

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

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Автономные энергетические системы. Водородная и электрохимическая энергетика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.03.03
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 2;
Часов (всего) по учебному плану:	72 часа
Лекции	не предусмотрено учебным планом
Практические занятия	1 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	1 семестр - 39,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	1 семестр - 0,3 часа;

Москва 2026

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Блинов Д.В.
	Идентификатор	R07cd0a36-BlinovDV-2a7575e4

Д.В. Блинов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ланская И.И.
	Идентификатор	R3db6324d-Lanskyall-6f410db9

И.И. Ланская

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кулешов Н.В.
	Идентификатор	Re9c42de9-KuleshovNV-bc390ed6

Н.В. Кулешов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение основных направлений развития водородной энергетики, изучение принципов и технологий производства, транспортировки, хранения и потребления водорода, получение знаний об основах расчета и анализа различных водородных энергетических установок.

Задачи дисциплины

- изучение методов производства, хранения и транспортировки водорода;
- изучение составных элементов электрохимических энергоустановок различных типов;
- изучение процессов, протекающих в электрохимических энергоустановках различных типов;
- овладение методиками расчета и анализа систем хранения водорода;
- овладение методиками расчета и анализа систем транспортирования водорода;
- овладение методиками расчетов и анализа процессов в электрохимических энергоустановках и выбора оптимальных решений.

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 Способен выполнять разработку и модернизацию объектов теплоэнергетики и теплотехники с учетом современных проблем теплоэнергетики, экологической безопасности и с технико-экономическим обоснованием принимаемых решений	ИД-1 _{ПК-1} Выполняет анализ современных проблем теплоэнергетики и теплотехники	знать: - общие закономерности химических процессов в водородных электрохимических системах; основные свойства газообразного, жидкого и атомарного водорода; подходы к разработке водород-аккумулирующих и водород-генерирующих материалов; достоинства и недостатки различных способов хранения и транспортировки водорода; параметры и проблемы электрохимических энергоустановок и их подсистем; основные методы производства, хранения и транспортировки водорода; - параметры и проблемы основных типов электрохимических установок и их подсистем, анализировать основные виды потерь энергии в электрохимических энергоустановках и способы их уменьшения, анализировать параметры основных способов хранения и транспортировки водорода. уметь: - проводить термодинамические расчеты химических процессов, определять условия самопроизвольного протекания химических процессов; проводить расчеты основных параметров систем хранения и транспортировки водорода, проводить

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		анализ полученных данных; - проводить расчеты основных параметров, сравнение и выбор с технико-экономической точки зрения оптимальных способов получения, хранения и транспорта водорода.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Автономные энергетические системы. Водородная и электрохимическая энергетика (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать «Высшая математика», «Физика», «Химия», «Физическая химия», «Информационные технологии»
- уметь формулировать основные физические и химические законы; описывать физические и химические явления и процессы, используя научную терминологию; опознавать в природных явлениях известные физические и химические модели и процессы;
- уметь применять для решения задач основные физические и химические законы анализировать физический смысл полученных результатов.

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 2 зачетных единицы, 72 часа.

№ 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	Технологии производства водорода	23	1	-	-	10	-	-	-	-	-	13	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Технологии производства водорода" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Технологии производства водорода" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 28-50
1.1	Расчет параметров систем производства водорода	23		-	-	10	-	-	-	-	-	13	-	
2	Использование водорода в топливных элементах	23		-	-	10	-	-	-	-	-	13	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Использование водорода в топливных элементах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Использование водорода в топливных элементах" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 6-200
2.1	Расчет основных параметров и характеристик топливных элементов	23		-	-	10	-	-	-	-	-	13	-	
3	Технологии хранения и транспортировки водорода	25.7		-	-	12	-	-	-	-	-	-	13.7	-

3.1	Расчет основных параметров систем хранения и транспортировки водорода	25.7		-	-	12	-	-	-	-	-	13.7	-	подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Технологии хранения и транспортировки водорода" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 6-90
	Зачет с оценкой	0.3		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	72.0		-	-	32	-	-	-	-	0.3	39.7	-	
	Итого за семестр	72.0		-	-	32	-	-	-	-	0.3	39.7	-	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Технологии производства водорода

1.1. Расчет параметров систем производства водорода

Расчет потенциалов электродов и ЭДС электрохимических систем. Закон Фарадея. Расчет параметров электрохимических систем производства водорода. Расчет параметров конверсии органических топлив. Расчет параметров газификации угля..

2. Использование водорода в топливных элементах

2.1. Расчет основных параметров и характеристик топливных элементов

Расчет основных электрохимических параметров и характеристик топливного элемента. Расчет термодинамического и эксергетического КПД топливных элементов. Тепловой и материальный расчеты топливного элемента. Подбор топливного элемента и основных компонентов для автономной системы энергоснабжения.

3. Технологии хранения и транспортировки водорода

3.1. Расчет основных параметров систем хранения и транспортировки водорода

Хранение водорода. Расчет систем водородного аккумулирования энергии. Связанное хранение водорода. Преимущества и недостатки. Расчет металлгидридной системы хранения водорода. Транспортирование водорода. Расчет основных параметров систем транспортировки водорода..

3.3. Темы практических занятий

1. Связанное хранение водорода. Преимущества и недостатки. Расчет металлгидридной системы хранения водорода;
2. Хранение водорода. Расчет систем водородного аккумулирования энергии;
3. Подбор топливного элемента и основных компонентов для автономной системы энергоснабжения;
4. Расчет основных электрохимических параметров и характеристик топливного элемента;
5. Расчет параметров конверсии органических топлив;
6. Закон Фарадея;
7. Тепловой и материальный расчеты топливного элемента;
8. Расчет потенциалов электродов и ЭДС электрохимических систем;
9. Расчет параметров газификации угля;
10. Расчет термодинамического и эксергетического КПД топливных элементов;
11. Расчет параметров электрохимических систем производства водорода;
12. Транспортирование водорода. Расчет основных параметров систем транспортировки водорода.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Технологии производства водорода"

2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Использование водорода в топливных элементах"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Технологии хранения и транспортировки водорода"

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:					
параметры и проблемы основных типов электрохимических установок и их подсистем, анализировать основные виды потерь энергии в электрохимических энергоустановках и способы их уменьшения, анализировать параметры основных способов хранения и транспортировки водорода	ИД-1ПК-1			+	Тестирование/Технологии хранения и транспортировки водорода
общие закономерности химических процессов в водородных электрохимических системах; основные свойства газообразного, жидкого и атомарного водорода; подходы к разработке водород-аккумулирующих и водород-генерирующих материалов; достоинства и недостатки различных способов хранения и транспортировки водорода; параметры и проблемы электрохимических энергоустановок и их подсистем; основные методы производства, хранения и транспортировки водорода	ИД-1ПК-1	+			Тестирование/Технологии производства водорода
Уметь:					
проводить расчеты основных параметров, сравнение и выбор с технико-экономической точки зрения оптимальных способов получения, хранения и транспорта водорода	ИД-1ПК-1	+			Тестирование/Технологии производства водорода
проводить термодинамические расчеты химических процессов, определять условия самопроизвольного протекания химических процессов; проводить расчеты основных параметров систем хранения и транспортировки водорода, проводить анализ полученных данных	ИД-1ПК-1		+		Контрольная работа/Использование водорода в топливных элементах

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

1 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Использование водорода в топливных элементах (Контрольная работа)
2. Технологии производства водорода (Тестирование)
3. Технологии хранения и транспортировки водорода (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №1)

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Хранение и транспортировка водорода : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров 13.03.01 и 13.04.01 "Теплоэнергетика и теплотехника" / Д. В. Блинов, Н. В. Кулешов, Ю. А. Славнов, В. И. Борзенко, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – Москва : Изд-во МЭИ, 2021. – 100 с. – ISBN 978-5-7046-2416-5. <http://elibrary.mpei.ru/elibrary/view.php?id=11571>;
2. Коровин, Н. В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки / Н. В. Коровин. – М. : Изд-во МЭИ, 2005. – 280 с. – ISBN 5-7046-1185-0.;
3. Коровин Н. В., Кулешов Н. В., Гончарук О. Н., Камышова В. К., Ланская И. И., Мясникова Н. В., Осина М. А., Удрис Е. Я., Яштулов Н. А.- "Общая химия. Теория и задачи", (3-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2018 - (492 с.) <https://e.lanbook.com/book/104946>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>

5. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
6. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
7. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
8. Журналы издательства Wiley - <https://onlinelibrary.wiley.com/>
9. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
10. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
11. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
12. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
13. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-409, Учебная аудитория каф. "ХиЭЭ"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-409, Учебная аудитория каф. "ХиЭЭ"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	А-413/7, Кабинет сотрудников каф. "ХиЭЭ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, шкаф для документов, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	А-413/9, Методический кабинет каф. "ХиЭЭ"	рабочее место сотрудника, стол, стол письменный, набор инструментов для профилактического обслуживания оборудования, инвентарь учебный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Водородная энергетика

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Технологии производства водорода (Тестирование)

КМ-2 Использование водорода в топливных элементах (Контрольная работа)

КМ-3 Технологии хранения и транспортировки водорода (Тестирование)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3
		Неделя КМ:	5	10	15
1	Технологии производства водорода				
1.1	Расчет параметров систем производства водорода		+		
2	Использование водорода в топливных элементах				
2.1	Расчет основных параметров и характеристик топливных элементов			+	
3	Технологии хранения и транспортировки водорода				
3.1	Расчет основных параметров систем хранения и транспортировки водорода				+
Вес КМ, %:			35	30	35