

**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: Управление проектами в теплоэнергетике**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Анализ и оптимизация водородных энергетических систем**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|                                                                                   |                                                    |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|                                                                                   | Владелец                                           | Маленков А.С.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R3cd28c4c-MalenkovAS-de247daf |

А.С.  
Маленков

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|                                                                                   |                                                    |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                           |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                           |
|                                                                                   | Владелец                                           | Фрей Д.А.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R5b6e86e9-FreyDA-4615d1cb |

Д.А. Фрей

Заведующий  
выпускающей  
кафедрой

|                                                                                   |                                                    |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|                                                                                   | Владелец                                           | Курдюкова Г.Н.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R6ab6dd0d-KurdiukovaGN-ca01d8c |

Г.Н.  
Курдюкова

## 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: 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)

## БРС 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.**

| Раздел дисциплины | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|-------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                   | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                   | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 12   | 16   |

|                                                                                                       |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Особенности и технологические барьеры и ограничения развития водородной энергетики                    |    |    |    |    |
| Перспективы развития водородной энергетики                                                            | +  |    |    |    |
| Основные концепции развития водородной энергетики                                                     | +  |    |    |    |
| Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии                  |    |    |    |    |
| Производство и потребление водорода                                                                   |    | +  |    |    |
| Хранение и транспортировка водорода                                                                   |    | +  |    |    |
| Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем         |    |    |    |    |
| Синтез водородных энергетических систем                                                               |    |    | +  |    |
| Анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем                  |    |    | +  |    |
| Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы |    |    |    |    |
| Оценка себестоимости производства водорода                                                            |    |    |    | +  |
| ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы                                             |    |    |    | +  |
| Вес КМ:                                                                                               | 25 | 25 | 25 | 25 |

## 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-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет анализ современных проблем теплоэнергетики и теплотехники | Знать:<br>особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики;<br>характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования водорода от производства до потребления;<br>Уметь:<br>синтезировать и анализировать энергетическую и экологическую эффективность водородной энергетической системы;<br>оценивать себестоимость производства водорода различными способами и проводить технико-экономическое обоснование выбора | КМ-1 Особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики (Тестирование)<br>КМ-2 Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии (Тестирование)<br>КМ-3 Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем (Тестирование)<br>КМ-4 Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы (Тестирование) |

|  |  |                                                 |  |
|--|--|-------------------------------------------------|--|
|  |  | конфигурации водородной энергетической системы. |  |
|--|--|-------------------------------------------------|--|

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

### **КМ-1. Особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменный тест, содержащий ряд вопросов по теме, в т.ч. вопросы с открытыми ответами.

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы теста.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                     | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: особенности и технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики; | 1.Объемы потребления водорода в мире.<br>2.Перечислить отрасли промышленности, потребляющие водород, и технологические процессы, потребляющие водород<br>3.Перечислить меры поддержки развития водородной энергетики в РФ<br>4.Перечислить меры поддержки развития водородной энергетики в мире<br>5.Особенности нормативной базы РФ в области водородных систем<br>6.Особенности организации локальных систем производства водорода<br>7.Особенности концепции Power-to-X<br>8.Перечислите технологические барьеры и ограничения развития технологий водородной энергетики<br>9.Приведите примеры организации наиболее масштабных водородных систем в мире<br>10.Опишите механизм водородного “охрупчивания” сталей |

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Даны верные ответы более чем на 80% вопросов

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Даны верные ответы более чем на 70% вопросов, но менее чем на 80% вопросов

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы более чем на 60% вопросов, но менее чем на 70% вопросов*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы менее чем на 60% вопросов*

## **КМ-2. Характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования энергии**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 25**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменный тест, содержащий ряд вопросов по теме, в т.ч. вопросы с открытыми ответами.

### **Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы теста.

### **Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                            | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: характеристики основных водородных технологий по всей цепочке преобразования водорода от производства до потребления; | 1. Назовите наименее энергоемкий метод получения водорода<br>2. Назовите метод получения водорода (применяемый на данный момент промышленно) с наименьшими сопутствующими выбросами диоксида углерода<br>3. Перечислите отличия пиролиза, конверсии и газификации<br>4. Назовите преимущества и недостатки щелочных электролизеров<br>5. Назовите преимущества и недостатки PEM электролизеров<br>6. Назовите преимущества и недостатки высокотемпературных электролизеров<br>7. Перечислите проблемы развития водородного электротранспорта<br>8. Перечислите проблемы использования водорода в ГТУ |

### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы более чем на 80% вопросов*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы более чем на 70% вопросов, но менее чем на 80% вопросов*



Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы более чем на 60% вопросов, но менее чем на 70% вопросов

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы менее чем на 60% вопросов

### **КМ-3. Синтез и анализ энергетической и экологической эффективности водородных энергетических систем**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменный тест, содержащий ряд вопросов по теме, в т.ч. вопросы с открытыми ответами.

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы теста.

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                              | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: оценивать себестоимость производства водорода различными способами и проводить технико-экономическое обоснование выбора конфигурации водородной энергетической системы. | <ol style="list-style-type: none"><li>1.Предложите способы повышения энергетической эффективности установки конверсии природного газа</li><li>2.Как определяется оптимальное значение напряжение на ячейке электролизера?</li><li>3.Приведите основные принципы построения цепочек производство-потребление водорода для локальных водородных систем</li><li>4.Приведите основные принципы построения цепочек производство-потребление водорода для масштабных водородных систем</li><li>5.Как рассчитываются удельные энергозатраты при конверсии природного газа?</li><li>6.Как рассчитываются удельные энергозатраты при электролизе воды?</li><li>7.Какую долю энергозатрат в электролизной установке вносит система водоподготовки?</li><li>8.Как рассчитываются удельные выбросы CO<sub>2</sub> при производстве водорода?</li></ol> |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы более чем на 80% вопросов*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы более чем на 70% вопросов, но менее чем на 80% вопросов*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы более чем на 60% вопросов, но менее чем на 70% вопросов*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы менее чем на 60% вопросов*

#### **КМ-4. Оценка себестоимости производства водорода, ТЭО выбора конфигурации водородной энергетической системы**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменный тест, содержащий ряд вопросов по теме, в т.ч. вопросы с открытыми ответами.

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы теста.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                    | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: синтезировать и анализировать энергетическую и экологическую эффективность водородной энергетической системы; | 1.Привести структуру основных затрат при производстве водорода электролизом<br>2.Привести структуру основных затрат при производстве водорода конверсией природного газа<br>3.Привести структуру основных затрат при производстве водорода конверсией природного газа<br>4.Привести структуру основных затрат при транспортировке водорода<br>5.Перечислите основные принципы выбора места размещения масштабной водородной системы.<br>6.Приведите принципы сценарного выполнения ТЭО.<br>7.Как определяются условия максимальной конкурентоспособности технологической системы?<br>8.Как рассчитывается ЧДД производства водорода? |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы более чем на 80% вопросов*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы более чем на 70% вопросов, но менее чем на 80% вопросов*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы более чем на 60% вопросов, но менее чем на 70% вопросов*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы менее чем на 60% вопросов*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 3 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

1. Приведите методику оценки себестоимости производства водорода методом конверсии.
2. Перечислите основные этапы комплексной оценки эффективности технологической системы.

### Процедура проведения

Студенту выдается билет с вопросами. Время на подготовку составляет 30-35 минут. Студент письменно оформляет ответы на поставленные вопросы.

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

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

#### Вопросы, задания

1. Типы электролизных установок, преимущества и недостатки и их энергетическая характеристика.
2. Основные методы хранения водорода, оценка себестоимости хранения различными методами.
3. Привести технологическую схему риформинга природного газа.
4. Привести технологическую схему водородного перегрева пара на ТЭС.
5. Перечислите основные химические реакции (включая тепловой эффект реакции) и состав продуктов конверсии природного газа.
6. Перечислите мероприятия (с примером оценки эффекта) по повышению эффективности паровой конверсии метана на ТЭС.
7. Приведите последовательность расчета экологических показателей производства водорода.
8. Приведите последовательность определения ЧДД производства водорода.
9. Приведите последовательность проведения сценарного ТЭО
10. Поясните суть "углеродного" экономического регулирования

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Назовите основные причины, препятствующие возможности использования существующей газотранспортной инфраструктуры для перекачки водорода

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Водородное охрупчивание сталей, утечки водорода через уплотнения, загрязнения водорода маслом и влагой.

2. Требуется ли конструктивные изменения в турбинной части при организации водородного перегрева пара на ТЭС?

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Требуется увеличение пропускной способности ЦНД.

3. Наиболее дешевый способ производства водорода в РФ?

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Риформинг природного газа.

4. В чем основное преимущество пиролиза метана перед риформингом метана?

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Углерод при пиролизе выделяется в твердой фазе

5. Чем объясняется теоретическая высокая энергоэффективность высокотемпературных электролизеров?

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: В высокотемпературных электролизерах может быть достигнут меньший расход электроэнергии за счет снижения энергии Гиббса ( $dG$ ) реакции при увеличении температуры процесса.

6. Перечислите основные недостатки PEM электролизеров.

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Высокая стоимость, требуется использование благородных металлов в качестве катализаторов, уступают по производительности щелочным электролизерам.

7. Как зависит стоимость улавливания  $CO_2$  из уходящих газов от концентрации  $CO_2$  в уходящих газах?

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Чем выше начальная концентрация  $CO_2$ , тем ниже стоимость улавливания тонны  $CO_2$ .

8. Назовите основные варианты захоронения и утилизации  $CO_2$ .

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Закачка в ПХГ, закачка в нефтяные пласты для повышения нефтеотдачи, закачка на дно моря, использование  $CO_2$  в качестве сырья.

9. Что такое зеленый водород?

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Водород, полученный электролизом при использовании энергии ВИЭ.

10. Назовите наиболее «емкий» способ хранения водорода.

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: В виде аммиака.

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент ответил на все вопросы контроля.*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент ответил на все вопросы контроля, но допустил незначительные неточности.*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент ответил на все вопросы контроля, но допустил значимые ошибки.

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент неверно ответил на вопросы контроля.

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

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о БАРС НИУ "МЭИ".