

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

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

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

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

Д.О. Дуников

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

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

М.В.
Лукашевский

Заведующий выпускающей
кафедрой

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

А.В. Дедов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: В изучение физических основ методов аккумулирования энергии, применяемых в современной и перспективной энергетике, включая водородную энергетiku, приобретение практических навыков по расчету и применению энергоустановок, использующих электрохимическое и водородное аккумулирование энергии.

Задачи дисциплины

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

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 энергетике, 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 получения, хранения и использования водорода в энергетике; - Физико-технические основы функционирования химических источников тока, применяемых для аккумулирования энергии. уметь: - Осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию о новых технологиях получения и аккумулирования энергии; - 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.

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 энергетика и теплофизика, 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><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Роль аккумулярования энергии в развитии энергетики", подготовка к контрольному мероприятию №1</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Роль аккумулярования энергии в развитии энергетики" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Роль аккумулярования энергии в развитии энергетики"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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	-		

	топливные элементы														<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Электрохимическое аккумулятивное энергетическое устройство"
2.4	Электролиз воды	9	3	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-		<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], Гл. 4.2
3	Водородная энергетика	50	18	-	8	-	-	-	-	-	-	24	-		<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Водородная энергетика", подготовка к защите результатов расчетного задания (контрольное мероприятие №3) и заключительному тесту (контрольное мероприятие №4)
3.1	Понятие водородной энергетики	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-		<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Водородная энергетика" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.2	Термохимические методы производства водорода	8	2	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-		<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Водородная энергетика"
3.3	Водород как энергоноситель для декарбонизированной энергетике	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-		<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Водородная энергетика". Студентам необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: расчет двухступенчатого компрессора водорода
3.4	Проблема хранения и транспортировки водорода	6	2	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-		<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Гл. 7.3 [3], Гл. 1 [4], Гл. 1
3.5	Компрессия водорода	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-		
3.6	Жидкий водорода	8	2	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-		
3.7	Прочие методы хранения водорода	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
3.8	Обеспечение безопасности при работе с водородом	6	2	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-		
3.9	Перспективы развития водородной энергетике и систем аккумулятивного энергетике	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	

	Всего за семестр	108.0		32	-	16	-	-	-	-	0.3	42	17.7	
	Итого за семестр	108.0		32	-	16	-	-	-	0.3	42	17.7	59.7	

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 аккумулирования 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 аккумулировании энергии. Что такое водородная энергетика?.

1.2. Энергетика и аккумулирование энергии

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

2. Электрохимическое аккумулирование энергии

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

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	
Знать:					
Физико-технические основы функционирования химических источников тока, применяемых для аккумулирования энергии	ИД-2ПК-1		+		Контрольная работа/Электролиз воды и топливные элементы.
Физико-технические основы получения, хранения и использования водорода в энергетике	ИД-2ПК-1	+			Контрольная работа/Химические источники тока. Аккумуляторные батареи.
Уметь:					
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.
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"

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.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

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

3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
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 энергетике					
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 энергетике				+	
3.2	Термохимические методы производства водорода				+	
3.3	Водород как энергоноситель для декарбонизированной энергетике				+	
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