

**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**

|   |   |
|---|---|
| <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.10.04.03</b>  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>                            | <b>2 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>2 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>2 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><br><b>Тестирование</b><br><b>Контрольная работа</b> |   |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>                                    |   |
| <b>Зачет с оценкой</b>  | <b>2 семестр - 0,3 часа;</b>                                    |

**Москва 2025**

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

## 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                | -                                 | <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br/>Изучение материала по разделу "Топливные элементы" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях<br/><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Топливные элементы"<br/><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[3], 18-24<br/>[4], 53-148<br/>[5], 72-83</p> |
| 1.1   | Типы топливных элементов   | 23                    |         | -  | -   | 10 | -            | - | -   | -  | -  | 13                | -                                 |   |
| 2     | Характеристики топливных элементов   | 25.7                  |         | -  | -   | 12 | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 13.7                              |   |
| 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."<br>подготовка к выполнению заданий на практических занятиях<br><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Системы на топливных элементах и их применение."<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[2], 1-120<br>[4], 192-255<br>[5], 189-191<br>[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. Выработка электроэнергии с помощью комбинированной системы топливных элементов и газотурбинных установок. Циклы рекуперации тепла и топлива.;
2. Системы твердополимерных топливных элементов. Системы твердооксидных топливных элементов работающих на природном газе.;
3. Термодинамические модели топливных элементов, модели ячеек и батарей, модели электродов.;
4. Теплота сгорания, эффективность топливных элементов, влияние давления и температуры на изменение энтальпии и свободной энергии в электрохимических реакциях.;
5. Топливный элемент с расплавленным карбонатом.;
6. Щелочной топливный элемент.;
7. Твердооксидный топливный элемент.;
8. Фосфорнокислотный топливный элемент.;
9. Топливный элемент с полимерным электролитом.;
10. Конструкция топливных элементов. Преимущества и недостатки.;
11. Вводное занятие;
12. Вольт-амперные характеристики топливных элементов.;
13. Рабочий диапазон температур, тип топлива, состав электролита, химические реакции..

### **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<br>(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://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](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   |