

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики  
А.С. Батурин**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Электрохимические накопители энергии и генераторы. Теория и практика
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики организованных структур и химических процессов
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Е.В. Золотухина, д-р хим. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики организованных структур и химических процессов  
12.02.2024

## Аннотация

Дисциплина "Электрохимические накопители энергии и генераторы. Теория и практика" предназначена для формирования у обучающихся специализированных представлений о принципах работы, истории развития, техническом устройстве известных и разрабатываемых электрохимических источников энергии.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование у обучающихся специализированных представлений о принципах работы, истории развития, техническом устройстве известных и разрабатываемых электрохимических источников энергии.

#### Задачи дисциплины

- углубление базовых и формирование специализированных знаний и представлений о принципах работы, основных процессах и их механизмах и теоретическом описании, лежащих в основе современных электрохимических источников энергии, о материалах используемых для их изготовления.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- законы, лежащие в основе работы электрохимических источников энергии (ЭХИТ);
- теоретические основы методов, используемых для характеристики ЭХИТ;
- достоинства и недостатки различных, конструкционные особенности и эксплуатационные характеристики различных ЭХИТ, материалы, используемые в ЭХИТ разных типов и их особенности эксплуатации;
- основные поисковые системы, базы данных и ведущие периодические издания по электрохимическим источникам энергии.

уметь:

- различать основные виды электрохимических источников энергии;
- объяснять принципы работы различных ЭХИТ, выбирать методы их характеристики, - анализировать результаты электрохимических испытаний;
- оценивать целесообразность применения ЭХИТ исходя из строения, электрохимических, химических и технических характеристик;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о работе, перспективах и характеристиках различных ЭХИТ, оценивать перспективы введения в эксплуатацию новых видов электрохимических источников энергии, встраивать известные источники энергии в энергетические технологические схемы.

владеть:

- основными электрохимическими теориями и концепциями, описывающими принципы работы ЭХИТ;
- основными электрохимическими методами характеристики ЭХИТ;
- навыками моделирования процессов, происходящих в ЭХИТ разных типов;
- навыками к интерпретации и обсуждения результатов проведенного исследования, основываясь на современной литературе по электрохимическим источникам энергии и материалам для них.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в курс	4			7
2	Представление о характеристиках ЭХИТ	4			8
3	Термодинамика и кинетика процессов в ЭХИТ. Вольтамперные характеристики	6			7
4	Электролизеры и гальванические элементы. Классификация	4			8
5	Первичные источники тока	4			7
6	Вторичные источники тока. Особенности аккумуляторов с воздушными электродами. Проточные батареи	2			8
7	Суперконденсаторы	2			7
8	Топливные элементы	4			8
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

###### 1. Введение в курс

Структура курса "Электрохимические накопители энергии и генераторы. Теория и практика". Известные учебные материалы. Проблемы освоения. Первичные источники энергии. Невозобновляемые и возобновляемые виды источников энергии. Энергетические ресурсы. Электрохимические источники энергии. Общие представления. История возникновения.

## 2. Представление о характеристиках ЭХИТ

Потенциал электродов, Напряжение и ЭДС. Номинальное напряжение. Мощность. Номинальная мощность. Максимальная мощность. Допустимые параметры разряда. Напряжение заряда и разряда. Максимальный энергозапас. Типы КПД. Максимальная емкость. Удельные характеристики. Представление об электрохимическом генераторе.

## 3. Термодинамика и кинетика процессов в ЭХИТ. Вольтамперные характеристики

Напряжение разомкнутой цепи. Влияние природы электрода и побочных процессов на напряжение разомкнутой цепи. Вольт- и ватт-амперные характеристики ЭХИТ. Перенапряжения. Типы перенапряжений. Поляризация. Типы падения напряжения при разряде ЭХИТ и их вклады при разных токах разряда в вольтамперную кривую. Кинетические участки вольтамперной кривой. Тафелевский участок, омический участок, диффузионный участок. Характеристики кинетики электродных реакций и их влияние на ВАХ.

## 4. Электролизеры и гальванические элементы. Классификация

Различия между электролизером и гальваническим элементом. Получение водорода электролизным методом. Типы электролизеров. Достоинства и недостатки.

## 5. Первичные источники тока

Первичные источники тока. Типы, общие принципы работы, практическое применение, история развития. Литиевые батареи

## 6. Вторичные источники тока. Особенности аккумуляторов с воздушными электродами. Проточные батареи

Вторичные источники тока. Кислотные и щелочные аккумуляторы. Типы устройств и их применение. Электроды. Электролиты. Процессы, лежащие в основе работы. Характеристики Литий-ионные аккумуляторы. Типы устройств и их применение. Особенности литиевых аккумуляторов. Устройство литий-ионных аккумуляторов. Электроды. Электролиты. Процессы, лежащие в основе работы. Характеристики. Литий-полимерные аккумуляторы. Постлитиевые (натрий, калий, магний) аккумуляторы. Деграция материалов аккумуляторов и способы ее оценки.

Аккумуляторы с воздушными электродами. Проблемы литиевых аккумуляторов с воздушными электродами. Редокс-батареи. Типы. Устройство. Катализаторы. Принципы работы. Особенности конструкции. Типичные редокс-рекции. Характеристики. Области применения.

## 7. Суперконденсаторы

Понятие о суперконденсаторах. Типы. Принципы работы. Виды. Режимы работы. Емкость. Параметры, влияющие на емкость. Отличие от классических конденсаторов. Тестирование суперконденсатора. Применение

## 8. Топливные элементы

Топливные элементы. Классификация. Общие принципы работы. Понятие о трехфазной границе. Практическое применение ТЭ, история развития. Твердополимерные топливные элементы (ТПТЭ). Принципы и условия работы. Виды топлив. Реакции. Катализаторы. Устройство. Причины деградации ТЭ. Способы оценки деградации электродов в электрохимических источниках энергии. Топливные элементы на основе органических топлив. Типы. Катализаторы. Прямые и побочные реакции. Недостатки и преимущества. Мембранно-электродный блок. Специфика. Особенности конструкции. Характеристики. Области применения. Среднетемпературные топливные элементы. Принципы работы. Основные отличия. Материалы. Рабочие диапазоны температур. Мембранно-электродный блок. Специфика. особенности конструкции. Характеристик. Области применения.

ТОТЭ (Твердооксидные ТЭ). Принципы работы. Основные отличия. Материалы. Рабочие диапазоны температур. Мембранно-электродный блок. Специфика. Характеристики. Коэффициент температурного расширения. Особенности конструкции. Области применения.

Биотопливные элементы. Типы. Принципы работы. Основные отличия. Материалы. Рабочие режимы. субстрат и катализатор, медиатор. Мембранно-электродный блок. Специфика. Характеристики. Особенности конструкции. Области применения.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Учебная аудитория, оснащенная маркерной доской, мультимедийным проектором и экраном. Самостоятельная работа студента обеспечивается доступностью библиотечного фонда, доступом к интернет-ресурсам научных публикаций.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. М.: Химия, 1988. 400 с.
2. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М.: Химия, 2006. 672 с.
3. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981. 360 с.
4. Коровин Н.В., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: МЭИ, 2003. — 740 с.
5. Добровольский Ю.А., Гутерман В.Е., Смирнова Н.В., Лысков Н.В., Фролова Л.А., Куриганова А.Б. Электрохимические накопители и преобразователи энергии: Учебное пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2012. – 76 с.

### Дополнительная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Brett Ch., Brett A. Electrochemistry. Principles, methods, and applications. Oxford University Press. 1994. 444 p.
2. Bard A.J., Faulkner L.R. Electrochemical methods. Fundamentals and applications. 2nd ed. Wiley. 2001. 850 p.
3. Bagotsky V.S., Skundin A.M., Volkovich Yu.M. Electrochemical Power Sources: Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors. N.-Y.: Wiley, 2015. - 400 p.
4. Conway, B. E. Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals and Technological Applications. Springer, 1999.
5. Каменев Ю.Б., Чезлов И.Г. Современные химические источники тока. Гальванические элементы, аккумуляторы, конденсаторы. Учебно-справочное пособие. Санкт-Петербург, СПбГУКиТ, 2009. — 90 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Научная электронная библиотека РФФИ [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
2. Доступ к базам данных WoS

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

При подготовке и чтении лекций может потребоваться следующее программное обеспечение:  
MS Word, MS Power Point.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания при решении заданий текущего контроля успеваемости использовать полученные знания при рассмотрении разных устройств ЭХИТ.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех лекций, предусмотренных программой;
- самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики организованных структур и химических процессов
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	Е.В. Золотухина, д-р хим. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Электрохимические накопители энергии и генераторы. Теория и практика» обучающийся должен:

### знать:

- законы, лежащие в основе работы электрохимических источников энергии (ЭХИТ);
- теоретические основы методов, используемых для характеристики ЭХИТ;
- достоинства и недостатки различных, конструкционные особенности и эксплуатационные характеристики различных ЭХИТ, материалы, использующиеся в ЭХИТ разных типов и их особенности эксплуатации;
- основные поисковые системы, базы данных и ведущие периодические издания по электрохимическим источникам энергии.

### уметь:

- различать основные виды электрохимических источников энергии;
- объяснять принципы работы различных ЭХИТ, выбирать методы их характеристики, - анализировать результаты электрохимических испытаний;
- оценивать целесообразность применения ЭХИТ исходя из строения, электрохимических, химических и технических характеристик;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о работе, перспективах и характеристиках различных ЭХИТ, оценивать перспективы введения в эксплуатацию новых видов электрохимических источников энергии, встраивать известные источники энергии в энергетические технологические схемы.

### владеть:

- основными электрохимическими теориями и концепциями, описывающими принципы работы ЭХИТ;
- основными электрохимическими методами характеристики ЭХИТ;
- навыками моделирования процессов, происходящих в ЭХИТ разных типов;
- навыками к интерпретации и обсуждения результатов проведенного исследования, основываясь на современной литературе по электрохимическим источникам энергии и материалам для них.



### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В начале каждой лекции предусмотрен краткий опрос по теме предыдущей лекции.

### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Первичные источники энергии. Преимущества. Недостатки. Характеристики. Основные и побочные реакции. Типы устройств и их применение.
2. Редокс-батареи. Особенности работы редокс-батарей. Типичные редокс-рекции. Характеристики.
3. Аккумуляторы с воздушными электродами. Типы аккумуляторов. Устройство. Катализаторы. Принципы работы.
4. Вторичные источники тока. Типы. Устройство. Принципы работы. Способность к заряду. Причины саморазряда. Основные характеристики.
5. Особенности литий-ионных аккумуляторов. Устройство. Электроды. Электролиты. Процессы, лежащие в основе работы. Характеристики.
6. Постлитиевые аккумуляторы. Устройство. Электроды. Электролиты. Процессы, лежащие в основе работы. Проблемы.
7. Основные характеристики ЭХИТ. Вольтамперная кривая. Причины падения напряжения
8. Электролизеры. Их типы. Получение водорода электролизным способом. Материалы для электролизеров.
9. Твердополимерные топливные элементы (ТПТЭ). Принципы и условия работы. Виды топлив. Реакции. Катализаторы. Устройство. Причины деградации.
10. Топливные элементы. Классификация. Принципы работы. Понятие о трехфазной границе. Общие принципы работы.
11. Ионисторы. Емкость двойного слоя. Электрохимические реакции на поверхности. Применение.
12. Причины деградации электродов. Способы оценки деградации электродов в электрохимических источниках энергии.
13. Среднетемпературные топливные элементы. Типы. Фосфорно-кислотные ТЭ: принцип работы, основные элементы. Характеристики. Проблемы.
14. Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ): принцип работы, основные элементы. Типы батарей ТОТЭ. Требования к батареям ТОТЭ.
15. Биотопливные элементы. Особенности. Классификация. Устройство. Электроды. Электролиты. Процессы, лежащие в основе работы. Характеристики.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 бала - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 бал - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет выставляется по результатам опроса на коллоквиуме в конце семестра. На подготовку к ответу студенту дается 60 минут.