

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

Рабочая программа дисциплины
ВОДОРОДНАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.01.18
Трудоемкость в зачетных единицах:	8 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	8 семестр - 28 часа;
Практические занятия	8 семестр - 28 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	8 семестр - 51,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	8 семестр - 0,3 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кулешов Н.В.
	Идентификатор	Rc9c42de9-KuleshovNV-bc390ed6

Н.В. Кулешов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение основ расчета и анализа процессов при работе электрохимических энергоустановок водородной энергетики и основ их проектирования

Задачи дисциплины

- овладение основами расчета и анализа процессов при работе электрохимических энергоустановок водородной энергетики;
- овладение основами проектирования электрохимических энергоустановок водородной энергетики.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере теплоэнергетики и теплотехники	ИД-2 _{ПК-1} Знает устройство, принцип работы и определяет показатели функционирования оборудования тепловых и атомных электростанций	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- основы конструктивного выполнения энергоустановок водородной энергетики, (электролизеров воды, топливных элементов, систем хранения водорода) с целью контроля норм расхода всех видов энергоресурсов;- проблемы создания элементной базы (электрокатализаторы и электролиты) для разрабатываемых водородных электрохимических технологий;- основные термины, определения и понятия (применительно к элементам водородной и электрохимической энергетики). <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- 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.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплоэнергетика и теплотехника (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Знать законы физики, химии, математики, физической химии, теоретической электрохимии
- знать теоретические основы химических источников тока
- уметь анализировать зарубежную и отечественную научно-техническую информацию в области водородной и электрохимической энергетики
- 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
- уметь рассчитывать технико-экономические показатели с целью их использования для проектирования электрохимических энергоустановок водородной энергетики и аккумуляторов

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Электролиз воды	26	8	8	-	8	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Электролиз воды" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Электролиз воды" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 371-386 [3], стр. 6-40 [4], стр. 5-64 [5], стр.5-45</p>
1.1	Электролиз воды	26		8	-	8	-	-	-	-	-	10	-	
2	Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах.	24		8	-	8	-	-	-	-	-	-	8	
2.1	Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах.	24	8	-	8	-	-	-	-	-	-	8	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах." <u>Изучение материалов литературных источников:</u></p>

													[1], стр. 25-150
3	Технологии хранения водорода	20	6	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Технологии хранения водорода"
3.1	Технологии хранения водорода	20	6	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Технологии хранения водорода" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], стр.64-72
4	Использование водорода	20	6	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Использование водорода"
4.1	Использование водорода	20	6	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Использование водорода" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], стр. 110-118
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	108.0	28	-	28	-	-	-	-	0.3	34	17.7	
	Итого за семестр	108.0	28	-	28	-	-	-	-	0.3	51.7		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Электролиз воды

1.1. Электролиз воды

Основные понятия водородной энергетики. Место электрохимического способа производства водорода. Термодинамика процесса электролиза воды. Теоретическое напряжение разложения. Уравнение Нернста. Скорость электрохимических реакций. Перенапряжение выделения водорода и кислорода. Механизмы анодного выделения кислорода и катодного выделения водорода. Количественные соотношения при электролизе воды. Тепловой баланс электролизной ячейки. Напряжение на электрохимической ячейке. Виды электролизеров. Энергетические затраты на производство водорода. Техно-экономические характеристики электролизеров. Щелочной электролиз воды. Особенности падения напряжения в ячейке щелочного электролиза. Катализаторы катодного выделения водорода и анодного выделения кислорода. Твердополимерный электролиз воды. Особенности поляризации на границе катализатор – твердополимерный электролит. Мембранно –электродные блоки. Физико – химические характеристики протонпроводящих мембран. Кластерно-сетчатая модель ТПЭ. Переноса протона в структурах с водородной связью. Высокотемпературный электролиз. Напряжение на ячейке. Проблема создания высокотемпературной керамической перегородки. Тепловыделение в системе. Электродные материалы. Планарные и трубчатые элементы. Термоэлектрохимические циклы..

2. Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах.

2.1. Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах.

Производство водорода конверсией природного газа. Углекислотная конверсия природного газа. Сопоставительный анализ окислительных конверсий природного газа. Расчеты процессов окислительной конверсии природного газа. Производство водорода термохимической переработкой конденсированного топлива. Газификация конденсированного топлива. Реакторы и установки газификации. Пиролиз конденсированного топлива. Термическая переработка нефти и нефтепродуктов. Производство водорода при использовании вторичных материальных и энергетических ресурсов. Общие сведения, принцип работы и КПД топливных элементов. Классификация топливных элементов. Принципиальная схема топливного элемента с ТПЭ. Электродокаталитический слой. Носители электродокаталитического слоя. Проблема снижения закладки драгметаллов. Газодиффузионный слой. Биполярные пластины. Математическая модель массопереноса в зоне воздушного электрода ТЭ. Зависимость плотности тока от геометрии канала. Распределение плотности тока от пористости газодиффузионного слоя. Водно-щелочные топливные элементы. Принципиальная схема водно-щелочного топливного элемента. Вольт-амперные и поляризационные характеристики. Элементная база. Топливные элементы с ТПЭ с прямым окислением спиртов. Фосфорноокислые топливные элементы. Расплавно-карбонатные топливные элементы..

3. Технологии хранения водорода

3.1. Технологии хранения водорода

Способы хранения и транспортировки водорода. Техно-экономическое сравнение различных способов хранения и транспортировки: газобаллонного, в жидком виде, хранение в гидридах металлов и др. Эффективность хранения сжатого водорода при различных давлениях. Энергозатраты на компримирование. Работа адиабатического сжатия водорода.

Классификация контейнеров для хранения водорода под давлением. Хранение жидкого водорода. Крупномасштабное, геологическое хранение водорода. Хранение жидкого водорода, в виде гидридов и в носителях. Хранение водорода в гидридах. Аланты (алюмогидриды). Борогидриды. Амиды. Гидриды металлов, сплавов, интерметаллидов. Идеализированные изотермы реакции, кривые Вант Гоффа, РСТ диаграммы процессов адсорбция-десорбция водорода. Классификация и примеры сплавов – накопителей водорода..

4. Использование водорода

4.1. Использование водорода

Физико-химические свойства водорода. Ортоводород и параводород. Изотопы водорода. Основные свойства протия, дейтерия и трития. Химия водорода в металлургии. Водород в нефтепереработке. Водород в пищевой промышленности. Водород на транспорте, в авиации и ракетостроении. Водород в электронной, стекольной и фармацевтической промышленности. Сглаживание пиковых нагрузок в энергосистеме. Использование других электрохимических систем в недельном и сезонном процессе выравнивания нагрузки. Энерготехнологические комплексы на основе водорода. Принципиальная схема атомно-водородного энергоблока. Сравнительные характеристики ГТУ при использовании в качестве топлива водорода и стандартного углеводорода. Гибридные (комбинированные) схемы на основе возобновляемых источников. Водород на транспорте. Заправочные водородные станции. Опасность обращения с водородом. Воздействие водорода на конструкционные материалы. Принципы обеспечения пожаровзрывобезопасности водорода. Технические средства обеспечения водородной безопасности..

3.3. Темы практических занятий

1. Расчет термодинамических параметров электрохимических систем различного типа (2 часа);
2. Проведение конструкционного расчёта. (2 часа);
3. Расчет электролизеров и ТЭ для ВИЭ с водородным накоплением (2 часа);
4. Расчет топливных элементов (ТЭ) и энергоустановок на их основе (2 часа);
5. Проведение гидравлического расчета электролизера (2 часа);
6. Материальный расчет электролизных установок различной производительности (2 часа);
7. Расчет омических потерь в межэлектродном пространстве (2 часа);
8. Расчет кинетических параметров электролиза воды (2 часа);
9. Расчет электродных потенциалов, электродных поляризации и напряжений. (2 часа);
10. Основные термины, определения и понятия (2 часа);
11. Физико-химические свойства водорода (2 часа);
12. Расчет полиномов вольтамперной и ресурсной характеристик электролизера (2 часа);
13. Оптимизация эксплуатационных параметров электролизеров. (2 часа);
14. Проведение теплового расчета электролизера (2 часа).

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Электролиз воды"

2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах."
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Технологии хранения водорода"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Использование водорода"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
основные термины, определения и понятия (применительно к элементам водородной и электрохимической энергетики)	ИД-2ПК-1	+				Контрольная работа/Электродные потенциалы. Электролиты
проблемы создания элементной базы (электрокатализаторы и электролиты) для разрабатываемых водородных электрохимических технологий	ИД-2ПК-1			+		Контрольная работа/Хранение водорода
основы конструктивного выполнения энергоустановок водородной энергетики, (электролизеров воды, топливных элементов, систем хранения водорода) с целью контроля норм расхода всех видов энергоресурсов	ИД-2ПК-1		+			Контрольная работа/Электролиз воды. Топливные элементы
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	ИД-2ПК-1				+	Контрольная работа/Области применения водорода

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

8 семестр

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)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №8)

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

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Коровин, Н. В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки / Н. В. Коровин. – М. : Изд-во МЭИ, 2005. – 280 с. - ISBN 5-7046-1185-0. ;
2. Коровин Н. В., Кулешов Н. В., Гончарук О. Н., Камышова В. К., Ланская И. И., Мясникова Н. В., Осина М. А., Удрис Е. Я., Яштулов Н. А.- "Общая химия. Теория и задачи", (5-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (492 с.)
<https://e.lanbook.com/book/158949>;
3. Волощенко, Г. Н. Электролизеры и топливные элементы с твердооксидным электролитом и энергоустановки на их основе : учебное пособие по курсу "Основы инженерного проектирования высокотемпературных электрохимических энергоустановок" по направлению "Теплоэнергетика", специализация "Электрохимическая и водородная энергетика" / Г. Н. Волощенко, Н. В. Коровин, Ю. А. Славнов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Издательский дом МЭИ, 2010. – 44 с. - ISBN 978-5383-00456-2 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=1486>;
4. Кулешов, Н. В. Электрохимические технологии в энергетике : учебное пособие по курсам "Водородная и электрохимическая энергетика", "Водородные накопители энергии", "Энергосбережение в электрохимических технологиях", "Тепломассоперенос в установках водородной и электрохимической энергетика", "Тепловые процессы в электрохимических системах" по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" по профилям "Автономные энергетические системы" и "Автономные энергетические системы. Водородная и электрохимическая энергетика" / Н. В. Кулешов, Ю. А. Славнов, В. Н. Кулешов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2017. – 119 с. - ISBN 978-5-7046-1868-3 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10076>;

5. Кулешов, Н. В. Электрохимическое получение водорода : учебное пособие по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / Н. В. Кулешов, В. Н. Кулешов, Ю. А. Славнов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 76 с. - ISBN 978-5-7046-2143-0 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10695>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
9. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
10. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
11. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
12. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	А-409, Учебная аудитория каф. "ХиЭЭ"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-409, Учебная аудитория каф. "ХиЭЭ"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-413/7, Кабинет сотрудников каф. "ХиЭЭ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, шкаф для документов, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер,

		кондиционер
Помещения для консультирования	А-413/7, Кабинет сотрудников каф. "ХиЭЭ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, шкаф для документов, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	А-413/9, Методический кабинет каф. "ХиЭЭ"	рабочее место сотрудника, стол, стол письменный, набор инструментов для профилактического обслуживания оборудования, инвентарь учебный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**Водородная и электрохимическая энергетика**

(название дисциплины)

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

КМ-1 Электродные потенциалы. Электролиты (Контрольная работа)

КМ-2 Электролиз воды. Топливные элементы (Контрольная работа)

КМ-3 Хранение водорода (Контрольная работа)

КМ-4 Области применения водорода (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	14
1	Электролиз воды					
1.1	Электролиз воды		+			
2	Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах.					
2.1	Производство водорода из органического сырья. Использование водорода в топливных элементах.			+		
3	Технологии хранения водорода					
3.1	Технологии хранения водорода				+	
4	Использование водорода					
4.1	Использование водорода					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25