

**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: Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Водородная энергетика**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|  |                                                    |                             |
|--|----------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                             |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                             |
|  | Владелец                                           | Блинов Д.В.                 |
|  | Идентификатор                                      | R07cd0a36-BlinovDV-2a7575e4 |

Д.В. Блинов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|  |                                                    |                              |
|--|----------------------------------------------------|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец                                           | Горелов М.В.                 |
|  | Идентификатор                                      | Re923e979-GorelovMV-5a218dd2 |

М.В.  
Горелов

Заведующий  
выпускающей кафедрой

|  |                                                    |                               |
|--|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|  | Владелец                                           | Гаряев А.Б.                   |
|  | Идентификатор                                      | R75984319-GariayevAB-a6831ea7 |

А.Б. Гаряев

## 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. Использование водорода в топливных элементах (Контрольная работа)
2. Технологии производства водорода (Тестирование)
3. Технологии хранения и транспортировки водорода (Тестирование)

## БРС дисциплины

1 семестр

| Раздел дисциплины                                                     | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|
|                                                                       | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 |
|                                                                       | Срок КМ:                        | 5    | 10   | 15   |
| Технологии производства водорода                                      |                                 |      |      |      |
| Расчет параметров систем производства водорода                        |                                 | +    |      |      |
| Использование водорода в топливных элементах                          |                                 |      |      |      |
| Расчет основных параметров и характеристик топливных элементов        |                                 |      | +    |      |
| Технологии хранения и транспортировки водорода                        |                                 |      |      |      |
| Расчет основных параметров систем хранения и транспортировки водорода |                                 |      |      | +    |
| Вес КМ:                                                               |                                 | 35   | 30   | 35   |

\$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>параметры и проблемы основных типов электрохимических установок и их подсистем, анализировать основные виды потерь энергии в электрохимических энергоустановках и способы их уменьшения, анализировать параметры основных способов хранения и транспортировки водорода общие закономерности химических процессов в водородных электрохимических системах; основные свойства газообразного, жидкого и атомарного водорода; подходы к разработке водород-аккумулирующих и водород-генерирующих | Технологии производства водорода (Тестирование)<br>Использование водорода в топливных элементах (Контрольная работа)<br>Технологии хранения и транспортировки водорода (Тестирование) |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p>материалов; достоинства и недостатки различных способов хранения и транспортировки водорода; параметры и проблемы электрохимических энергоустановок и их подсистем; основные методы производства, хранения и транспортировки водорода</p> <p>Уметь:</p> <p>проводить расчеты основных параметров, сравнение и выбор с технико-экономической точки зрения оптимальных способов получения, хранения и транспорта водорода</p> <p>проводить термодинамические расчеты химических процессов, определять условия самопроизвольного протекания химических процессов; проводить расчеты основных параметров систем хранения и транспортировки</p> |  |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|  |  |                                                 |  |
|--|--|-------------------------------------------------|--|
|  |  | водорода, проводить<br>анализ полученных данных |  |
|--|--|-------------------------------------------------|--|

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

### **КМ-1. Технологии производства водорода**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменный тест по теме «Технологии производства водорода»

#### **Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области производства водорода

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: общие закономерности химических процессов в водородных электрохимических системах; основные свойства газообразного, жидкого и атомарного водорода; подходы к разработке водород-аккумулирующих и водород-генерирующих материалов; достоинства и недостатки различных способов хранения и транспортировки водорода; параметры и проблемы электрохимических энергоустановок и их подсистем; основные методы производства, хранения и транспортировки водорода | 1. Где необходимо располагать газгольдеры для водорода, а также ресиверы для водорода и кислорода?                                                                                               |
| Уметь: проводить расчеты основных параметров, сравнение и выбор с технико-экономической точки зрения оптимальных способов получения, хранения и транспорта водорода                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1. Определить выход по току водорода, выделенного на электроде при нормальных условиях, если объем его составил 112 л при прохождении через электрод количества электричества, равного 1000 А ч. |

#### **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. Использование водорода в топливных элементах

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа по теме «Использование водорода в топливных элементах»

### Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области топливных элементов

### Контрольные вопросы/задания:

|                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь:<br>термодинамические<br>химических<br>определять<br>самопроизвольного<br>химических<br>проводить расчеты<br>параметров систем<br>транспортировки<br>проводить анализ<br>данных | проводить<br>расчеты<br>процессов,<br>условия<br>протекания<br>процессов;<br>основных<br>хранения и<br>водорода,<br>полученных | 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.<br>2. Определите стандартную ЭДС водородно-кислородного топливного элемента, в котором при Т 298 К протекает реакция $H_2(г) + 1/2O_2(г) = H_2O(ж)$ . |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 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. Технологии хранения и транспортировки водорода

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменный тест по теме «Технологии хранения и транспортировки водорода»

**Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области технологии хранения и транспортировки водорода

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: параметры и проблемы основных типов электрохимических установок и их подсистем, анализировать основные виды потерь энергии в электрохимических энергоустановках и способы их уменьшения, анализировать параметры основных способов хранения и транспортировки водорода | 1.Каковы оценки по потерям водорода при длительном его хранении в жидком виде в криобаках?<br>2.Рассчитайте объем водорода, находящийся в металлгидридном реакторе при температуре 250С, если в реакторе находится сплав LaNi5 в количестве 3 кг. Известно, что реактор заполнен на половину своей емкости |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**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

## 1 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. Какое расстояние должно быть между водородным и кислородным ресивером?
2. Определите время, необходимое для получения 1 кг металлического натрия на угольных электродах электролизом расплава NaOH при токе, равном 2500 А, катодном выходе натрия по току равном 85%, анодном выходе кислорода по току равном 100%. Определите объем выделившегося кислорода при нормальных условиях.
3. Определить массовый и объемный расходы для газопровода длиной 100 км, с наружным диаметром 720 мм и толщиной стенок 10 мм. Абсолютное давление в начале газопровода 5 МПа, в конце 1,1 МПа. Плотность газа при стандартных условиях  $\rho = 0,09$  кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент динамической вязкости  $\mu = 8,8 \cdot 10^{-6}$  Па·с, коэффициент сжимаемости  $z = 1,01$ . Температура грунта на глубине заложения газопровода 5оС. Эквивалентная шероховатость внутренней поверхности труб 0,02 мм.

#### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. Удельная электропроводность 10 М раствора KOH при температурах 0 и 60 оС составляет, соответственно, 0,27 и 1,07 См/см. Рассчитать энергию активации проводимости такого раствора.  
Верный ответ: 17,3 кДж/моль.
2. Какие недостатки при транспортировке сжиженного водорода морским транспортом?  
Верный ответ: Необходимы перевалочные базы для передачи водорода с водного транспорта на наземный; для больших объемов необходима система удержания груза для предотвращения вскипания жидкого водорода; Необходимость в высокоэффективной экранно-вакуумной изоляции; Сложные системы заправки и выдачи жидкого водорода

### ***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***