

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины  
ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.11.02.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 59,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Расчетно-графическая работа</b> <b>Тестирование</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2022**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дуников Д.О.
	Идентификатор	R5400edb9-DunikovDO-1844af7f

(подпись)

Д.О. Дуников

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лукашевский М.В.
	Идентификатор	Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab

(подпись)

М.В.

Лукашевский

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** В изучение физических основ методов аккумуляции энергии, применяемых в современной и перспективной энергетике, включая водородную энергетическую, приобретение практических навыков по расчету и применению энергоустановок, использующих электрохимическое и водородное аккумуляцию энергии

### Задачи дисциплины

- Изучение принципа действия и основных характеристик химических источников тока, применяемых для аккумуляции энергии;
- Приобретение навыков расчета электрохимических систем аккумуляции энергии;
- Изучение принципа действия и основных характеристик систем водородного аккумуляции энергии;
- Освоение методов измерения и измерительной техники, применяемых в экспериментальных установках;
- Приобретение навыков принятия и обоснования конкретных технических решений при последующем конструировании систем аккумуляции энергии для нужд перспективной энергетической, включая водородную энергетическую.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций:**

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Готов анализировать и моделировать технологические процессы, используемые в атомной энергетической, термоядерных исследованиях, плазменных установках	ИД-2ПК-1 Владеет способами решения физико-технических и инженерных проблем современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак как прототипов энергетического термоядерного экспериментального реактора	знать: - Физико-технические основы функционирования химических источников тока, применяемых для аккумуляции энергии; - Физико-технические основы получения, хранения и использования водорода в энергетической.  уметь: - Самостоятельно разбираться в физических принципах действия систем аккумуляции энергии и в методиках расчета энергоустановок на основе химических источников тока и водородных технологий и применять их для решения поставленной задачи; - Осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию о новых технологиях получения и аккумуляции энергии.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетическая и теплофизическая, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основные законы электрических и магнитных явлений
- знать Основы неорганической химии
- знать Основные законы термодинамики и условия их применения
- уметь анализировать различного рода рассуждения, публично выступать, аргументировано вести дискуссию и полемику
- уметь выбирать методы измерения требуемых характеристик в зависимости от конкретных условий
- уметь применять полученные знания для расчета основных характеристик термодинамических процессов и циклов

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Роль аккумулярования энергии в развитии энергетики	10	3	4	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Роль аккумулярования энергии в развитии энергетики", подготовка к контрольному мероприятию №1</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Роль аккумулярования энергии в развитии энергетики" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Роль аккумулярования энергии в развитии энергетики"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], Гл. 20</p>
1.1	Энергия: что это такое и откуда берется?	4		2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
1.2	Энергетика и аккумулярование энергии	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
2	Электрохимическое аккумулярование энергии	30		10	-	6	-	-	-	-	-	14	-	
2.1	Аккумулярование энергии, основы электрохимии	6		2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
2.2	Химические источники тока, топливные элементы	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-		
2.3	Водородные	9	3	-	2	-	-	-	-	-	4	-		



	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>42</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>42</b>	<b>17.7</b>	<b>59.7</b>	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### 3.2 Краткое содержание разделов

#### 1. Роль аккумуляирования энергии в развитии энергетики

##### 1.1. Энергия: что это такое и откуда берется?

Основные определения. Виды энергии. Масштабы энергии. Ископаемые топлива –основа современной энергетики. Изменение климата. Развитие ВИЭ. Основная проблема ВИЭ и нужда в аккумуляировании энергии. Что такое водородная энергетика?.

##### 1.2. Энергетика и аккумуляирование энергии

Трансформация энергетики. Системы накопления электрической энергии, основные определения. Методы накопления энергии в современной энергетике. Аккумуляторные батареи.

#### 2. Электрохимическое аккумуляирование энергии

##### 2.1. Аккумуляирование энергии, основы электрохимии

Место химических источников тока среди прочих методов хранения энергии. Принцип работы электрохимических устройств. Основы электрохимии: электропроводность. Основы электрохимии: электролиты. Гальваническая цепь. Электродный потенциал. Измерение электродного потенциала.

##### 2.2. Химические источники тока, топливные элементы

Принцип работы ХИТ. Окисление водорода электрохимическим методом. Основные принципы работы ТЭ.

##### 2.3. Водородные топливные элементы

Физико-химические принципы работы ТЭ. Уравнение Нернста. Поляризационная кривая. Основные типы водородных ТЭ. Батарея топливных элементов.

##### 2.4. Электролиз воды

Основные принципы и историческая справка. Термодинамика электролиза воды. Виды электролиза. Виды потерь при электролизе. Электролизеры с твердополимерной мембраной.

#### 3. Водородная энергетика

##### 3.1. Понятие водородной энергетики

Предпосылки для развития водородной энергетики. История водородной энергетики. Производство водорода. Паровая конверсия метана, основные принципы.

##### 3.2. Термохимические методы производства водорода

Паровая конверсия метана. Очистка водорода. Прочие термохимические методы.

##### 3.3. Водород как энергоноситель для декарбонизированной энергетики

"Зеленый" водород. Место электролиза воды в развитии современной энергетики. Основные схемы использования водорода для аккумуляирования энергии ВИЭ.

##### 3.4. Проблема хранения и транспортировки водорода

Физические свойства водорода и их связь с его хранением и транспортировкой. Основные модели транспортировки водорода от производителя к потребителю. Водородные баллоны. Подземные хранилища газа.

### 3.5. Компрессия водорода

Компрессия водорода - основа всех процессов транспортировки и хранения. Идеальная работа сжатия газа. Источники потерь при сжатии газа. Термодинамика работы компрессоров, ступенчатая компрессия. Основные типы водородных компрессоров, их области применения.

### 3.6. Жидкий водорода

T-S диаграмма водорода, методы получения низких температур. Идеальная система ожижения. Эффект Джоуля-Томсона, кривая инверсии. Система Линде-Хэмпсона. Более эффективные системы ожижения. Орто-пара переход водорода. Производство жидкого водорода: история, современное состояние и перспективы.

### 3.7. Прочие методы хранения водорода

Химические методы, адсорбция и абсорбция. Металлогидриды. Жидкофазная и газофазная реакции взаимодействия водорода с металлами. Принцип использования металлогидридов для аккумулялирования водорода. Процессы тепломассопереноса в металлогидридах. Использование металлогидридов: хранение, очистка и компрессия водорода, аккумулялирование тепловой энергии, тепловые машины.

### 3.8. Обеспечение безопасности при работе с водородом

Основные принципы обеспечения безопасности при работе с водородом. Водородные сенсоры, физические принципы их работы.

### 3.9. Перспективы развития водородной энергетики и систем аккумулялирования энергии

Трансформация мировой энергетики. Перспективы развития систем хранения энергии. Перспективы развития водородной энергетики. Концепция развития водородной энергетики в России.

## 3.3. Темы практических занятий

1. Методы хранения энергии в современной энергетике: понятие КПД аккумулялирования энергии;
2. Химические источники тока, аккумуляторные батареи: емкость аккумуляторов, вольт-амперная характеристика;
3. Производство и потребление водорода. Электролиз воды и топливные элементы – термодинамический расчет, оценка КПД процесса;
4. Водородное аккумулялирование энергии аналогия между аккумуляторными батареями и водородным аккумулялированием энергии, приготовление интерметаллических сплавов, расчет изотерм сорбции-десорбции водорода;
5. Применение аккумуляторных батарей и перспективные системы: сравнительный расчет параметров различных аккумуляторных батарей.

## 3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)			Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	
<b>Знать:</b>					
Физико-технические основы получения, хранения и использования водорода в энергетике	ИД-2ПК-1	+			Контрольная работа/Химические источники тока. Аккумуляторные батареи.
Физико-технические основы функционирования химических источников тока, применяемых для аккумулирования энергии	ИД-2ПК-1		+		Контрольная работа/Электролиз воды и топливные элементы.
<b>Уметь:</b>					
Осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию о новых технологиях получения и аккумулирования энергии	ИД-2ПК-1			+	Расчетно-графическая работа/Защита расчетного задания "Водородный компрессор"
Самостоятельно разбираться в физических принципах действия систем аккумулирования энергии и в методиках расчета энергоустановок на основе химических источников тока и водородных технологий и применять их для решения поставленной задачи	ИД-2ПК-1			+	Тестирование/Перспективы развития систем аккумулирования энергии и водородной энергетики.

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита расчетного задания "Водородный компрессор" (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Перспективы развития систем аккумулирования энергии и водородной энергетики. (Тестирование)
2. Химические источники тока. Аккумуляторные батареи. (Контрольная работа)
3. Электролиз воды и топливные элементы. (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Роза, А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы : пер. с англ. / А. Роза . – Долгопрудный : Интеллект ; М. : Издательский дом МЭИ, 2010 . – 704 с. - ISBN 978-5-91059-054-9 .;
2. Соренсен, Б. Преобразование, передача и аккумулирование энергии : [учебно-справочное руководство] : пер. с англ. / Б. Соренсен . – Долгопрудный : Интеллект, 2011 . – 296 с. - ISBN 978-5-91559-056-3 .;
3. Бокрис, Дж. О'М. Солнечно-водородная энергия: Сила, способная спасти мир : пер. с англ. / Дж. О'М. Бокрис, Т. Н. Везиролгу, Д. Смит . – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 164 с. - ISBN 5-7046-0904-X .;
4. Пономарев-Степной, Н. Н. Атомно-водородная энергетика. Системные аспекты и ключевые проблемы / Н. Н. Пономарев-Степной, А. Я. Столяревский, В. П. Пахомов . – М. : Энергоатомиздат, 2008 . – 108 с. – (Физико-технические проблемы ядерной энергетики) . - ISBN 978-5-283-00848-6 .;
5. Елистратов В. В.- "Возобновляемая энергетика", Издательство: "СПбГПУ", Санкт-Петербург, 2011 - (239 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=50583](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=50583).

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;

3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. Acrobat Reader.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
2. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
4. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
5. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
6. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для самостоятельной работы	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для консультирования	А-208, Преподавательская	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для	А-025, Кладовка	стеллаж, оборудование специализированное

хранения оборудования и учебного инвентаря	лабораторного оборудования	
--	-------------------------------	--

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Водородная энергетика и аккумулирование энергии

(название дисциплины)

#### 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Химические источники тока. Аккумуляторные батареи. (Контрольная работа)
- КМ-2 Электролиз воды и топливные элементы. (Контрольная работа)
- КМ-3 Защита расчетного задания "Водородный компрессор" (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Перспективы развития систем аккумулирования энергии и водородной энергетики. (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Роль аккумулирования энергии в развитии энергетики					
1.1	Энергия: что это такое и откуда берется?		+			
1.2	Энергетика и аккумулирование энергии		+			
2	Электрохимическое аккумулирование энергии					
2.1	Аккумулирование энергии, основы электрохимии			+		
2.2	Химические источники тока, топливные элементы			+		
2.3	Водородные топливные элементы			+		
2.4	Электролиз воды			+		
3	Водородная энергетика					
3.1	Понятие водородной энергетики				+	
3.2	Термохимические методы производства водорода				+	
3.3	Водород как энергоноситель для декарбонизированной энергетики				+	
3.4	Проблема хранения и транспортировки водорода				+	
3.5	Компрессия водорода				+	

3.6	Жидкий водорода			+	
3.7	Прочие методы хранения водорода				+
3.8	Обеспечение безопасности при работе с водородом				+
3.9	Перспективы развития водородной энергетики и систем аккумуляирования энергии				+
Вес КМ, %:		25	25	30	20