

**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  
Тепловые процессы в электрохимических системах**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Григорьев С.А.
Идентификатор	R7ba085e0-GrigoryevSA-87939df3	

(подпись)

С.А.  
Григорьев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ланская И.И.
Идентификатор	R3db6324d-Lanskyall-6f410db9	

(подпись)

И.И. Ланская

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

Н.В.  
Кулешов

(расшифровка  
подписи)

## 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-2 Способен к организации технического и материального обеспечения эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов

ИД-1 обосновывает потребности в техническом и материальном обеспечении эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов

ИД-2 осуществляет контроль норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и их элементов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет затрат электроэнергии в высокотемпературных электролизерах (Контрольная работа)

2. Расчет потребностей электрохимических систем в энергоресурсах (Контрольная работа)

3. Расчет тепловых процессов в электрохимических системах (Контрольная работа)

4. Термодинамика и тепловые эффекты в электрохимических системах (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	13
Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем					
Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем	+				
Эксплуатация автономных энергетических систем, включающие электролизеры воды и топливные элементы					
Эксплуатация автономных энергетических систем, включающие электролизеры воды и топливные элементы		+			
Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах					
Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах			+		
Технико-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем					

Технико-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем				+
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-2	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> обосновывает потребности в техническом и материальном обеспечении эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов	Знать: основные термины, определения и понятия (применительно к процессам в электрохимических системах) Уметь: проводить расчеты материального и энергетического балансов при работе электрохимических систем, оценивать потребности в техническом и материальном обеспечении эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов	Термодинамика и тепловые эффекты в электрохимических системах (Контрольная работа) Расчет тепловых процессов в электрохимических системах (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> осуществляет контроль норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и	Знать: способы проведения контроля норм расхода всех видов энергоресурсов автономных	Расчет затрат электроэнергии в высокотемпературных электролизерах (Контрольная работа) Расчет потребностей электрохимических систем в энергоресурсах (Контрольная работа)

	их элементов	энергетических систем и их элементов, методы проведения расчета затрат электроэнергии в электрохимических системах. Уметь: проводить расчет потребностей автономных энергетических систем в энергоресурсах	
--	--------------	--	--

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

### КМ-1. Термодинамика и тепловые эффекты в электрохимических системах

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работы выполняются по билетам на практическом занятии

#### Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области электрохимических систем

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные термины, определения и понятия (применительно к процессам в электрохимических системах)	1. Рассчитайте количество тепла выделенное при генерации 10 м <sup>3</sup> водорода в щелочном электролизере при стандартных состояниях веществ, температуре 348 К и суммарной поляризации электродов и омических потерь напряжения, равных 350 мВ. 2. Проведите материальный и тепловой расчет батареи электролизных ячеек с твердополимерным электролитом производительностью по кислороду 4 м <sup>3</sup> /ч при нормальных условиях, при плотности тока 0,4 А/см <sup>2</sup> и среднем напряжении на одной ячейке
---	--

#### 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

### КМ-2. Расчет тепловых процессов в электрохимических системах

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работы выполняются по билетам на практическом занятии

#### Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области электрохимических систем

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: проводить расчеты материального и энергетического балансов при работе электрохимических систем, оценивать потребности в техническом и материальном обеспечении эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов</p>	<p>1. Какой объем кислорода <math>V</math> переносится через электрохимическую ячейку на основе твердого электролита при плотности тока <math>i = 4 \text{ кА/м}^2</math>, проходящего через электродную поверхность высокотемпературного кислородного насоса площадью <math>S = 0,3 \text{ м}^2</math> в течение времени <math>\tau = 2</math> часа при чисто ионной проводимости. Сколько тепла выделится при напряжении <math>U = 0,45 \text{ В}</math>?</p> <p>2. Рассчитайте ЭДС и термический КПД водородно-воздушного топливного элемента при начальных давлениях водорода и воздуха <math>100 \text{ кПа}</math>, паров воды <math>30 \text{ кПа}</math> и степенях использования воздуха - <math>0,25</math> (25 %) и водорода - <math>0,8</math> (80 %). при температурах <math>1100 \text{ К}</math>, <math>1200 \text{ К}</math> и <math>1350 \text{ К}</math>.</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

**КМ-3. Расчет затрат электроэнергии в высокотемпературных электролизерах**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работы выполняется по билетам на практическом занятии

**Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области высокотемпературных электролизеров

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: способы проведения контроля норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и их элементов, методы проведения расчета затрат электроэнергии в электрохимических системах.</p>	<p>1. Рассчитайте потребность в водороде и кислороде при мощности батареи ТЭ <math>5 \text{ кВт}</math> и длительности работы <math>10</math> часов и напряжении топливного элемента <math>0,8 \text{ В}</math>. Сколько при этом выделится тепла?</p> <p>2. Рассчитать унос тепла <math>Q_{ст}</math> через стенки теплоизоляции топливного элемента с внешним диаметром <math>d = 0,2 \text{ м}</math>, длиной <math>l = 0,4 \text{ м}</math>, толщиной стенки <math>\delta = 0,03 \text{ м}</math>, рабочей температурой <math>t_p = 60 \text{ оС}</math> и</p>
---	--



	температурой окружающей среды $t_0 = 25$ С, коэффициент теплопередачи принять равным коэффициенту теплоотдачи $\alpha$ , $\lambda = 4,0$ Вт/(м <sup>2</sup> град). Использовать уравнение $Nud = 0,5(GrPrж)0,25$ .
--	---

**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

**КМ-4. Расчет потребностей электрохимических систем в энергоресурсах**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работы выполняется по билетам на практическом занятии

**Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области электрохимических систем

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: проводить расчет потребностей автономных энергетических систем в энергоресурсах	1. В чем преимущества эксергетического метода анализа? Каким образом определяется химическая и физическая эксергия вещества, эксергия тепла? 2. Написать уравнение для расчета КПД гибридной энергоустановки, включающей ТОГЭ и ГТУ. Как рассчитать количество тепла, направляемого в ГТУ для дополнительной выработки электроэнергии? Напряжение $U = 0,67$ В. Топливо метан, степень использования топлива, кислорода, коэффициент расхода электроэнергии на собственные нужды задайте сами, КПД ГТУ 35 %.
--	---

**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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 8 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

1. Напишите уравнения химических реакций метана с газами, участвующими в пароуглекислотной конверсии. Рассчитать тепловой эффект.
2. Рассчитать водородно-кислородный высокотемпературный топливный элемент, полезно расходующий 1 моль водорода в секунду. Коэффициент использования водорода 0,85, среднее напряжение  $U_{ср,} = 0,7$ , плотность тока 3 кА/м<sup>2</sup>, исходная температура водорода и кислорода H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> равны 298 К. Рабочая температура топливного элемента  $T_{тэ.} = 1223$  К. Определить мощность, тепловой эффект, ток, площадь электродной поверхности, тепло для подогрева водорода и кислорода.
3. Рассчитайте ЭДС и термический топливного элемента системы: синтез - газ (при содержании водорода 60 мол. долей в %) - воздух при температуре 1300 К и давлениях синтез-газа и воздуха 300 кПа, паров воды 40 кПа. Определить минимальный тепловой эффект

### 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-1<sub>ПК-2</sub> обосновывает потребности в техническом и материальном обеспечении эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов

#### Вопросы, задания

1. Какие способы уменьшения тепловыделения ТЭ Вы знаете?
2. Что такое теплота Пельтье?
3. Рассчитайте ЭДС и термический КПД топливного элемента системы монооксид углерода-воздух при температуре 1223 К и давлениях СО и воздуха 300 кПа, СО<sub>2</sub> – 30 кПа. Определить минимальный тепловой эффект.
4. Как рассчитать удельные энергозатраты на получение кислорода в твердооксидном кислородном насосе, какой при этом тепловой эффект?
5. Как определить реальный КПД электролизера?
6. Что такое КПД термический? Как он зависит от температуры?
7. Что такое термонейтральная ЭДС, каков тепловой эффект электролизера, ТЭ?
8. Как определить удельное тепловыделение при производстве одного нормального метра кубического водорода в электролизере, при его расходе в качестве топлива в ТЭ?

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как определить тепловой эффект химической и электрохимической реакций?
2. Каков минимальный тепловой эффект топливного элемента (ТЭ)?

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-2</sub> осуществляет контроль норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и их элементов

#### Вопросы, задания

1. Напишите уравнения теплового баланса высокотемпературных ТЭ и электролизера.

2. Рассчитайте ЭДС и термический топливного элемента системы: синтез - газ (при содержании водорода 60 мол. долей в %) - воздух при температуре 1300 К и давлениях синтез-газа и воздуха 300 кПа, паров воды 40 кПа. Определить минимальный тепловой эффект.

3. Рассчитать водородно-кислородный высокотемпературный топливный элемент, полезно расходующий 1 моль водорода в секунду. Коэффициент использования водорода 0,85, среднее напряжение  $U_{ср.} = 0,7$ , плотность тока 3 кА/м<sup>2</sup>, исходная температура водорода и кислорода H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> равны 298 К. Рабочая температура топливного элемента  $T_{тэ.} = 1223$  К. Определить мощность, тепловой эффект, ток, площадь электродной поверхности, тепло для подогрева водорода и кислорода.

4. Напишите уравнения химических реакций метана с газами, участвующими в пароуглекислотной конверсии. Рассчитать тепловой эффект.

5. Напишите уравнение реакции паровой конверсии метана, рассчитайте тепловой эффект.

6. Покажите связь теплового эффекта с ЭДС (уравнение Геймгольца).

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

1. Для электрохимической системы: H<sub>2</sub>|ZrO<sub>2</sub>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>|Воздух рассчитайте стандартную ЭДС при T=1273 К и приведите значения напряжения ХИТ. Рассчитайте теоретическую объемную удельную энергию и сравните ее с практически реализуемой удельной энергией при напряжении U = 0,7 В. Определите удельную величину теплового эффекта в обоих случаях.

### **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. на вопросы углубленного уровня

### **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.