

**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: Теплоэнергетика и теплотехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Водородная и электрохимическая энергетика**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	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)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28B

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28B

(подпись)

А.Н. Рогалев

(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-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере теплоэнергетики и теплотехники

ИД-2 Знает устройство, принцип работы и определяет показатели функционирования оборудования тепловых и атомных электростанций

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Области применения водорода (Контрольная работа)
2. Хранение водорода (Контрольная работа)
3. Электродные потенциалы. Электролиты (Контрольная работа)
4. Электролиз воды. Топливные элементы (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	14
Электролиз воды					
Электролиз воды	+				
Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах.					
Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах.		+			
Технологии хранения водорода					
Технологии хранения водорода			+		
Использование водорода					
Использование водорода				+	
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-2ПК-1 Знает устройство, принцип работы и определяет показатели функционирования оборудования тепловых и атомных электростанций	Знать: проблемы создания элементной базы (электрокатализаторы и электролиты) для разрабатываемых водородных электрохимических технологий основные термины, определения и понятия (применительно к элементам водородной и электрохимической энергетики) основы конструктивного выполнения энергоустановок водородной энергетики, (электролизеров воды, топливных элементов, систем хранения водорода) с целью контроля норм расхода всех видов энергоресурсов	Электродные потенциалы. Электролиты (Контрольная работа) Электролиз воды. Топливные элементы (Контрольная работа) Хранение водорода (Контрольная работа) Области применения водорода (Контрольная работа)

		<p>Уметь: рассчитывать и анализировать электрохимические процессы в установках водородной энергетики, проводить материальные, тепловые, гидравлические расчеты электрохимических энергоустановок различного типа, составлять математические модели и проводить оптимизационные расчеты элементов, батарей, генераторов и электрохимических энергоустановок</p>	
--	--	--	--

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

### КМ-1. Электродные потенциалы. Электролиты

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

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

#### Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области электролитов

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные термины, определения и понятия (применительно к элементам водородной и электрохимической энергетики)	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. 2. Удельная электропроводность 10 М раствора КОН при температурах 0 и 60 оС составляет, соответственно, 0,27 и 1,07 См/см. Рассчитать энергию активации проводимости такого раствора.
--	---

#### 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. Электролиз воды. Топливные элементы

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

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

#### Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области электролиза и топливных элементов

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основы конструктивного выполнения энергоустановок водородной энергетики, (электролизеров воды, топливных элементов, систем хранения водорода) с целью контроля норм расхода всех видов энергоресурсов	1. Определите стандартную ЭДС водородно-кислородного топливного элемента, в котором при $T = 298 \text{ K}$ протекает реакция $\text{H}_2(\text{г}) + 1/2\text{O}_2(\text{г}) = \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ . 2. Определите стандартную противо-ЭДС электролизера воды, в котором протекает реакция $\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) = \text{H}_2(\text{г}) + 1/2\text{O}_2(\text{г})$ при $T = 298 \text{ K}$ .
--	--

**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. Хранение водорода**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

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

**Краткое содержание задания:**

Работа ориентирована на проверку знаний в области хранения водорода

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: проблемы создания элементной базы (электрокатализаторы и электролиты) для разрабатываемых водородных электрохимических технологий	1. Для каких процессов водород используется в нефтепереработке? Приведите примеры реакций 2. Каким образом водород применяется в энергетике? 3. Рассчитайте объем водорода, находящийся в металлгидридном реакторе при температуре $250 \text{ C}$ , если в реакторе находится сплав $\text{LaNi}_5$ 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

#### КМ-4. Области применения водорода

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

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

#### Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области применения водорода

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: рассчитывать и анализировать электрохимические процессы в установках водородной энергетики, проводить материальные, тепловые, гидравлические расчеты электрохимических энергоустановок различного типа, составлять математические модели и проводить оптимизационные расчеты элементов, батарей, генераторов и электрохимических энергоустановок</p>	<p>1. В реакции разложения ацетона <math>\text{CH}_3\text{COCH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{CO} + \text{H}_2</math> с общим порядком, равным единице, константа скорости <math>k_1 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}</math>. Определите концентрацию ацетона (<math>\text{CH}_3\text{COCH}_3</math>) и водорода, скорость реакции через 1 час и через 5 часов, если начальная концентрация ацетона составляла 0,2 моль/л.</p> <p>2. Для каких целей водород используется в металлургии? Приведите примеры реакций.</p> <p>3. Для каких целей водород используется в стекольной и электронной промышленности? Приведите реакции процессов эпитаксии кристаллов кремния.</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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 8 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

Билет №1

1. Какие основные физико-химические параметры ионообменной мембраны существенно влияют на характеристики электрохимических устройств с твердополимерным электролитом (ТПЭ)?
2. Что представляет собой мембранно-электродный блок (МЭБ) ТПЭ? В чем различие МЭБ электролизной ячейки и топливного элемента?
3. Проведите материальный и тепловой расчет электролизной батареи с твердополимерным электролитом мощностью 10 кВт.

### 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-2пк-1 Знает устройство, принцип работы и определяет показатели функционирования оборудования тепловых и атомных электростанций

### Вопросы, задания

1. Какие основные способы хранения газообразного водорода вы знаете? В чем их особенности?
2. В чем заключается главный недостаток хранения газообразного водорода под давлением?
3. Какие сосуды используются при хранении газообразного водорода под давлением?
4. В чем преимущества и недостатки хранения водорода в жидком состоянии?
5. Что такое орто-пара-конверсия водорода? Каким образом она влияет на эксплуатацию систем хранения жидкого водорода?
6. Каким основным требованиям должны удовлетворять носители водорода?
7. На какие виды делят простые гидриды? В чем их отличия?
8. Какими преимуществами и недостатками как носитель водорода обладают амиды?
9. Назовите жидкие носители водорода. Какими преимуществами и недостатками они обладают?
10. В чем преимущества и недостатки таких носителей, как наноматериалы, полимерные материалы?
11. Как выглядит формула объединенного закона Фарадея? Объясните, какие величины в нее входят. Для каких расчетов применяется указанный закон?
12. Как определяется ЭДС? Что такое термонеутральная ЭДС? Какую зависимость характеризует уравнение Нернста? Как оно выглядит?
13. Из каких компонентов складывается напряжение электролиза? Какова их природа?
14. Какие факторы влияют на фарадеевский КПД? Как температура и рН электролита влияют на ЭДС?
15. Какие основные виды электролизеров вы знаете? В чем их особенности?
16. Из каких основных компонентов состоит электролизная ячейка?

Какие материалы используются для изготовления компонентов электролизеров с ТПЭ?

17. Рассчитайте объем кислорода (н.у.), необходимый для 5 ч работы водородно-кислородного элемента, разряжающегося непрерывным током 0,1 А.
18. Рассчитайте Теоретически возможное количество электричества, которое можно получить в водородно-кислородном элементе при с.с. и 298 К в расчете на 1 моль  $O_2$ .
19. Рассчитайте максимальное время работы кислородно-водородного топливного элемента при постоянном токе разряда 0,27 А при исходном наличии в баллонах 11,2 л водорода и 5,5 л кислорода.
20. Рассчитайте Теоретически возможную энергию, которую можно получить в водородно-кислородном элементе при с.с. и 298 К в расчете на 1 моль  $O_2$ .
21. Рассчитайте ЭДС кислородно-водородного топливного элемента при рабочей температуре 250 С,  $pH=10$  и относительных парциальных давлениях газов  $p_{H_2}=p_{O_2}=10$ .
22. Рассчитайте Теоретически возможное количество электричества, которое можно получить в водородно-кислородном элементе при с.с. и 298 К в расчете на 1 моль  $H_2$ .
23. Для каких целей водород используется в химической промышленности?
24. Производство какого продукта химической промышленности является основным потребителем водорода? Приведите основную реакцию.
25. Приведите реакцию производства метанола. Для каких целей используют метанол?
26. Для каких процессов водород используется в нефтепереработке? Приведите примеры реакций.
27. Каким образом водород применяется в энергетике?
28. Для каких целей водород используется в металлургии? Приведите примеры реакций.
29. Для каких целей водород используется в стекольной и электронной промышленности? Приведите реакции процессов эпитаксии кристаллов кремния.
30. Приведите примеры реакций гидрирования непредельных углеводородов, гетероциклических органических соединений.
31. Каким образом водород можно использовать на транспорте и в авиации?

### Материалы для проверки остаточных знаний

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.  
Верный ответ: 26,8 %
2. Удельная электропроводность 10 М раствора КОН 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.
3. Определите стандартную ЭДС водородно-кислородного топливного элемента, в котором при Т 298 К протекает реакция  $H_2(г) + 1/2O_2(г) = H_2O(ж)$ .  
Верный ответ: 1,229 В.
4. Определите стандартную против-ЭДС электролизера воды, в котором протекает реакция  $H_2O(ж) = H_2(г) + 1/2O_2(г)$  при Т=298К.  
Верный ответ: 1,229 В.
5. Рассчитайте объем водорода, находящийся в металлогидридном реакторе при температуре 250С, если в реакторе находится сплав  $LaNi_5$  в количестве 3 кг. Известно, что реактор заполнен на половину своей емкости.  
Верный ответ: 230 л  $H_2$

### II. Описание шкалы оценивания

Оценка: зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена верно или с несущественными недостатками

*Оценка:* не зачтено

*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.