

**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**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Топливные элементы**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|  |                                                    |                              |
|--|----------------------------------------------------|------------------------------|
|  | 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                                           | Яворовский Ю.В.                |
|  | Идентификатор                                      | R7e35b260-YavorovskyYV-dabb149 |

Ю.В.  
Яворовский

Заведующий  
выпускающей  
кафедрой

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

Ю.В.  
Яворовский

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. 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 Выполняет анализ современных проблем теплоэнергетики и теплотехники

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

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

### БРС дисциплины

2 семестр

| Раздел дисциплины                                                                  | Веса контрольных мероприятий,<br>% |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------|------|------|
|                                                                                    | Индекс<br>КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 |
|                                                                                    | Срок КМ:                           | 5    | 10   | 15   |
| Топливные элементы                                                                 |                                    |      |      |      |
| Типы топливных элементов                                                           |                                    | +    |      |      |
| Характеристики топливных элементов                                                 |                                    |      |      |      |
| Термодинамика, эффективность и реальные характеристики работы топливных элементов. |                                    |      | +    |      |
| Системы на топливных элементах и их применение                                     |                                    |      |      |      |
| Моделирование топливных элементов                                                  |                                    |      |      | +    |
| Конструкции систем топливных элементов и их применение.                            |                                    |      |      | +    |
| Вес КМ:                                                                            |                                    | 35   | 32   | 33   |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор                                                                       | Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Контрольная точка                                                                                                                                             |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1               | ИД-1ПК-1<br>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; принцип действия и основы конструктивного выполнения электрохимических энергоустановок<br>Уметь:<br>представлять результаты выполненной работы<br>рассчитывать и анализировать параметры электрохимических энергоустановок на основе | Топливные элементы (Тестирование)<br>Характеристики топливных элементов (Контрольная работа)<br>Системы на топливных элементах и их применение (Тестирование) |

|  |  |                                                                                                             |  |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | топливных элементов<br>анализировать<br>электрохимические<br>процессы в установках<br>водородной энергетики |  |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

## **II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания**

### **КМ-1. Топливные элементы**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменный тест по теме «Топливные элементы»

#### **Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области топливных элементов.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основные термины, определения и понятия в области водородной и электрохимической энергетики; принцип действия и основы конструктивного выполнения электрохимических энергоустановок | 1. Укажите диапазон рабочих температур для твердооксидного топливного элемента?<br>2. Напишите реакции на аноде и катоде для метанольного топливного элемента?<br>3. Назовите основные типы топливных элементов? |
| Уметь: рассчитывать и анализировать параметры электрохимических энергоустановок на основе топливных элементов                                                                              | 1. Из чего состоит мембранно-электродный блок твердополимерного топливного элемента?                                                                                                                             |

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### **КМ-2. Характеристики топливных элементов**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

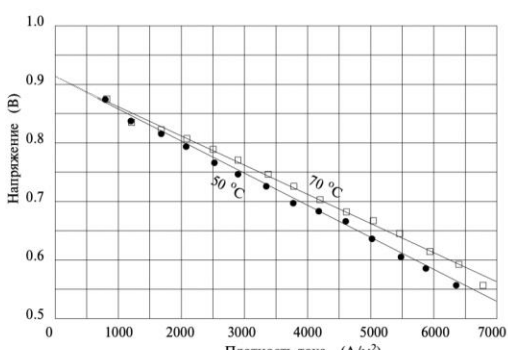
**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 32

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменная работа

**Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области топливных элементов.

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: общие закономерности химических процессов в водородных электрохимических системах | 1. Выходное напряжение топливного элемента, в который при нормальных условиях подаются водород и кислород, равно 1,185 В. Рассчитаем выходное напряжение того же ТЭ, если вместо кислорода будет подаваться воздух (при нормальных условиях). Содержание кислорода в воздухе составляет примерно 20%. Соответственно, парциальное давление кислорода будет равно 0,2 атм, что эквивалентно степени разрежения чистого кислорода 5:1. |
| Уметь: анализировать электрохимические процессы в установках водородной энергетики       | 1. ТЭ фирмы «Ballard», ВАХ которого изображена на рисунке. Какова максимальная электрическая мощность, которую может генерировать этот элемент, и какое количество теплоты он при этом будет выделять? Чему равен КПД этого элемента?<br>                                                                                                         |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### КМ-3. Системы на топливных элементах и их применение

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 33

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменный тест по теме «Системы топливных элементов и их применение»

#### Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области систем топливных элементов

#### Контрольные вопросы/задания:

|                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основы математического анализа             | 1. Назовите основные области применения топливных элементов?<br>2. Из чего состоит система бесперебойного питания на топливных элементах?<br>3. Особенности эксплуатации твердополимерных топливных элементов при низких температурах?<br>4. Какие топливные элементы нашли применение на автомобиле и почему?                                 |
| Уметь: представлять результаты выполненной работы | 1. Рассчитать потенциалы электродов ЭДС (2-мя способами), термодинамический КПД, максимальную полезную работу, удельную энергию и мощность при токе 8 А в течение 30 часов, для водородно-кислородного топливного элемента с щелочным электролитом ( $pH = 12$ ) при 333 К. Давления водорода и кислорода, равны, соответственно, 20 и 16 бар. |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Процедура проведения

По результатам работы за весь семестр складывается оценка трех КМ.

### *I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-1 Выполняет анализ современных проблем теплоэнергетики и теплотехники

#### Вопросы, задания

1. Как зависит ЭДС высокотемпературного топливного элемента от активностей и парциальных давлений реагентов, продуктов токообразующей реакции и от температуры?
2. Как определить тепловой эффект химической и электрохимической реакций?
3. Приведите уравнение для расчета напряжения ТОТЭ. Какие способы повышения напряжения ТОТЭ Вы знаете?
4. Назовите формулы для расчета КПД ТЭ?
5. Устройство водород-воздушного топливного элемента и методы исследования его характеристик?

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Определите тепловую мощность батареи топливного элемента состоящего из 50 ячеек, где ток 60 А, напряжение 36 В, ЭДС ячейки 1,48 В.

Ответы:

$$N_T = I * (E * n - U_0) = 60 * (1,48 * 50 - 36) = 2280 \text{ Вт,}$$

Верный ответ: 2280 Вт

2. Какой расход водорода необходим для получения 1 ампера в топливном элементе?

Ответы:

На каждую молекулу водорода (H<sub>2</sub>), которая вступает в реакцию в топливном элементе, на аноде топливного элемента высвобождается два электрона. Это лучше всего видно в твердополимерном топливном элементе из-за простоты анодной реакции, хотя правило двух электронов на двухатомную молекулу водорода (H<sub>2</sub>) справедливо для всех типов топливных элементов.



Верный ответ: 0,037605 кг водорода в час на кА

### *II. Описание шкалы оценивания*

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно.

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***