

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**Наименование образовательной программы: Автономные энергетические системы**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Основы водородных технологий**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кулешов Н.В.
Идентификатор	Re9c42de9-KuleshovNV-bc390ed6	

Н.В. Кулешов

## 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

## 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 участвовать в проектировании и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники

ИД-5 Выполняет эксперименты и расчеты по физико-химическим параметрам, характеристикам и условиям эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Исследование водных растворов сильных электролитов кондуктометрическим методом (Контрольная работа)
2. Получение водорода в электрохимических системах (Домашнее задание)
3. Топливные элементы (Контрольная работа)
4. Электролиз водного раствора сульфата натрия (Контрольная работа)

### БРС дисциплины

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	10	14
Введение в водородную энергетику					
Введение в водородную энергетику		+			
Производство водорода					
Электролиз воды			+		
Производство водорода из органического сырья			+		
Хранение и транспортировка водорода.					
Хранение и транспортировка водорода.				+	
Использование водорода для производства энергии					
Использование водорода для производства энергии					+
Вес КМ:		25	25	25	25

\$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-5 <sub>ПК-1</sub> Выполняет эксперименты и расчеты по физико-химическим параметрам, характеристикам и условиям эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники	Знать: фундаментальные представления о электрохимических процессах, использовать данные знания в термодинамических расчетах, направленных на выбор оптимальных характеристик энергетических систем и установок основные источники научно-технической информации по основным водородной энергетике, теплоэнергетики и теплотехники, терминологию предмета для умения логически верно и ясно строить аргументацию для демонстрации базовых знания в области естественнонаучных	Исследование водных растворов сильных электролитов кондуктометрическим методом (Контрольная работа) Электролиз водного раствора сульфата натрия (Контрольная работа) Получение водорода в электрохимических системах (Домашнее задание) Топливные элементы (Контрольная работа)

		<p>дисциплин и профессиональной деятельности) Уметь: выполнять термохимические расчеты электрохимических процессов теплоэнергетики и теплотехники использовать справочную литературу для проведения экспериментальных исследований в области водородной и электрохимической энергетики, узлов и агрегатов теплоэнергетических и теплотехнических систем проводить лабораторные исследования и на их основе выполнять расчеты использовать программы обработки экспериментальных данных полученных на современном лабораторном оборудовании для оценки, прогнозирования и оптимизация физико-химических процессов</p>	
--	--	--	--

		водородных технологий	
--	--	-----------------------	--

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

### КМ-1. Исследование водных растворов сильных электролитов кондуктометрическим методом

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменная работа и опрос по результатам работы

#### Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области водородной энергетики

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: использовать справочную литературу для проведения экспериментальных исследований в области водородной и электрохимической энергетики, узлов и агрегатов теплоэнергетических и теплотехнических систем	1. Как можно экспериментально определить предельную эквивалентную электропроводность сильного электролита? 2. В чем отличие хода зависимостей эквивалентной и удельной электропроводности от концентрации?
Уметь: проводить лабораторные исследования и на их основе выполнять расчеты	1. За счет чего электролиты проводят электрический ток? 2. Что называют степенью диссоциации электролита? В чем различие сильных и слабых электролитов?

#### 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. Электролиз водного раствора сульфата натрия

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменная работа и опрос по результатам работы

**Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области водородной энергетики

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: выполнять термохимические расчеты электрохимических процессов теплоэнергетики и теплотехники	1.Что такое постоянная Фарадея? Сформулируйте объединенный закон Фарадея. 2.Какова последовательность электродных процессов на аноде и катоде при электролизе? 3.Что такое выход вещества по току и от каких факторов он зависит?
Уметь: использовать программы обработки экспериментальных данных полученных на современном лабораторном оборудовании для оценки, прогнозирования и оптимизация физико-химических процессов водородных технологий	1.Что называют электролизом? Какие факторы влияют на напряжение электролизера? 2.Что такое водородный показатель?

**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. Получение водорода в электрохимических системах

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работа выполняется в форме домашнего задания

### Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области получения водорода в электрохимических системах

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: фундаментальные представления о электрохимических процессах, использовать данные знания в термодинамических расчетах, направленных на выбор оптимальных характеристик энергетических систем и установок

1. Расчетное задание выполняется в форме домашнего задания.

Рассмотрите щелочной электролиз воды в растворе КОН для условий своего варианта (столбец 1) при заданном pH (столбец 2) и заданной температуре (столбец 3).

1. Напишите уравнения реакций на аноде и катоде и суммарную реакцию электролиза.

2. Рассчитайте равновесные потенциалы катода и анода для заданной среды и заданных одинаковых парциальных давлений водорода и кислорода (столбец 4).

3. Рассчитайте против-ЭДС для 298 К и заданной температуре. Сделайте вывод.

4. Рассчитайте энергозатраты для получения заданного объема водорода (столбец 5), приведенного к нормальным условиям, если среднее напряжение на электролизной ячейке равно... (столбец 6) при заданном фарадеевском КПД (столбец 7).

№вар	pH раствора	T, К	$p_{\text{H}_2}$ , кПа	V, м <sup>3</sup>	U, В	КПД $\eta_F$
1	2	3	4	5	6	7
1	13	295	710	5	1,85	0,95
2	13,5	300	120	10	1,9	0,93
3	14	305	140	15	1,95	0,9
4	13,8	310	150	20	2,03	0,88
5	13,6	315	180	25	2,05	0,86
6	13,9	320	200	30	2,1	0,85
7	13,7	325	240	35	2,15	0,82
8	13,2	330	280	40	2,25	0,8
9	13,1	335	300	45	2,35	0,78
10	13,3	340	350	50	2,2	0,75
11	13	345	400	5	1,85	0,95
12	13,5	350	450	10	1,9	0,93
13	14	355	500	15	1,95	0,9
14	13,8	360	520	20	2,03	0,88
15	13,6	365	550	25	2,05	0,86
16	13,9	370	580	30	2,1	0,85
17	13,7	360	600	35	2,15	0,82
18	13,2	350	650	40	2,25	0,8
19	13,1	355	700	45	2,35	0,78
20	13,3	365	750	50	2,2	0,75

### 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-4. Топливные элементы**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменная работа и опрос по результатам работы

**Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области топливных элементов

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основные источники научно-технической информации по основным водородной энергетике, теплоэнергетики и теплотехники, терминологию предмета для умения логически верно и ясно строить аргументацию для демонстрации базовых знания в области естественнонаучных дисциплин и профессиональной деятельности)</p>	<p>1. В водородном ТЭ протекает токообразующая реакция <math>H_2 + 1/2O_2 = H_2O(Ж)</math>. Рассчитайте стандартную ЭДС этого ТЭ при температурах 298 и 353 К, в приближении <math>= const</math>.</p> <p>2. Потери на поляризацию и способы их уменьшения. Омические потери и способы их уменьшения.</p> <p>3. Рассчитайте теоретическое значение КПД ТЭ, в котором при температуре 298 К и стандартных условиях протекает токообразующая реакция <math>H_2(Г) + 1/2O_2(Г) = H_2O(Ж)</math>. Зависимостью энтальпии реагирующих веществ от температуры пренебречь.</p> <p>4. Определение электрохимических процессов. Основные компоненты электрохимической системы: электроды, электролит.</p>
--	--

**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

## 6 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

1. Определение электрохимических процессов. Отличие электрохимических процессов от химических. Определение электрохимической системы. Основные компоненты электрохимической системы: электроды, электролит.
2. Характеристики ДВС при работе на традиционных видах топлива и на водороде. Способы увеличения эффективности процессов сжигания водорода в ДВС.
3. Рассчитайте удельный расход электроэнергии на получение 1 м<sup>3</sup> водорода в щелочном электролизере при стандартных состояниях веществ, температуре 343 К и суммарной поляризации электродов и омических потерь напряжения, равных 300 мВ

### Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-5<sub>ПК-1</sub> Выполняет эксперименты и расчеты по физико-химическим параметрам, характеристикам и условиям эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники

### Вопросы, задания

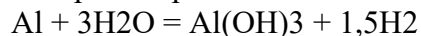
1.
  1. Процессы, происходящие на границе раздела фаз. Понятие двойного электрического слоя. Понятие потенциала электрода. Параметры, влияющие на потенциал. Стандартный водородный электрод, водородная шкала потенциалов.
  2. Связанное хранение водорода (жидкие гидриды, углеродные наноматериалы). Преимущества и недостатки. Способы улучшения показателей.
  3. Определите стандартную противо-ЭДС щелочного электролиза воды  $\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) = \text{H}_2(\text{г}) + 1/2\text{O}_2(\text{г})$  при  $T = 298\text{K}$  двумя способами.
    - 2.1. Энергетические характеристики электролизеров. Особенности анодного и катодного процессов при электролизе.
    2. Преимущество водорода как перспективного топлива будущего.
    - 3 Рассчитайте теоретические минимальные удельные энергозатраты на получение 1 м<sup>3</sup> (н.у.) водорода и удельные затраты при среднем напряжении на одной электролизной ячейке 2,0 В.
  - 3.1. Типы электролитов, основные требования, предъявляемые к электролитам. Сепараторы, окислители и восстановители электрохимических систем.
  2. Связанное хранение водорода (гидриды металлов, интерметаллидов). Преимущества и недостатки. Способы улучшения показателей.
  - 3 Рассчитайте основные термодинамические функции  $\Delta_rH^0T$ ,  $\Delta_rS^0T$ ,  $\Delta_rG^0T$  и  $E^0Э$ – процесса щелочного электролиза воды

$\text{H}_2\text{O}(\text{Ж}) = \text{H}_2(\text{Г}) + 1/2\text{O}_2(\text{Г})$  при стандартных состояниях и температуре  $90^\circ\text{C}$  в приближении  $= \text{const}$ .

4.1. Факторы, влияющие на ЭДС. Термодинамический КПД электрохимической системы, принципы его расчета.

2. Хранение водорода в жидком виде. Преимущества и недостатки. Способы улучшения показателей.

3 Реакция взаимодействия порошка алюминия с водяным паром позволяет получить водород по реакции:



Сколько молей Al и H<sub>2</sub>O требуется на производство 1 м<sup>3</sup> водорода, если алюминий прореагирует на 30 масс.%.

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

1. Рассчитайте теоретическое значение количества теплоты Q, выделяемой водородным ТЭ в результате реакции

$\text{H}_2(\text{Г}) + 1/2\text{O}_2(\text{Г}) = \text{H}_2\text{O}(\text{Ж})$  при двух температурах 298 К и 353К, считая теплоемкости компонентов постоянными в заданном температурном интервале.

Ответы:

$$Q_{298} = 48,58 \text{ кДж}; \quad Q_{353} = 55,65 \text{ кДж}.$$

Верный ответ:  $Q_{298} = 48,58 \text{ кДж}; \quad Q_{353} = 55,65 \text{ кДж}$ .

### **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**

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.