

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 2023

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 _{ПК-1} 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><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем" <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> 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	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 471-477, 479-481, 520-532
4	Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы	17.7	-	-	8	-	-	-	-	-	9.7	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы" <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> 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	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 175-184, 211-214
	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. 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	
Знать:						
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
Уметь:						
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
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

