

**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  
Энергосбережение в электрохимических технологиях**

**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	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-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 установках электрохимической технологии (Контрольная работа)

2. Установки электрохимической технологии и их элементы-1 (Контрольная работа)

3. Установки электрохимической технологии и их элементы-2 (Контрольная работа)

4. Электрохимические процессы (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

### 7 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 Электрохимические процессы (Контрольная работа)

КМ-2 Установки электрохимической технологии и их элементы-1 (Контрольная работа)

КМ-3 Установки электрохимической технологии и их элементы-2 (Контрольная работа)

КМ-4 Расчет затрат электроэнергии в установках электрохимической технологии (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Общие сведения об электрохимических процессах и системах. Электрохимические процессы и электрохимические системы. Основные компоненты электрохимических систем и их характеристики. Термодинамические характеристики электрохимических систем и их расчет.					

Общие сведения об электрохимических процессах и системах. Электрохимические процессы и электрохимические системы. Основные компоненты электрохимических систем и их характеристики. Термодинамические характеристики электрохимических систем и их расчет.	+			
Сбор и анализ исходных данных для проектирования установок электрохимической технологии и их элементов в соответствии с нормативной документацией оборудования электрохимических энергоустановок на основе топливных элементов. Расчеты тепломассопереноса				
Сбор и анализ исходных данных для проектирования установок электрохимической технологии и их элементов в соответствии с нормативной документацией оборудования электрохимических энергоустановок на основе топливных элементов. Расчеты тепломассопереноса		+		
Эффективное использование топливно-энергетические ресурсы в электрохимических энергоустановках и в водородной энергетике				
Эффективное использование топливно-энергетические ресурсы в электрохимических энергоустановках и в водородной энергетике			+	
Автоматизация проектирования установок электрохимической технологии в соответствии с техническим заданием				
Автоматизация проектирования установок электрохимической технологии в соответствии с техническим заданием				+
Вес КМ:	20	25	25	30

## 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 материальном обеспечении эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов	Знать: параметры и проблемы электрохимических установок и их подсистем, основные виды потерь энергии в электрохимических энергоустановках и способы их уменьшения, законы и методы оптимизации электрохимических процессов и установок Уметь: проводить расчеты основных параметров, сравнение и выбор с технико-экономической точки зрения оптимальных способов получения, хранения и транспорта водорода	КМ-1 Электрохимические процессы (Контрольная работа) КМ-3 Установки электрохимической технологии и их элементы-2 (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> осуществляет контроль норм расхода всех видов энергоресурсов	Знать: методики сравнительного термодинамического	КМ-2 Установки электрохимической технологии и их элементы-1 (Контрольная работа) КМ-4 Расчет затрат электроэнергии в установках электрохимической

	<p>автономных энергетических систем и их элементов</p>	<p>анализа электрохимических установок, составления обобщенных технологических схем электрохимических установок и их компонентов, методами оптимизации электрохимических установок и их узлов  Уметь:  проводить материальные, тепловые, гидравлические расчеты топливных элементов и электролизеров, проводить расчеты и анализ по оптимизации их эксплуатационных параметров, определять эффективность (энергетический и эксергетический КПД) электрохимических установок и их узлов.</p>	<p>технологии (Контрольная работа)</p>
--	--	---	--

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

### КМ-1. Электрохимические процессы

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии.

#### Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области электрохимических процессов

#### Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: параметры и проблемы электрохимических установок и их подсистем, основные виды потерь энергии в электрохимических энергоустановках и способы их уменьшения, законы и методы оптимизации электрохимических процессов и установок	1. Определение электрохимических процессов. Отличие электрохимических процессов от химических. Определение электрохимической системы, электрода, электролита, гальванического элемента и электролиза 2. По уравнению токообразующей реакции составьте схему гальванического элемента: $Ni + CuSO_4 = NiSO_4 + Cu$ . Напишите уравнения анодного и катодного процессов. Рассчитайте стандартную ЭДС и определите в кДж энергию химической реакции ( $\Delta G$ ), превращающуюся в электрическую 3. Составьте схему гальванического элемента из магния и свинца, погруженных в растворы их солей с концентрацией ионов: $[Mg^{2+}] = 0,001$ моль/л, $[Pb^{2+}] = 1$ моль/л. Напишите уравнения реакций, протекающих на катоде и аноде. Рассчитайте ЭДС этого элемента

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

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

## **КМ-2. Установки электрохимической технологии и их элементы-1**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии.

**Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области электрохимических технологий

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методики сравнительного термодинамического анализа электрохимических установок, составления обобщенных технологических схем электрохимических установок и их компонентов, методами оптимизации электрохимических установок и их узлов	1. Рассчитайте ЭДС и термический КПД метано-воздушного топливного элемента при температуре 1300 К и давлениях метана и воздуха 200 кПа, паров воды 50 кПа. 2. Как изменится ЭДС высокотемпературного электролизера при увеличении температуры с 850 до 950°C?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5 («отлично»)

*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 («хорошо»)

*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 («удовлетворительно»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

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

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

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

## **КМ-3. Установки электрохимической технологии и их элементы-2**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии.

**Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области электрохимических технологий

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: проводить расчеты основных параметров, сравнение и выбор с технико-экономической точки зрения оптимальных способов получения, хранения и транспорта водорода	1. Рассчитать потенциалы электродов, ЭДС (2-мя способами), термодинамический КПД, максимальную полезную работу, удельную энергию и мощность, а также запас реагентов (в баллонах), необходимый для работы при токе 8 А в течение 30 часов, для водородно-кислородного топливного элемента с щелочным электролитом (рН = 12) при 333 К. Давления водорода и кислорода, равны, соответственно, 20 и 16 бар. 2. Определить эксергию воды, если она находится под давлением 10 бар, а ее температура – 350 К

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

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

**КМ-4. Расчет затрат электроэнергии в установках электрохимической технологии**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии.

**Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области электрохимических технологий

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: проводить материальные, тепловые, гидравлические расчеты топливных элементов и электролизеров, проводить расчеты и анализ по оптимизации их эксплуатационных параметров, определять эффективность (энергетический и эксергетический КПД) электрохимических установок и их узлов.	1.Чему равны удельные энергозатраты на получение 1 м3 водорода при нормальных условиях и среднем напряжении на одной электролизной ячейке 1,8 В? Как рассчитать тепло, выделяемое при работе электролизера? Что такое термонеутральная ЭДС 2.Хранение водорода в жидком виде. Преимущества и недостатки. Способы улучшения показателей.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

**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 равновесный потенциал электрода, на котором протекает реакция:  $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ , если активность ионов  $\text{Pb}^{2+} = 0,01$  моль/л,  $\text{pH} = 8$ ,  $T = 313$  К.

**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. Определение топливного элемента, его отличие от других химических источников тока. Классификация топливных элементов
2. Хранение водорода в жидком виде. Преимущества и недостатки. Способы улучшения показателей
3. Связанное хранение водорода (гидриды металлов, интерметаллидов). Преимущества и недостатки. Способы улучшения показателей
4. Процессы, происходящие на границе раздела фаз. Понятие двойного электрического слоя. Понятие потенциала электрода. Параметры, влияющие на потенциал. Стандартный водородный электрод, водородная шкала потенциалов
5. Связанное хранение водорода (жидкие гидриды, углеродные наноматериалы). Преимущества и недостатки. Способы улучшения показателей.
6. Определение электрохимических процессов. Отличие электрохимических процессов от химических. Определение электрохимической системы. Основные компоненты электрохимической системы: электроды, электролит
7. Какие конструктивные варианты ТОТЭ Вы знаете? В чем их достоинства и недостатки?
8. Назовите преимущества ТОТЭ по сравнению с низкотемпературными ТЭ. Приведите основные проблемы ТОТЭ.
9. Как определить реальный КПД электролизера/топливного элемента?
10. Что такое КПД термический?
11. Что такое термонеутральная ЭДС, каков тепловой эффект электролизера?
12. Какова максимально возможная электрическая энергия (работа)?
13. Как определить тепловой эффект химической и электрохимической реакций?
14. Какие электродные реакции протекают в топливном элементе с твердополимерным электролитом. Анодные и катодные катализаторы

15. Какие электродные реакции протекают при получении водорода и кислорода в электролизере с твердополимерным электролитом. Анодные и катодные катализаторы.
16. Вычислите значение ЭДС гальванического элемента. Напишите процессы на аноде и катоде и суммарную реакцию, определите в кДж энергию химической реакции, превращающуюся в электрическую.
17. Как зависит ЭДС топливного элемента от активностей и парциальных давлений реагентов, продуктов токообразующей реакции и от температуры?
18. Хранение водорода в газообразном виде. Преимущества и недостатки. Способы улучшения показателей
19. Основные виды топлив и окислителей, используемых в топливных элементах. Понятие батареи топливных элементов, электрохимического генератора, электрохимической энергоустановки

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Рассчитайте ЭДС и термический КПД метано-воздушного топливного элемента при температуре  $1300\text{ K}$  и давлениях метана и воздуха  $200\text{ кПа}$ , паров воды  $50\text{ кПа}$ .

**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. По уравнению токообразующей реакции составьте схему гальванического элемента. Напишите уравнения анодного и катодного процессов. Рассчитайте стандартную ЭДС.
2. Определение электролизера, его принципиальное отличие от топливного элемента. Классификация электролизеров, основные типы электролизеров
3. Потери энергии в электролизере. КПД электролизера
4. Потери на поляризацию и способы их уменьшения. Омические потери и способы их уменьшения
5. Эксергетическая диаграмма топливного элемента, батареи топливных элементов, электрохимического генератора, электрохимической энергоустановки. КПД топливного элемента, батареи топливных элементов, электрохимического генератора, электрохимической энергоустановки
6. Понятие эксергии. Эксергетический анализ и эксергетический баланс электрохимической энергоустановки и ее компонентов
7. Газификация угля как способ получения водорода. Уравнения процессов, энергетические и экологические характеристики
8. Конверсия органических топлив как способ получения водорода. Уравнения процессов, энергетические и экологические характеристики
9. Основные составные части топливного элемента: электроды, электролит. Назначение и основные типы
10. Энергетические характеристики электролизеров. Особенности анодного и катодного процессов при электролизе
11. Термохимические циклы как способы получения водорода. Уравнения процессов, энергетические и экологические характеристики
12. Как определить удельные затраты электроэнергии на производство одного нормального метра кубического водорода в электролизере.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Чему равны удельные энергозатраты на получение  $1\text{ м}^3$  водорода при нормальных условиях и среднем напряжении на одной электролизной ячейке  $1,8\text{ В}$ ? Как рассчитать тепло, выделяемое при работе электролизера? Что такое термонейтральная ЭДС?

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*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*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*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.