

**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: Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

<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.11.03.03</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>1 семестр - 2;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>72 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>1 семестр - 32 часа;</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>1 семестр - 39,7 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>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>1 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**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	Горелов М.В.
	Идентификатор	Re923e979-GorelovMV-5a218dd2

М.В. Горелов

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Гаряев А.Б.
	Идентификатор	R75984319-GariayevAB-a6831ea7

А.Б. Горяев

## 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 <sub>ПК-1</sub> Выполняет анализ современных проблем теплоэнергетики и теплотехники	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 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;</li><li>- 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.</li></ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- проводить расчеты основных параметров, сравнение и выбор с технико-экономической точки зрения оптимальных способов получения, хранения и транспорта водорода;</li><li>- проводить термодинамические расчеты химических процессов,</li></ul>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		определять условия самопроизвольного протекания химических процессов; проводить расчеты основных параметров систем хранения и транспортировки водорода, проводить анализ полученных данных.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки (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	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Технологии производства водорода" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Технологии производства водорода"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], стр. 28-50</p>
1.1	Расчет параметров систем производства водорода	23		-	-	10	-	-	-	-	-	13	-	
2	Использование водорода в топливных элементах	23		-	-	10	-	-	-	-	-	13	-	
2.1	Расчет основных параметров и характеристик топливных элементов	23		-	-	10	-	-	-	-	-	13	-	
3	Технологии хранения и транспортировки водорода	25.7		-	-	12	-	-	-	-	-	13.7	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Технологии хранения и транспортировки водорода"</p>

3.1	Расчет основных параметров систем хранения и транспортировки водорода	25.7	-	-	12	-	-	-	-	-	13.7	-	подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Технологии хранения и транспортировки водорода" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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. Тепловой и материальный расчеты топливного элемента;
5. Расчет параметров газификации угля;
6. Расчет параметров электрохимических систем производства водорода;
7. Закон Фарадея;
8. Расчет потенциалов электродов и ЭДС электрохимических систем;
9. Расчет основных электрохимических параметров и характеристик топливного элемента;
10. Расчет термодинамического и эксергетического КПД топливных элементов;
11. Расчет параметров конверсии органических топлив;
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	
<b>Знать:</b>					
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
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
<b>Уметь:</b>					
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
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

## **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://elibr.mpei.ru/elibr/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](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-201, Компьютерный читальный зал	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