

**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
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	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

2. ПК-4 Способен к разработке мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их элементов

ИД-1 выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

ИД-2 анализирует научную проблематику области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

ИД-3 выполняет эксперименты по параметрам и характеристикам химических реакторов, топливных элементов, электрохимических энергоустановок, установок водородной энергетики и их элементов в соответствии с установленными полномочиями

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	13
Электролиз воды					
Электролиз воды		+			
Использование водорода в топливных элементах. Другие способы производства водорода.					

Использование водорода в топливных элементах. Другие способы производства водорода.		+		
Технологии хранения водорода				
Технологии хранения водорода			+	
Использование водорода				
Использование водорода				+
Вес КМ:	25	25	25	25

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

БРС курсовой работы/проекта

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %		
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
	Срок КМ:	8	12
Расчет батареи электролизных элементов различной производительности на основе щелочных, твердополимерных либо высокотемпературных электрохимических групп.		+	+
Оптимизация эксплуатационных и конструктивных параметров, в качестве функции оптимизации выбрать удельные затраты на производство водорода		+	+
Вес КМ:		50	50

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 _{ПК-2} обосновывает потребности в техническом материальном обеспечении эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов	Знать: основные термины, определения и понятия (применительно к элементам водородной и электрохимической энергетики) Уметь: рассчитывать технико-экономические показатели с целью их использования для проектирования электрохимических энергоустановок водородной энергетики и аккумуляторов	Электродные потенциалы. Электролиты (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-2 _{ПК-2} осуществляет контроль норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и их элементов	Знать: основы конструктивного выполнения энергоустановок водородной энергетики, (электролизеров воды, топливных элементов, систем хранения водорода) с целью контроля норм	Электролиз воды. Топливные элементы (Контрольная работа)

		<p>расхода всех видов энергоресурсов</p> <p>Уметь:</p> <p>осуществлять контроль норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и их элементов</p>	
ПК-4	ИД-1 _{ПК-4} выполняет сбор, обработку, анализ и обобщение отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов	<p>Знать:</p> <p>источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет) по водородной и электрохимической энергетике</p> <p>Уметь:</p> <p>анализировать зарубежную и отечественную научно-техническую информацию в области водородной и электрохимической энергетики</p>	Хранение водорода (Контрольная работа)
ПК-4	ИД-2 _{ПК-4} анализирует научную проблематику области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов	<p>Знать:</p> <p>проблемы создания элементной базы (электрокатализаторы и электролиты) для разрабатываемых водородных электрохимических технологий</p>	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>	
ПК-4	<p>ИД-3_{ПК-4} выполняет эксперименты по параметрам и характеристикам химических реакторов, топливных элементов, электрохимических энергоустановок, установок водородной энергетики и их элементов в соответствии с установленными полномочиями</p>	<p>Знать: методику проведения математических экспериментов по параметрам и характеристикам исследуемых объектов Уметь: выполнять математические эксперименты по параметрам и характеристикам химических реакторов, топливных элементов,</p>	<p>Хранение водорода (Контрольная работа) Области применения водорода (Контрольная работа)</p>

		электрохимических энергоустановок, установок водородной энергетики и их элементов в соответствии с установленными полномочиями	
--	--	--	--

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.
Уметь: рассчитывать технико-экономические показатели с целью их использования для проектирования электрохимических энергоустановок водородной энергетики и аккумуляторов	1. 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 $\text{H}_2(\text{г}) + 1/2\text{O}_2(\text{г}) = \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$.
Уметь: осуществлять контроль норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и их элементов	1. 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: источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет) по водородной и электрохимической энергетике	1. Для каких процессов водород используется в нефтепереработке? Приведите примеры реакций 2. Каким образом водород применяется в энергетике?
Уметь:	1. Рассчитайте объем водорода, находящийся в

анализировать зарубежную и отечественную научно-техническую информацию в области водородной и электрохимической энергетики	металлогидридном реакторе при температуре 250С, если в реакторе находится сплав LaNi5 в количестве 3 кг. Известно, что реактор заполнен на половину своей емкости.
Уметь: выполнять математические эксперименты по параметрам и характеристикам химических реакторов, топливных элементов, электрохимических энергоустановок, установок водородной энергетики и их элементов в соответствии с установленными полномочиями	1. В чем преимущества и недостатки хранения водорода в жидком состоянии?

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:

Знать: проблемы создания элементной базы (электрокатализаторы и электролиты) для разрабатываемых водородных электрохимических технологий	1. Для каких целей водород используется в металлургии? Приведите примеры реакций.
Знать: методику проведения математических экспериментов по	1. Для каких целей водород используется в стекольной и электронной промышленности?

параметрам и характеристикам исследуемых объектов	Приведите реакции процессов эпитаксии кристаллов кремния.
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	1. В реакции разложения ацетона $\text{CH}_3\text{COCH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{CO} + \text{H}_2$ с общим порядком, равным единице, константа скорости $k_1 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Определите концентрацию ацетона (CH_3COCH_3) и водорода, скорость реакции через 1 час и через 5 часов, если начальная концентрация ацетона составляла 0,2 моль/л.

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: Экзамен

Пример билета

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-1_{ПК-2} обосновывает потребности в техническом и материальном обеспечении эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов

Вопросы, задания

1. В чем преимущества и недостатки хранения водорода в жидком состоянии?
2. Какие сосуды используются при хранении газообразного водорода под давлением?
3. В чем заключается главный недостаток хранения газообразного водорода под давлением?
4. Какие основные виды электролизеров вы знаете? В чем их особенности?
5. Каким образом водород можно использовать на транспорте и в авиации?

Материалы для проверки остаточных знаний

1. 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.

Верный ответ: 230 л H₂

2. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ПК-2} осуществляет контроль норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и их элементов

Вопросы, задания

1. Как определяется ЭДС? Что такое термонеутральная ЭДС? Какую зависимость характеризует уравнение Нернста? Как оно выглядит?
2. Как выглядит формула объединенного закона Фарадея? Объясните, какие величины в нее входят. Для каких расчетов применяется указанный закон?
3. В чем преимущества и недостатки таких носителей, как наноматериалы, полимерные материалы?

4. Назовите жидкие носители водорода. Какими преимуществами и недостатками они обладают?
5. Какими преимуществами и недостатками как носитель водорода обладают амиды?
6. На какие виды делят простые гидриды? В чем их отличия?
7. Каким основным требованиям должны удовлетворять носители водорода?
8. Что такое орто-пара-конверсия водорода? Каким образом она влияет на эксплуатацию систем хранения жидкого водорода?

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Определите стандартную против-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 $T=298\text{K}$.

Верный ответ: 1,229 В.

3. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-4} выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

Вопросы, задания

1. Рассчитайте ЭДС кислородно-водородного топливного элемента при рабочей температуре 250 С, $p_{\text{H}}=10$ и относительных парциальных давлениях газов $p_{\text{H}_2}=p_{\text{O}_2}=10$.
2. Рассчитайте Теоретически возможную энергию, которую можно получить в водородно-кислородном элементе при с.с. и 298 К в расчете на 1 моль O_2 .
3. 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.
4. 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 .
5. Рассчитайте объем кислорода (н.у.), необходимый для 5 ч работы водородно-кислородного элемента, разряжающегося непрерывным током 0,1 А.
6. Приведите примеры реакций гидрирования непредельных углеводородов, гетероциклических органических соединений
7. Из каких основных компонентов состоит электролизная ячейка?
Какие материалы используются для изготовления компонентов электролизеров с ТПЭ?
8. Какие факторы влияют на фарадеевский КПД?
9. Из каких компонентов складывается напряжение электролиза? Какова их природа?

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Определите стандартную ЭДС водородно-кислородного топливного элемента, в котором при $T=298\text{K}$ протекает реакция $\text{H}_2(\text{г}) + 1/2\text{O}_2(\text{г}) = \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$.

Верный ответ: 1,229 В.

4. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ПК-4} анализирует научную проблематику области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

Вопросы, задания

1. Каким образом водород применяется в энергетике?
2. Для каких процессов водород используется в нефтепереработке? Приведите примеры реакций.
3. Приведите реакцию производства метанола. Для каких целей используют метанол?
4. Производство какого продукта химической промышленности является основным потребителем водорода? Приведите основную реакцию.

5. Для каких целей водород используется в химической промышленности?
6. Рассчитайте Теоретически возможное количество электричества, которое можно получить в водородно-кислородном элементе при с.с. и 298 К в расчете на 1 моль H₂.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. 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.

5. Компетенция/Индикатор: ИД-3_{ПК-4} выполняет эксперименты по параметрам и характеристикам химических реакторов, топливных элементов, электрохимических энергоустановок, установок водородной энергетики и их элементов в соответствии с установленными полномочиями

Вопросы, задания

1. Какие основные способы хранения газообразного водорода вы знаете? В чем их особенности?
2. Для каких целей водород используется в стекольной и электронной промышленности? Приведите реакции процессов эпитаксии кристаллов кремния
3. Для каких целей водород используется в металлургии? Приведите примеры реакций

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 %

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.

Для курсового проекта/работы:

8 семестр

Форма проведения: Защита КП/КР

I. Процедура защиты КП/КР

выступление студента по теме и результатам работы ответы на вопросы членов комиссии, в которую входят преподаватели дисциплин профессионального цикла

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.