [А.В. Введенский и др.] .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2018 .— 204, [1] с.

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

Проводятся лекции и лабораторные занятия, а кроме того, 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:**

Проектор, ноутбук, доска ученическая, экран, реактивы и химическая посуда, потенциостат П-5827М, IPC-Сontract, гальваностат, источник постоянного напряжения Б5-50; вольтметр В7-21, милливольтмиллиамперметр М-2020, рН-метр ЭВ-74, электрохимическая ячейка ЯЭС-1.

## 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	Компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Методика, оборудование и приборы в электрохимических исследованиях	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	Устный опрос
2	Общие принципы изучения кинетики парциальных электрохимических процессов	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	Контрольная работа №1
3	Нестационарные гальваностатические методы	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	Контрольная работа №2
4	Нестационарные потенциостатические методы	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	
5	Хроноамперометрия с линейной разверткой потенциала	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Перечень вопросов к зачету

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

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

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 форме устного опроса, выполнения лабораторных работы и отчета по ним; контрольной работы по лекционному курсу.

Для отчета по лабораторному практикуму необходимо выполнить, оформить лабораторные работы и ответить на вопросы. Чтобы получить зачет по контрольной работе, необходимо продемонстрировать базовый (или выше) уровень владения материалом. Критерии оценивания приведены ниже. Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

*Задания для контрольных работ:*

- Какая из операций предподготовки электрода к опыту не применима к монокристаллам:  
а) катодное восстановление; б) механическая шлифовка; в) электрохимическая полировка. Ответ пояснить
- При проведении предэлектролиза рабочего раствора используют: а) рабочий и вспомогательный электроды; б) сравнения и вспомогательный электроды; в) два вспомогательных электрода; г) эту операцию не используют.
- Чем равновесный потенциал отличается от бестокового? В водный раствор соляной кислоты погружен цинковый электрод. При этом устанавливающийся электродный потенциал будет: а) равновесным; б) бестоковым; в) стандартным равновесным? Ответ пояснить.
- Для чего при проведении электрохимических измерений используется вспомогательный электрод?
- Для чего в поляризационных измерениях нужен фоновый электролит? По каким параметрам его выбирают?
- Запишите выражение поляризационной зависимости, если лимитирующей стадией является перенос заряда и выполняется условие  $\eta \ll RT/zF$ .
- Как определить порядок реакции, если лимитирующая стадия – перенос заряда?
- Запишите выражение поляризационной зависимости, если лимитирующей стадией является диффузия в растворе.

9. От чего зависит величина предельного диффузионного тока? В каком случае на поляризационной кривой можно наблюдать предельный диффузионный ток?
10. Поляризационная зависимость спрямляется в координатах  $\eta - i$  при  $\eta \ll RT/zF$ . Какой вывод можно сделать о природе лимитирующей стадии?
11. Зависимость  $i_d - \eta^{1/2}$  линейна и экстраполируется в начало координат. Какой вывод можно сделать при этом о кинетике процесса?
12. Для чего используется вращающийся дисковый электрод? Существуют ли ограничения по размеру диска?
13. Чем стационарные методы анализа отличаются от нестационарных? Может ли один метод анализа использоваться как стационарный и нестационарный. От чего это зависит?
14. Изобразите форму налагаемого сигнала и форму отклика в хронопотенциометрическом методе. При каком условии на хронопотенциограмме возникнет "волна", связанная с переходным временем?
15. Можно ли наблюдать несколько переходных времен при протекании электродного процесса? Когда?
16. Появление характерного участка с переходным временем при анодной хронопотенциометрии возможно: а) для условий активного растворения чистого металла; б) при растворении сплава с относительно небольшим содержанием электроположительного компонента; в) при растворении сплава с относительно небольшим содержанием электроотрицательного компонента; г) переходное время на анодной хронопотенциограмме наблюдать нельзя. Ответ пояснить
17. Запишите уравнение Коттреля. Может ли наклон линейной зависимости  $i - t^{-1/2}$  меняться с изменением перенапряжения? В каком случае?
18. Катодная хроноамперограмма восстановления катионов металла из раствора линеаризуется в координатах  $i(t)^{-0.5}$ . При увеличении перенапряжения эта зависимость: а) останется линейной, но изменится ее наклон; б) станет нелинейной; в) величина перенапряжения не влияет на наклон данной зависимости.
19. Критерий Рендлса-Шевчика линейной вольтамперометрии указывает: а) на обратимость стадии перехода заряда; б) на кинетическую необратимость этой стадии; в) не может служить критерием обратимости; г) лимитирующая стадия – адсорбция.
20. Рассчитать перенапряжение при 298 К на никелевом катоде площадью 50 см<sup>2</sup>, если через ячейку с 1,0 М раствором хлорида никеля проходит ток, численное значение которого в 175 раз больше плотности тока обмена. Принять, что лимитирующая стадия – перенос заряда. Считать, что выполняется условие  $\eta \ll RT/zF$ .
21. Медь осаждают из раствора 0,05 М CuSO<sub>4</sub>+1М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при 298 К на медный диск, поверхность которого 20 см<sup>2</sup> при постоянной силе тока 0,25 А в ячейке с Pt анодом. Найти через какое время начнется выделение водорода из этого раствора, если считать, что данный процесс начинается при достижении предельного диффузионного режима по ионам Cu<sup>2+</sup>. Принять, что объем раствора V = 0,2 дм<sup>3</sup>.

*Критерии и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации*

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Обучающийся в полной мере владеет теоретическими основами физической химии и электрохимии, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области электрохимической термодинамики и электрохимической кинетики</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>(Отлично) Зачтено</i>
<i>Обучающийся владеет теоретическими основами физической химии и электрохимии, способен иллюстрировать ответ примерами, допускает ошибки при применении теоретических знаний для решения практических задач в области электрохимической термодинамики и электрохимической кинетики</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>(Хорошо) Зачтено</i>
<i>Обучающийся владеет частично теоретическими основами физической химии и электрохимии, фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами, фрагментарно умеет применять теоретические знания для решения практических задач в области электрохимической термодинамики и электрохимической кинетики</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>(Удовлетворительно) Зачтено</i>
<i>Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания теоретических основ физической химии и электрохимии, допускает грубые ошибки при применении теоретических знаний для решения практических задач в</i>	<i>–</i>	<i>(Неудовлетворительно) Не зачтено</i>

## 20.2. Промежуточная аттестация

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

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации (вопросы к зачету) построены таким образом, чтобы позволить оценить уровень полученных теоретических знаний и степень сформированности практических компетенций.

Для оценивания результатов обучения на экзамене/зачете используются следующие показатели:

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

При реализации дисциплины с применением дистанционных образовательных технологий оценки за экзамен/зачет могут быть выставлены по результатам текущей аттестации обучающегося в семестре.

### *Перечень вопросов к зачету.*

1. Электроды. Рабочие (изоляция, токоподвод, подготовка поверхности), вспомогательные электроды и электроды сравнения.
2. Измерение площади рабочего электрода, истинная поверхность и фактор шероховатости. Определение потенциала электрода сравнения.
3. Приготовление растворов. Выбор реактивов, их очистка от возможных загрязнений. Вода, ее очистка. Дезаэрация раствора, предэлектrolиз.
4. Ячейки для электрохимических исследований. Материал, конструкция (разделение анодного и катодного пространства, термостатирование, электролитические ключи).
5. Измерение электродных потенциалов. Омическая составляющая потенциала и способы ее устранения. Устройства для поддержания постоянного тока и потенциала.
6. Классификация методов изучения кинетики электродных процессов. Теоретическое моделирование отклика системы для различных кинетических ситуаций.
7. Выявление кинетической природы анодных и катодных процессов сочетанием экспериментальных исследований с теоретическим анализом.
8. Нестационарный гальваностатический метод. Замедленная стадия диффузии. Переходное время и условия его возникновения. Уравнение Санда.
9. Нестационарный гальваностатический метод. Хроноамперограмма. Уравнение Коттреля.
10. Анодная хроноамперограмма бинарного сплава при условии растворения обоих компонентов.
11. Хроновольтамперометрия. Условия возникновения максимумов тока.
12. Уравнение Рендлса-Шевчика. Потенциал и ток максимума хроновольтамперограммы. Критерий обратимости электродной реакции.
13. Хроновольтамперограмма для необратимого процесса. Критерий Семерано.
14. Циклическая и инверсионная вольтамперометрия.
15. Особенности формы вольтамперограмм пассивирующихся металлов.