

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
ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.04.03
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 2;
Часов (всего) по учебному плану:	72 часа
Лекции	не предусмотрено учебным планом
Практические занятия	2 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	2 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	2 семестр - 0,3 часа;

Москва 2026

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Климова М.А.
	Идентификатор	R65e6a946-KlimovaMA-47ce202b

М.А. Климова

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: ознакомиться с физико-химическими основами процессов, протекающих в электрохимических энергоустановках а именно в топливных элементах.

Задачи дисциплины

- изучение различных топливных элементов;
- изучение конструкции и основных компонентов топливного элемента;
- овладение методиками расчетов и анализа процессов в электрохимических энергоустановках и выбора оптимальных решений;
- расчет необходимой мощности для энергосистем на топливных элементах.

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-1ПК-1 Выполняет анализ современных проблем теплоэнергетики и теплотехники	знать: - основные термины, определения и понятия в области водородной и электрохимической энергетики; - принцип действия и основы конструктивного выполнения электрохимических энергоустановок; - общие закономерности химических процессов в водородных электрохимических системах; - основы математического анализа. уметь: - анализировать электрохимические процессы в установках водородной энергетики; - рассчитывать и анализировать параметры электрохимических энергоустановок на основе топливных элементов; - представлять результаты выполненной работы.

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 анализировать зарубежную и отечественную научно-техническую информацию

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	Топливные элементы	23	2	-	-	10	-	-	-	-	-	13	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Топливные элементы" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Топливные элементы" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 18-24 [4], 53-148 [5], 72-83	
1.1	Типы топливных элементов	23		-	-	10	-	-	-	-	-	13	-		
2	Характеристики топливных элементов	25.7		-	-	12	-	-	-	-	-	-	13.7	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Характеристики топливных элементов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Характеристики топливных элементов" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 28-50 [4], 62-91 [5], 83-88
2.1	Термодинамика, эффективность и реальные характеристики работы топливных элементов.	25.7		-	-	12	-	-	-	-	-	-	13.7	-	
3	Системы на	23		-	-	10	-	-	-	-	-	13	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>	

	топливных элементах и их применение												Изучение материала по разделу "Системы на топливных элементах и их применение."
3.1	Моделирование топливных элементов	10		-	-	4	-	-	-	-	6	-	подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.2	Конструкции систем топливных элементов и их применение.	13		-	-	6	-	-	-	-	7	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Системы на топливных элементах и их применение." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 1-120 [4], 192-255 [5], 189-191 [6], 18-60
	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; 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. Топливные элементы

1.1. Типы топливных элементов

Топливный элемент с полимерным электролитом. Щелочной топливный элемент. Фосфорнокислотный топливный элемент. Топливный элемент с расплавленным карбонатом. Твердооксидный топливный элемент.. Рабочий диапазон температур, тип топлива, состав электролита, химические реакции. Конструкция топливных элементов. Преимущества и недостатки..

2. Характеристики топливных элементов

2.1. Термодинамика, эффективность и реальные характеристики работы топливных элементов.

Теплота сгорания, эффективность топливных элементов, влияние давления и температуры на изменение энтальпии и свободной энергии в электрохимических реакциях. Вольт-амперные характеристики топливных элементов..

3. Системы на топливных элементах и их применение

3.1. Моделирование топливных элементов

Термодинамические модели топливных элементов, модели ячеек и батарей, модели электродов..

3.2. Конструкции систем топливных элементов и их применение.

Системы твердополимерных топливных элементов. Системы твердооксидных топливных элементов работающих на природном газе. Выработка электроэнергии с помощью комбинированной системы топливных элементов и газотурбинных установок. Циклы рекуперации тепла и топлива..

3.3. Темы практических занятий

1. Системы твердополимерных топливных элементов. Системы твердооксидных топливных элементов работающих на природном газе.;
2. Термодинамические модели топливных элементов, модели ячеек и батарей, модели электродов.;
3. Теплота сгорания, эффективность топливных элементов, влияние давления и температуры на изменение энтальпии и свободной энергии в электрохимических реакциях.;
4. Топливный элемент с расплавленным карбонатом.;
5. Щелочной топливный элемент.;
6. Конструкция топливных элементов. Преимущества и недостатки.;
7. Фосфорнокислотный топливный элемент.;
8. Топливный элемент с полимерным электролитом.;
9. Вводное занятие;
10. Вольт-амперные характеристики топливных элементов.;
11. Рабочий диапазон температур, тип топлива, состав электролита, химические реакции.;
12. Твердооксидный топливный элемент.;
13. Выработка электроэнергии с помощью комбинированной системы топливных элементов и газотурбинных установок. Циклы рекуперации тепла и топлива..

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Топливные элементы"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Характеристики топливных элементов"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Системы на топливных элементах и их применение."

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:					
основы математического анализа	ИД-1ПК-1			+	Тестирование/Системы на топливных элементах и их применение
общие закономерности химических процессов в водородных электрохимических системах	ИД-1ПК-1		+		Контрольная работа/Характеристики топливных элементов
основные термины, определения и понятия в области водородной и электрохимической энергетики; принцип действия и основы конструктивного выполнения электрохимических энергоустановок	ИД-1ПК-1	+			Тестирование/Топливные элементы
Уметь:					
представлять результаты выполненной работы	ИД-1ПК-1			+	Тестирование/Системы на топливных элементах и их применение
рассчитывать и анализировать параметры электрохимических энергоустановок на основе топливных элементов	ИД-1ПК-1	+			Тестирование/Топливные элементы
анализировать электрохимические процессы в установках водородной энергетики	ИД-1ПК-1		+		Контрольная работа/Характеристики топливных элементов

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Системы на топливных элементах и их применение (Тестирование)
2. Топливные элементы (Тестирование)
3. Характеристики топливных элементов (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №2)

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. 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>;
2. Климова, М. А. Исследование и разработка батарей водород-воздушных топливных элементов с протонообменной мембраной и открытым катодом: 02.00.05 "Электрохимия" : автореферат кандидата технических наук / М. А. Климова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – Москва, 2020. – 20 с.
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=11479>;
3. Волощенко, Г. Н. Электролизеры и топливные элементы с твердооксидным электролитом и энергоустановки на их основе : учебное пособие по курсу "Основы инженерного проектирования высокотемпературных электрохимических энергоустановок" по направлению "Теплоэнергетика", специализация "Электрохимическая и водородная энергетика" / Г. Н. Волощенко, Н. В. Коровин, Ю. А. Славнов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Издательский дом МЭИ, 2010. – 44 с. – ISBN 978-5383-00456-2.
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=1486>;
4. Коровин, Н. В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки / Н. В. Коровин. – М. : Изд-во МЭИ, 2005. – 280 с. – ISBN 5-7046-1185-0.;
5. Нефедкин, С. И. Автономные энергетические установки и системы : учебное пособие по курсу "Автономные энергоустановки и системы" по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / С. И. Нефедкин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2018. – 218 с. – ISBN 978-5-7046-1847-8.
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10105>;
6. Кулешов, Н. В. Электрохимические технологии в водородной энергетике : учебное пособие по курсу "Водородная и электрохимическая энергетика" по направлению

"Теплоэнергетика" / Н. В. Кулешов, С. А. Григорьев, В. Н. Фатеев, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 116 с. – ISBN 978-5-383-00069-4..

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. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
8. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
9. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
10. Журналы издательства Wiley - <https://onlinelibrary.wiley.com/>
11. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
12. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
13. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
14. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
15. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
16. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.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

Топливные элементы

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Топливные элементы (Тестирование)

КМ-2 Характеристики топливных элементов (Контрольная работа)

КМ-3 Системы на топливных элементах и их применение (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	Топливные элементы				
1.1	Типы топливных элементов		+		
2	Характеристики топливных элементов				
2.1	Термодинамика, эффективность и реальные характеристики работы топливных элементов.			+	
3	Системы на топливных элементах и их применение				
3.1	Моделирование топливных элементов				+
3.2	Конструкции систем топливных элементов и их применение.				+
Вес КМ, %:			35	32	33