

**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**  
**АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ВОДОРОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ**  
**СИСТЕМ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.05.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 2;
Часов (всего) по учебному плану:	72 часа
Лекции	не предусмотрено учебным планом
Практические занятия	3 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 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	
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	Маленков А.С.
	Идентификатор	R3cd28c4c-MalenkovAS-de247da

А.С. Маленков

**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 основ анализа и оптимизации водородных энергетических систем различной конфигурации..

### Задачи дисциплины

- изучение основных особенностей и технологических барьеров и ограничений развития технологий водородной энергетики;;
- изучение характеристик основных водородных технологий по всей цепочке преобразования водорода от производства до потребления;;
- освоение методики синтеза и анализа энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем;;
- освоение методик оценки себестоимости производства водорода различными способами и технико-экономического обоснования выбора конфигурации водородной энергетической системы..

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	знать: - особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики;; - характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования водорода от производства до потребления;.  уметь: - синтезировать и анализировать энергетическую и экологическую эффективность водородной энергетической системы;; - оценивать себестоимость производства водорода различными способами и проводить технико-экономическое обоснование выбора конфигурации водородной энергетической системы..

## 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.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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	Особенности и технологические барьеры и ограничения развития водородной энергетики	18	3	-	-	8	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 10-28</p>
1.1	Перспективы развития водородной энергетики	9		-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	
1.2	Основные концепции развития водородной энергетики	9		-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	
2	Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии	18		-	-	8	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 383-402</p>
2.1	Производство и потребление водорода	9		-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	
2.2	Хранение и транспортировка водорода	9		-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	

3	Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем	18	-	-	8	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем"
3.1	Синтез водородных энергетических систем	9	-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	дополнительного материала по разделу "Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем"
3.2	Анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем	9	-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 471-477, 479-481, 520-532
4	Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы	17.7	-	-	8	-	-	-	-	-	9.7	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы"
4.1	Оценка себестоимости производства водорода	9	-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	дополнительного материала по разделу "Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы"
4.2	ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы	8.7	-	-	4	-	-	-	-	-	4.7	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 175-184, 211-214
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>72.0</b>	-	-	<b>32</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>39.7</b>	-	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>72.0</b>	-	-	<b>32</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>39.7</b>	-	

**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. Особенности и технологические барьеры и ограничения развития водородной энергетики

##### 1.1. Перспективы развития водородной энергетики

Долгосрочные прогнозы изменения потребления углеводородов в качестве топлива. Меры поддержки развития водородной энергетики в РФ и за рубежом.

##### 1.2. Основные концепции развития водородной энергетики

Развитие локальных производств водорода. Концепция power-to-X.

#### 2. Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии

##### 2.1. Производство и потребление водорода

Технологические схемы электролиза и конверсии природного газа. Технологические схемы потребителей водорода.

##### 2.2. Хранение и транспортировка водорода

Особенности систем хранения водорода, основанных на физических методах удержания водорода. Особенности систем хранения водорода, основанных на химических методах удержания водорода.

#### 3. Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем

##### 3.1. Синтез водородных энергетических систем

Принципы построения цепочек производство-потребление водорода. Мероприятия по повышению эффективности водородных систем.

##### 3.2. Анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем

Расчет показателей энергетической эффективности водородных систем. Расчет показателей экологической эффективности водородных систем.

#### 4. Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы

##### 4.1. Оценка себестоимости производства водорода

Анализ структуры затрат на производство водорода. Построение экономической модели для оценки себестоимости водорода.

##### 4.2. ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы

Построение экономической модели для проведения комплексного ТЭО.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Перспективы развития водородной энергетики;
2. Основные концепции развития водородной энергетики;
3. Производство и потребление водорода;
4. Хранение и транспортировка водорода;

5. Синтез водородных энергетических систем;
6. Анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем;
7. Оценка себестоимости производства водорода;
8. ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы"

### **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	4	
<b>Знать:</b>						
характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования водорода от производства до потребления;	ИД-1ПК-1		+			Тестирование/Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии
особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики;	ИД-1ПК-1	+				Тестирование/Особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики
<b>Уметь:</b>						
оценивать себестоимость производства водорода различными способами и проводить технико-экономическое обоснование выбора конфигурации водородной энергетической системы.	ИД-1ПК-1			+		Тестирование/Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем
синтезировать и анализировать энергетическую и экологическую эффективность водородной энергетической системы;	ИД-1ПК-1				+	Тестирование/Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы

## **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: Билеты (письменный опрос)

1. Особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики (Тестирование)
2. Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы (Тестирование)
3. Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем (Тестирование)
4. Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о БАРС НИУ "МЭИ".

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. Водородная энергетика : учебное издание для реализации основных образовательных программ высшего образования по направлению 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника" / Н. В. Кулешов, С. К. Попов, С. В. Захаров, [и др.], Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") ; ред. Н. В. Кулешов. – Москва : Изд-во МЭИ, 2021. – 548 с. – Авторы указаны на обороте тит. л. – Книга-победитель конкурса рукописей учебной, научно-технической и справочной литературы по энергетике, посвящ. 90-летию МЭИ и 100-летию плана ГОЭЛРО. – ISBN 978-5-7046-2438-7.

[http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=11772;](http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=11772)

2. Экономика и управление в энергетике : учебник для магистров вузов по направлению 080200 "Менеджмент" / общ. ред. Н. Г. Любимова, Е. С. Петровский. – М. : Юрайт, 2017. – 485 с. – (Магистр). – ISBN 978-5-9916-3319-2.;

3. Арутюнов, В. С. Окислительная конверсия природного газа / В. С. Арутюнов ; Отв. ред. А. Л. Лапидус ; Ин-т химической физики им. Н. Н. Семенова Рос. акад. наук. – М. : Эдиториал УРСС, 2011. – 640 с. – ISBN 978-5-396-00332-3.;

4. Б. Н. Кузык, В. И. Кушлин, Ю. В. Яковец- "На пути к водородной энергетике", Издательство: "Институт экономических стратегий", Москва, 2005 - (160 с.)

[https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=63787.](https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=63787)

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

## 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. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
6. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
7. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
8. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Г-407, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Г-407, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
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	В-208, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ПТС"	кресло рабочее, стол преподавателя, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, доска маркерная, компьютер персональный, холодильник
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-206, Кабинет сотрудников каф. "ПТС"	стул, шкаф для документов, стол письменный, кондиционер, дипломные и курсовые работы студентов

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Анализ и оптимизация водородных энергетических систем

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики (Тестирование)
- КМ-2 Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии (Тестирование)
- КМ-3 Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем (Тестирование)
- КМ-4 Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы (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	Особенности и технологические барьеры и ограничения развития водородной энергетики					
1.1	Перспективы развития водородной энергетики		+			
1.2	Основные концепции развития водородной энергетики		+			
2	Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии					
2.1	Производство и потребление водорода			+		
2.2	Хранение и транспортировка водорода			+		
3	Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем					
3.1	Синтез водородных энергетических систем				+	
3.2	Анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем				+	
4	Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы					
4.1	Оценка себестоимости производства водорода					+
4.2	ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

