

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 2024

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	-	<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 <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные термины, определения и понятия термодинамики электрохимических систем" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 13 - 21 [4], стр. 402 – 405, 440 - 443 [6], стр. 8 – 40 [7], стр. 371-386
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	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, равнения 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. Эксергетический анализ электрохимических систем. Расчеты эксергетического КПД, построение эксергетических диаграмм. (4 часа).;
2. Расчеты КПД, построение энергетических диаграмм установок электрохимической энергетики (2 часа).;
3. Расчеты высокотемпературных электролизеров для производства водорода

- электролизом воды (4 часа).;
4. Гибридные энергоустановки. Проведение их тепловых расчетов.(2 часа).;
 5. Расчеты процессов конверсии метана (2 часа).;
 6. Расчеты массопереноса в электрохимических системах (2 часа).;
 7. Расчеты тепловыделения в электрохимических системах при прохождении тока (2 часа).;
 8. Расчеты температурных зависимостей ЭДС и термонеutralной ЭДС (2 часа);
 9. Расчеты энергетического и теплового балансов в установках электрохимической энергетики (2 часа).;
 10. Термодинамические расчеты электрохимических систем (2 часа);
 11. Расчеты тепловых и массообменных процессов в щелочных аккумуляторах (2 часа).;
 12. Кислородная конверсия метана. Автотермический риформин (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 энергетике", "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://elibr.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://elibr.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://elibr.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