

**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: Эффективные теплоэнергетические системы предприятий и ЖКХ

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**


<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.12.04.04
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	2 семестр - 2;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	72 часа
<b>Лекции</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Практические занятия</b>	2 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>Самостоятельная работа</b>	2 семестр - 39,7 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Тестирование Контрольная работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	2 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)


М.А. Климова

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яворовский Ю.В.
	Идентификатор	R7e35b260-YavorovskyYV-dabb149

(подпись)


Ю.В.

Яворовский

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яворовский Ю.В.
	Идентификатор	R7e35b260-YavorovskyYV-dabb149

(подпись)

Ю.В.

Яворовский

(расшифровка подписи)

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

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

	топливных элементах и их применение												Изучение материала по разделу "Системы на топливных элементах и их применение." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Системы на топливных элементах и их применение." <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 1-120 [4], 192-255 [5], 189-191 [6], 18-60
3.1	Моделирование топливных элементов	10	-	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
3.2	Конструкции систем топливных элементов и их применение.	13	-	-	6	-	-	-	-	-	7	-	
	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; 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. Топливный элемент с полимерным электролитом.;
2. Щелочной топливный элемент.;
3. Фосфорнокислотный топливный элемент.;
4. Топливный элемент с расплавленным карбонатом.;
5. Твердооксидный топливный элемент.;
6. Вольт-амперные характеристики топливных элементов.;
7. Конструкция топливных элементов. Преимущества и недостатки.;
8. Теплота сгорания, эффективность топливных элементов, влияние давления и температуры на изменение энтальпии и свободной энергии в электрохимических реакциях.;
9. Термодинамические модели топливных элементов, модели ячеек и батарей, модели электродов.;
10. Системы твердополимерных топливных элементов. Системы твердооксидных топливных элементов работающих на природном газе.;
11. Выработка электроэнергии с помощью комбинированной системы топливных элементов и газотурбинных установок. Циклы рекуперации тепла и топлива.;
12. Рабочий диапазон температур, тип топлива, состав электролита, химические реакции.;
13. Вводное занятие.

### **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	
<b>Знать:</b>					
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
общие закономерности химических процессов в водородных электрохимических системах	ИД-1ПК-1		+		Контрольная работа/Характеристики топливных элементов
основы математического анализа	ИД-1ПК-1			+	Тестирование/Системы на топливных элементах и их применение
<b>Уметь:</b>					
анализировать электрохимические процессы в установках водородной энергетики	ИД-1ПК-1		+		Контрольная работа/Характеристики топливных элементов
рассчитывать и анализировать параметры электрохимических энергоустановок на основе топливных элементов	ИД-1ПК-1	+			Тестирование/Топливные элементы
представлять результаты выполненной работы	ИД-1ПК-1			+	Тестирование/Системы на топливных элементах и их применение

## **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://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11479](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1486](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10105](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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. Майнд Видеоконференции.

### **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. 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
	отсутствует	

## 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