

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Н. Здрок
«06» января 2022 г.

Регистрационный № УД-10954 /уч.

**СОВРЕМЕННЫЕ АККУМУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ**

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)

2022 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 -01 2013 и учебного плана №G-31-155/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

Е.А.Стрельцов, заведующий кафедрой электрохимии Белорусского государственного университета, доктор химических наук, профессор;

Н.В.Малашенок, доцент кафедры электрохимии Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент.

Т.В.Ковальчук-Рабчинская, доцент кафедры электрохимии Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент.

С.М.Рабчинский, доцент кафедры электрохимии Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кулак А.И., директор ИОНХ НАН Беларуси, член-корреспондент НАН Беларуси, д.х.н., профессор;

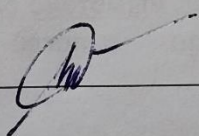
РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой электрохимии Белорусского государственного университета

(протокол № 6 от 16 декабря 2021 г.)

Научно-методическим Советом БГУ

(протокол № 3 от 06.01.2022 г.)

Зав. кафедрой  Стрельцов Е.А.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Знание основ функционирования аккумулирующих электрохимических систем весьма актуально для современных специалистов-химиков, поскольку этот раздел науки, тесно связанный с производством, промышленными технологиями и повседневной жизнью, чрезвычайно важен для Республики Беларусь в связи с развитием альтернативной энергетики (ядерной, солнечной, ветровой) и решением проблем запасания и преобразования различных видов энергии.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – подготовка специалистов-электрохимиков, обладающих комплексом знаний в области физико-химических основ процессов, протекающих в химических источниках тока и суперконденсаторах.

Задачи учебной дисциплины:

1. Формировании у студентов целостной системы знаний по физико-химическим основам функционирования ХИТ и суперконденсаторов;
2. освоении методов оценки электрических и эксплуатационных характеристик и их конструктивных особенностях.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к цикл дисциплин специализаций компонента учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами «Физическая химия», «Электрохимия», «Неорганическая химия» (учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования)

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Современные аккумулирующие электрохимические системы» должно обеспечить формирование следующих универсальных, базовых профессиональных и специализированных компетенций:

***универсальные* компетенции:**

- АК-1 . Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

социально-личностные компетенции:

- СЛК-6. Уметь работать в команде.

базовые профессиональные компетенции:

ПК-1 . Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, анализировать перспективы и направления развития отдельных областей химической науки.

- ПК-2. Принимать участие в научных исследованиях, связанных с совершенствованием и развитием химии, современных ее направлений и физико-химических методов исследования.

- ПК-3. Формулировать цели и задачи научно-исследовательской деятельности, осуществлять ее планирование, принимать участие в подготовке отчетов и публикаций.

- ПК-5. Формулировать и решать задачи, возникающие в ходе производственно-технологической деятельности.

- ПК-8. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективам развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

- ПК-9. Работать с научной, технической и патентной литературой, электронными базами данных.

- ПК-17. Готовить доклады, материалы к презентациям и представлять на них.

- ПК-18. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать: физико-химические основы электрохимии: теорию электролитов, процессы переноса в ионных проводниках, равновесия в растворах электролитов, электродвижущие силы и электродные потенциалы, современные представления о строении двойного электрического слоя;

– основы кинетики электрохимических реакций;

– теоретические основы работы и конструктивные особенности химических источников тока и суперконденсаторов;

– основные характеристики химических источников тока и суперконденсаторов;

– процессы саморазряда и способы повышения удельных характеристик

уметь: проводить расчеты на основе изучаемых электрохимических законов, правил и зависимостей;

– классифицировать аккумулирующие электрохимические системы;

– использовать на практике знания по прикладным аспектам электрохимии

владеть: навыками расчета материального и энергетического балансов химических источников тока.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Современные аккумулирующие электрохимические системы» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 58 часов, в том числе 28 аудиторных часов, из них: лекции – 18 часов, семинарские занятия – часов 6, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 1,5 зачетные единицы.
Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение в курс «Современные аккумулирующие электрохимические системы»

Тема 1.1. Задачи и значение курса «Современные аккумулирующие электрохимические системы».

История развития химических источников тока (ХИТ). Классификация ХИТ. Основные области применения источников тока. Основные производители ХИТ.

Раздел 2. Вопросы теории, конструкции и эксплуатации ХИТ

Тема 2.1. Основные понятия ХИТ.

Электродные процессы. Пространственно-разделенные электрохимические реакции. Процессы, сопровождающие взаимопревращение электрической и химической форм энергии.

Тема 2.2. Основные электрические характеристики работы ХИТ.

ЭДС, напряжение разомкнутой цепи, разрядное и зарядное напряжение. Баланс напряжений ХИТ. Термодинамика ХИТ. Емкость, энергия, мощность. Зарядно-разрядные характеристики. Вольт-амперная характеристика. Особенности эксплуатации вторичных ХИТ. Коммутация ХИТ. Отдача по току, отдача по энергии. Способы заряда аккумуляторов.

Тема 2.3. Эксплуатационные характеристики ХИТ.

Саморазряд и сохранность ХИТ, срок службы, ресурс, надежность.

Тема 2.4. Основные элементы конструкции химических источников тока.

Активные вещества и активная масса электродов. Коэффициент использования активных веществ. Электролиты и сепараторы, используемые в ХИТ. Конструктивные особенности химических источников тока.

Раздел 3. Первичные химические источники тока

Тема 3.1. Области применения первичных ХИТ.

Особенности и основные области применения первичных ХИТ.

Тема 3.2. Разновидности первичных ХИТ.

Первичные ХИТ с цинковым анодом: марганцево-цинковые солевые и щелочные элементы, элементы на основе оксидов ртути и серебра, воздушно-

цинковые элементы. Вариации первичных ХИТ на основе лития. Основные и побочные реакции при разряде и саморазряде. Особенности конструкции, состава электродов, электролита и сепаратора. Основные электрические характеристики. Влияние температуры и режима разряда на разрядную характеристику.

Тема 3.3. Элементы с твердым электролитом.

Разновидности твердых электролитов, их преимущества и недостатки. Твердоэлектролитные элементы на основе галогенидов серебра.

Тема 3.4. Перспективы развития первичных ХИТ.

Поиск новых электрохимических систем для первичных ХИТ. Использование наноматериалов в ХИТ.

Раздел 4. Вторичные химические источники тока

Тема 4.1. Общая характеристика вторичных ХИТ.

Общая характеристика вторичных ХИТ и области их применения.

Тема 4.2. Свинцово-кислотные аккумуляторы.

Свинцово-кислотные аккумуляторы: электродные процессы при заряде и разряде, конструкционные особенности, основные электрические и эксплуатационные характеристики. Эксплуатация, применение и перспективы развития свинцово-кислотных аккумуляторов.

Тема 4.3. Аккумуляторы на основе никеля.

Никель-железные, никель-кадмиевые, никель-водородные и никель-металлгидридные аккумуляторы: электродные процессы при заряде и разряде, особенности конструкции, основные электрические и эксплуатационные характеристики. Применение, преимущества и недостатки, перспективы развития.

Тема 4.4. Вторичные ХИТ на основе лития.

Перезаряжаемые химические источники тока на основе лития. Проблемы внедрения и деинтеркалирования лития. Особенности конструкции и электродных материалов, электродные процессы, электрические и эксплуатационные характеристики вторичных литиевых ХИТ. Вариации литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов. Применение и перспективы развития.

Тема 4.5. Вторичные ХИТ на основе цинка.

Серебряно-цинковые, никель-цинковые аккумуляторы и перспективы использования других электрохимических систем во вторичных ХИТ.

Тема 4.6. Водоактивируемые ХИТ.

Использование магния и алюминия в водных электролитах. Основные электрохимические системы, особенности конструкции и характеристики водоактивируемых резервных элементов. Водоактивируемые ХИТ с литиевым анодом. Неводные резервные ХИТ.

Тема 4.7. Ампульные и тепловые элементы.

Ампульные и тепловые элементы: особенности конструкции и работы, преимущества и недостатки. Примеры ампульных и тепловых ХИТ.

Тема 4.8. Цинк-ионные батареи.

Катодные и анодные материалы для цинк-ионных батарей.

Тема 4.9. Современные тенденции развития вторичных ХИТ.

Современные тенденции развития вторичных ХИТ.

Раздел 5. Топливные элементы

Тема 5.1. Общая характеристика топливных элементов.

Особенности топливных элементов: устройство, принципы работы и назначение основных компонентов. Электродные процессы в топливных элементах. Классификация современных топливных ячеек, их применение, преимущества и недостатки, тенденции развития. Портативные топливные элементы.

Тема 5.2. Разновидности топливных элементов и их характеристики.

Топливные элементы различных типов: с полимерным, фосфорнокислым, щелочным, твердооксидным, расплавленным карбонатным электролитом. Особенности функционирования, конструкции и электрических характеристик.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Раздел 1. Введение в курс «Современные аккумулирующие электрохимические системы» Тема 1.1. Введение	1						собеседован ие
2	Раздел 2. Вопросы теории, конструкции и эксплуатации ХИТ Тема 2.1. Основные понятия ХИТ Тема 2.2. Основные электрические характеристики работы ХИТ	3						контрольный опрос, тесты
3	Раздел 3. Первичные химические источники тока Тема 3.1 Области применения первичных ХИТ Тема 3.2 Разновидности первичных ХИТ Тема 3.3 Элементы с твердым электролитом Тема 3.4 Перспективы развития первичных ХИТ	6		2			2	контрольная работа, собеседован ие, рефераты
4	Раздел 4. Вторичные химические источники тока Тема 4.1 Общая характеристика вторичных ХИТ.	4		2			2	письменный отчет по аудиторным практически м

	<p>Тема 4.2 Свинцово-кислотные аккумуляторы</p> <p>Тема 4.3 Аккумуляторы на основе никеля.</p> <p>Тема 4.4 Вторичные ХИТ на основе лития</p> <p>Тема 4.5 Вторичные ХИТ на основе цинка</p> <p>Тема 4.6 Водоактивируемые ХИТ</p> <p>Тема 4.7 Ампульные и тепловые элементы</p> <p>Тема 4.8 Цинк-ионные батареи</p> <p>Тема 4.9 Современные тенденции развития вторичных ХИТ</p>							упражнения м, рефераты
5	<p>Раздел 5. Топливные элементы</p> <p>Тема 5.1 Общая характеристика топливных элементов</p> <p>Тема 5.2 Разновидности топливных элементов и их характеристики</p>	4		2				собеседование, контрольный опрос
	Всего часов	18		6			4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Warner J.T. Lithium-Ion Battery Chemistries: A Primer. US: Elsevier. - 2019. - 353 p.
2. Petrovic S. Battery Technology Crash Course: A Concise Introduction. Berlin: Springer - 2021. - 108 p
3. Козадеров, О. А. Современные химические источники тока : учебное пособие / О. А. Козадеров, А. В. Введенский. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 132 с
4. Дамаскин, Б. Б. Электрохимия : учебное пособие / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина. — 3-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 672 с.
5. Химические источники тока : учебное пособие / В. Я. Соловьева, И. В. Степанова, М. Абу-Хасан, А. С. Сахарова. — Санкт-Петербург : ПГУПС, 2020. — 53 с.
6. Beta Writer. Lithium-Ion Batteries – New York: Springer, 2019. — 278 p.
7. Braun A, Electrochemical Energy Systems: Foundations, Energy Storage and Conversion – Berlin: de Gruyter, 2018. — 674 p.
8. Garche J., Brandt K. (Eds.) Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications: Li-Battery Safety – Elsevier, 2019. — 645 p.
9. Kebede M.A., Ezema F.I. (eds.) Electrode Materials for Energy Storage and Conversion – CRC Press, 2022.
10. Kebede M.A., Ezema F.I. (eds.) Electrochemical Devices for Energy Storage Applications – Boca Raton: CRC Press, 2019. — 267 p.
11. Korthauer R. (ed.) Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications – Springer, 2018. — 415 p.

Перечень дополнительной литературы

1. Winter, M. What are batteries, fuel cells and supercapacitors / M. Winter, R. Brodd // Chem. Rev. – 2004. – Vol. 104, № 10. – P. 4245–4270.
2. Коровин, Н. В. Электрохимическая энергетика / Н. В. Коровин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 264 с.
3. Fuel Cells Handbook. – USDE, 2004. – 427 p.
4. Linden, D. The Handbook of Batteries / D. Linden, T.V. Reddy. – McGraw-Hill, 2002. – 1454 p.
5. Флеров, В.Н. Сборник задач по прикладной электрохимии / В.Н. Флеров. – М.: Высш. школа, 1967. – 292 с.
6. Химические источники тока: Справочник / Под ред. Н.В. Коровина и А.М. Скундина. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 739 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Текущий контроль качества усвоения студентами знаний по данной учебной дисциплине может осуществляться с использованием следующих средств диагностики:

- письменный отчет по аудиторным практическим упражнениям;
- собеседование;
- контрольный опрос;
- тесты;
- контрольная работа;
- рефераты.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Современные аккумулярующие электрохимические системы» учебным планом предусмотрен зачет

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- ответы на семинарских занятиях – 25 %;
- контрольная работа – 25 %;
- подготовка реферата – 25 %;
- письменный отчет по аудиторным практическим упражнениям – 25 %.

Рейтинговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей успеваемости и отметки на зачете с учетом их весовых коэффициентов. Вес отметки по текущей успеваемости составляет 40 %, зачетной отметки – 60 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 3. Первичные химические источники тока (2ч.)

Задание: Подготовить реферат. Предложенные темы:

1. Ампульные и тепловые элементы: особенности конструкции и работы
2. Водоактивируемые ХИТ с литиевым анодом
3. Неводные резервные ХИТ

Форма контроля - реферат

Тема 4. Вторичные химические источники тока (2ч.)

Задание: Подготовить реферат. Предложенные темы:

1. Никель-цинковые аккумуляторы
2. Литий-полимерные аккумуляторы. Применение и перспективы развития.
3. Литий-ионные аккумуляторы с кремниевым анодом
4. Никель-кадмиевые аккумуляторы: эффект памяти

Форма контроля - реферат

Примерная тематика семинарских занятий

Семинар № 1. Топливные элементы (2ч.)

Задание: Подготовить реферат на предложенные темы:

1. Топливные элементы на основе этанола и метанола
2. Низкотемпературные топливные элементы

Семинар №2. «Первичные химические источники тока».

Решение задач.

Примерная тематика задач:

ХИТ содержит следующие активные компоненты: MnO_2 (8.7 г), Zn (9.8 г), NH_4Cl (водный раствор pH 5). Масса ХИТ равна 25 г.

- а) Запишите схему ХИТ. Приведите уравнения полуреакций, протекающих на катоде и аноде, и уравнение суммарной реакции.
- б) Рассчитайте зарядную емкость (Кл, А·ч) и энергетическую емкость (Дж, Вт·ч) ХИТ.

Семинар №3. «Вторичные химические источники тока». Решение задач.

Примерная тематика задач:

Свинцовая аккумуляторная батарея напряжением $U = 12$ В содержит $m = 410$ г свинца в анодных пластинах и стехиометрически эквивалентное количество оксида свинца(IV) в катодных пластинах.

- 1) Определите максимальное количество электричества q (в Кл), которое может дать такая батарея без перезарядки.

2) В течение скольких часов батарея будет давать постоянный ток силой $I = 1,0$ А, если предположить, что сила тока не будет уменьшаться в процессе разрядки?

3) Какую максимальную электрическую работу A (в кВт•ч) может выполнить данная батарея?

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются:

➤ **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

➤ **метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод)**, который предполагает:

- приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач;
- анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы необходимо наличие методических указаний, электронных учебно-методических комплексов, в том числе представленных на образовательном портале, фондов оценочных средств, конкретных электронных информационных ресурсов, исходя из специфики организации самостоятельной работы по учебной дисциплине.

На освоение учебного материала в рамках УСП для специальностей высшего образования I ступени может отводиться до 20 % от аудиторных часов, выделенных на изучение соответствующей дисциплины (при необходимости до 40%); для II ступени высшего образования – до 50 % от

аудиторных часов, выделенных на изучение соответствующей дисциплины; для заочной формы получения высшего образования и для образовательных программ дополнительного образования взрослых – обеспечить сопровождение ЭСО часов, выделенных на самостоятельную работу.

Темы реферативных работ

4. Электрохимические суперконденсаторы. Химический дизайн материалов для суперконденсаторов
5. Топливные элементы на основе этанола и метанола
6. Ампульные и тепловые элементы: особенности конструкции и работы
7. Водоактивируемые ХИТ с литиевым анодом
8. Неводные резервные ХИТ
9. Никель-цинковые аккумуляторы
10. Литий-полимерные аккумуляторы. Применение и перспективы развития.
11. Литий-ионные аккумуляторы с кремниевым анодом
12. Никель-кадмиевые аккумуляторы: эффект памяти
13. Использование наноматериалов в ХИТ

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Основные электрические характеристики работы ХИТ. Вольт-амперная характеристика ХИТ.
2. Марганцево-цинковые солевые и щелочные элементы.
3. Первичные ХИТ на основе оксидов ртути и серебра
4. Первичные ХИТ на основе лития
5. Твердоэлектролитные элементы на основе галогенидов серебра
6. Свинцово-кислотные аккумуляторы: электродные процессы и электрические характеристики
7. Никель-железные, никель-кадмиевые, никель-водородные и никель-металлгидридные аккумуляторы
8. Вторичные химические источники тока на основе лития. Проблемы внедрения и деинтеркалирования лития.
9. Серебряно-цинковые, никель-цинковые аккумуляторы
10. Водоактивируемые ХИТ. Использование магния и алюминия в водных электролитах

11. Цинк-ионные батареи. Катодные и анодные материалы для цинк-ионных батарей
12. Топливные элементы с полимерным, фосфорнокислым, щелочным, твердооксидным, расплавленным карбонатным электролитом.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
