

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

Рабочая программа дисциплины
ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.09.09
Трудоемкость в зачетных единицах:	8 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	8 семестр - 14 часов;
Практические занятия	8 семестр - 28 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	8 семестр - 65,7 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 2026

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Григорьев С.А.
	Идентификатор	R7ba085e0-GrigoryevSA-87939df5

С.А. Григорьев

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

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение тепловых процессов, протекающих в электрохимических системах для проведения тепловых расчетов при проектировании оборудования и осуществления контроля норм расхода всех видов энергоресурсов при работе автономных энергетических систем и их элементов.

Задачи дисциплины

- изучение и анализ тепловых процессов в автономных энергетических системах;
- овладение основами расчета потоков тепла и массы вещества в электрохимических системах;
- определение влияния тепловых процессов на энергоэффективность топливных элементов, химических источников тока и энергосбережение при производстве водорода электролизом воды.

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-2 Способен к организации технического и материального обеспечения эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов	ИД-1 _{ПК-2} 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.
ПК-2 Способен к организации технического и материального обеспечения эксплуатации автономных энергетических систем и их элементов	ИД-2 _{ПК-2} осуществляет контроль норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и их элементов	знать: - способы проведения контроля норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и их элементов, методы проведения расчета затрат электроэнергии в электрохимических системах.. уметь: - проводить расчет потребностей автономных энергетических систем в энергоресурсах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы химической термодинамики

- знать основы процессов, протекающих в установках водородной энергетики, аккумуляторах, первичных элементах, топливных элементах, электрохимических энергоустановках
- знать конструкцию, параметры и схемы установок водородной энергетики и электрохимических энергоустановок
- знать основы теплообмена
- знать критерии оценки эффективности работы теплообменного оборудования
- уметь рассчитывать характеристики электрохимических систем

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	Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем	18	8	2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 13 - 21 [4], стр. 402 – 405, 440 - 443 [6], стр. 8 – 40 [7], стр. 371-386</p>
1.1	Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	
2	Эксплуатация автономных энергетических систем, включающие электролизеры воды и топливные элементы	24		4	-	8	-	-	-	-	-	12	-	
2.1	Эксплуатация автономных энергетических систем, включающие электролизеры воды и	24		4	-	8	-	-	-	-	-	12	-	

	топливные элементы												систем, включающие электролизеры воды и топливные элементы" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 189 - 199, 59 - 72, 176 – 188, 141-160 [2], стр. 32 – 43, 9 - 18 [5], стр. 98 – 112
3	Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах	24	4	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.1	Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах	24	4	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 19 -32 [3], стр. 20 – 3, 43 - 55 [5], стр. 4 – 11
4	Технико-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем	24	4	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Технико-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
4.1	Технико-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем	24	4	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Технико-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], стр. 225 - 252, 456 – 459, 343 - 352 [5], стр. 54 – 63, 112 – 117
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	

	Всего за семестр	108.0		14	-	28	-	-	-	-	0.3	48	17.7	
	Итого за семестр	108.0		14	-	28	-	-	-	0.3	48	17.7	65.7	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – 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. Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем

1.1. Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем

Общие сведения об установках водородной и электрохимической энергетики. Токообразующие реакции в топливных элементах. Термодинамика электрохимических реакций. Термонеutralная ЭДС. Термический КПД. Зависимость ЭДС и термонеutralной ЭДС от парциального давления топлива в смеси газов и от температуры. Тепловые эффекты электрохимических реакций при прохождении тока. Виды конверсии метана..

2. Эксплуатация автономных энергетических систем, включающие электролизеры воды и топливные элементы

2.1. Эксплуатация автономных энергетических систем, включающие электролизеры воды и топливные элементы

Современное состояние разработок в области создания высокотемпературных твердооксидных топливных элементов и электролизеров водяного пара. Массоперенос через твердый электролит и электроды. Конструкции электрохимических элементов и ячеек. Отечественный и международный опыт создания топливных элементов с расплавленным карбонатным электролитом. Исследования и разработки высокотемпературных топливных элементов твердым полимерным электролитом. Кислородная конверсия метана. Автотермический реформинг. Опыт разработки и эксплуатации щелочных и кислотных аккумуляторов. Тепловой разгон..

3. Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах

3.1. Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах

Гибридные энергоустановки на основе топливных элементов и ГТУ. Принципиальные схемы гибридных энергоустановок. Составление и решение уравнений материального баланса, уравнения энергетического баланса. Эффективное использование топлива в электрохимических энергоустановках. Утилизация высокопотенциального тепла ТЭ в ГТУ для улучшения технико-экономических показателей. Расчет КПД. Энергетические диаграммы..

4. Техничко-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем

4.1. Техничко-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем

Анализ энергоэффективности установок водородной и электрохимической энергетики. Понятие эксергия. Расчет потоков эксергии веществ и тепла. Эксергетический КПД электрохимических установок. Построение эксергетических диаграмм. Мероприятия по уменьшению расхода топлива в электрохимических энергоустановках и электроэнергии в электролизерах..

3.3. Темы практических занятий

1. Расчеты высокотемпературных электролизеров для производства водорода электролизом воды (4 часа).;
2. Гибридные энергоустановки. Проведение их тепловых расчетов.(2 часа).;
3. Расчеты процессов конверсии метана (2 часа).;
4. Расчеты массопереноса в электрохимических системах (2 часа).;

5. Расчеты энергетического и теплового балансов в установках электрохимической энергетики (2 часа).;
6. Расчеты тепловых и массообменных процессов в щелочных аккумуляторах (2 часа).;
7. Термодинамические расчеты электрохимических систем (2 часа);
8. Кислородная конверсия метана. Автотермический риформин (2 часа).;
9. Расчеты тепловыделения в электрохимических системах при прохождении тока (2 часа).;
10. Эксергетический анализ электрохимических систем. Расчеты эксергетического КПД, построение эксергетических диаграмм. (4 часа).;
11. Расчеты температурных зависимостей ЭДС и термонейтральной ЭДС (2 часа);
12. Расчеты КПД, построение энергетических диаграмм установок электрохимической энергетики (2 часа)..

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Эксплуатация автономных энергетических систем, включающие электролизеры воды и топливные элементы"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Технико-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем"

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 процессам в электрохимических системах)	ИД-1ПК-2	+				Контрольная работа/Термодинамика и тепловые эффекты в электрохимических системах
способы проведения контроля норм расхода всех видов энергоресурсов автономных энергетических систем и их элементов, методы проведения расчета затрат электроэнергии в электрохимических системах.	ИД-2ПК-2			+		Контрольная работа/Расчет затрат электроэнергии в высокотемпературных электролизерах
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	ИД-1ПК-2		+			Контрольная работа/Расчет тепловых процессов в электрохимических системах
проводить расчет потребностей автономных энергетических систем в энергоресурсах	ИД-2ПК-2				+	Контрольная работа/Расчет потребностей электрохимических систем в энергоресурсах

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. 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)

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. 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>;
3. Нестеров, Б. П. Системно-термодинамический расчет и анализ технологических схем электрохимических энергоустановок : учебное пособие по курсу "Электрохимические энергоустановки" по специальности "Промышленная теплоэнергетика" / Б. П. Нестеров ; Ред. Н. В. Кулешов ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 136 с. – ISBN 978-5-383-00079-3.;
4. Химические источники тока : Справочник / Ред. Н. В. Коровин, А. М. Скундин. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 740 с. – ISBN 5-7046-0899-X.;
5. 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>;

6. 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>;

7. 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>.

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-413/3, Компьютерный класс каф. "ХиЭЭ"	рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, ноутбук, компьютер

		персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-409, Учебная аудитория каф. "ХиЭЭ"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
Помещения для самостоятельной работы	А-413/3, Компьютерный класс каф. "ХиЭЭ"	рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, ноутбук, компьютер персональный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**Тепловые процессы в электрохимических системах**

(название дисциплины)

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

- КМ-1 Термодинамика и тепловые эффекты в электрохимических системах (Контрольная работа)
 КМ-2 Расчет тепловых процессов в электрохимических системах (Контрольная работа)
 КМ-3 Расчет затрат электроэнергии в высокотемпературных электролизерах (Контрольная работа)
 КМ-4 Расчет потребностей электрохимических систем в энергоресурсах (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	13
1	Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем					
1.1	Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем		+			
2	Эксплуатация автономных энергетических систем, включающие электролизеры воды и топливные элементы					
2.1	Эксплуатация автономных энергетических систем, включающие электролизеры воды и топливные элементы			+		
3	Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах					
3.1	Расход энергоресурсов в автономных энергетических системах и их элементах				+	
4	Технико-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем					
4.1	Технико-экономические показатели при эксплуатации электрохимических систем					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25