

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: Цифровые двойники технических систем

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08.08
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: Тестирование 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	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Киндра В.О.
	Идентификатор	R429f7b35-KindraVO-2c9422f7

В.О. Киндра

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 методологических основ разработки математических моделей тепловых схем энергетических установок и проведение оптимизационных расчетов с использованием информационных технологий

Задачи дисциплины

- ознакомление с подходами к моделированию теплофизических процессов, протекающих в проточной части энергетического оборудования;
- рассмотрение термодинамических циклов производства электроэнергии и тепла;
- изучение алгоритмов теплового, конструкторского и поверочного расчетов тепловых схем энергетических комплексов;
- рассмотрение основных подходов к оптимизации параметров тепловых схем энергетических комплексов;
- ознакомление с подходами к расчету показателей энергоэффективности тепловых схем.

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 участвовать в разработке цифровых двойников технических систем	ИД-1 _{ПК-2} Принимает участие в разработке цифровых двойников технических систем на стадии проектирования	знать: - особенности физических процессов, протекающих в энергетическом оборудовании, и подходы к моделированию тепловых схем энергетических комплексов. уметь: - анализировать влияние параметров и структуры тепловых схем энергетических комплексов на эффективность производства электроэнергии и тепла.
ПК-2 Способен участвовать в разработке цифровых двойников технических систем	ИД-2 _{ПК-2} Принимает участие в разработке и внедрении цифровых двойников технических систем на стадии эксплуатации	знать: - принципы функционирования существующих термодинамических циклов для производства электроэнергии и тепла. уметь: - рассчитывать тепловые схемы энергетических комплексов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Базируется на уровне среднего общего образования.

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	Виды и характеристики энергетических комплексов	22	8	6	-	6	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Виды и характеристики энергетических комплексов"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Виды и характеристики энергетических комплексов"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 456-464</p>
1.1	Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных паротурбинных энергетических комплексов	8		2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных газотурбинных энергетических комплексов	8		2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
1.3	Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных парогазовых энергетических комплексов	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	

2	Термодинамический анализ тепловых схем	20	6	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Термодинамический анализ тепловых схем"</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Термодинамический анализ тепловых схем"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 65-76</p>
2.1	Подходы к расчету теплофизических свойств теплоносителей	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
2.2	Подходы к расчету теплофизических процессов, протекающих в энергетическом оборудовании	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
2.3	Методики теплового расчета тепловых схем энергетических комплексов	8	2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
3	Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании	18	6	-	6	-	-	-	-	-	6	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании"</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 91-99</p>
3.1	Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании паротурбинных энергетических комплексов	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
3.2	Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании газотурбинных энергетических комплексов	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
3.3	Конструкции и физические процессы,	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	

	протекающие в энергетическом оборудовании парогазовых энергетических комплексов													
4	Применение информационных технологий для моделирования тепловых схем энергетических комплексов	30	10	-	10	-	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Применение информационных технологий для моделирования тепловых схем энергетических комплексов"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Применение информационных технологий для моделирования тепловых схем энергетических комплексов"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 1-88</p>
4.1	Использование современных программных пакетов для проведения термодинамического анализа тепловых схем энергетических комплексов	12	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		
4.2	Использование современных программных пакетов для проведения конструкторского расчета основного и вспомогательного оборудования энергетических комплексов	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-		
4.3	Использование современных программных пакетов для проведения поверочных расчетов тепловых схем энергетических комплексов	12	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		

	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; 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. Виды и характеристики энергетических комплексов

1.1. Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных паротурбинных энергетических комплексов

Принцип работы и основные характеристики существующих паротурбинных энергетических комплексов. Принцип работы и основные характеристики перспективных паротурбинных энергетических комплексов.

1.2. Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных газотурбинных энергетических комплексов

Принцип работы и основные характеристики существующих газотурбинных энергетических комплексов. Принцип работы и основные характеристики перспективных газотурбинных энергетических комплексов.

1.3. Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных парогазовых энергетических комплексов

Принцип работы и основные характеристики существующих парогазовых энергетических комплексов. Принцип работы и основные характеристики перспективных парогазовых энергетических комплексов..

2. Термодинамический анализ тепловых схем

2.1. Подходы к расчету теплофизических свойств теплоносителей

Способы расчета теплофизических свойств однокомпонентных рабочих тел. Способы расчета теплофизических свойств многокомпонентных рабочих смесей.

2.2. Подходы к расчету теплофизических процессов, протекающих в энергетическом оборудовании

Подходы к расчету теплофизических процессов, протекающих в турбомашинах. Подходы к расчету теплофизических процессов, протекающих в теплообменных аппаратах. Подходы к расчету теплофизических процессов, протекающих в котельных установках. Подходы к расчету теплофизических процессов, протекающих в камерах сгорания.

2.3. Методики теплового расчета тепловых схем энергетических комплексов

Методика расчета тепловых схем паротурбинных установок. Методика расчета тепловых схем газотурбинных установок. Методика расчета тепловых схем парогазовых установок. Методики расчета тепловых схем перспективных энергоустановок.

3. Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании

3.1. Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании паротурбинных энергетических комплексов

Конструкции и физические процессы, протекающие в паротурбинной установке. Конструкции и физические процессы, протекающие в паровом котле.

3.2. Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании газотурбинных энергетических комплексов

Конструкции и физические процессы, протекающие в компрессоре газотурбинной установки. Конструкции и физические процессы, протекающие в камере сгорания

газотурбинной установки. Конструкции и физические процессы, протекающие в газовой турбине газотурбинной установки.

3.3. Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании парогазовых энергетических комплексов

Конструкции и физические процессы, протекающие в паровой турбине парогазовой установки. Конструкции и физические процессы, протекающие в котле-утилизаторе парогазовой установки.

4. Применение информационных технологий для моделирования тепловых схем энергетических комплексов

4.1. Использование современных программных пакетов для проведения термодинамического анализа тепловых схем энергетических комплексов

Создание математических моделей энергетического оборудования с использованием современных программных пакетов. Математическое моделирование тепловых схем энергетических комплексов с использованием современных программных пакетов.

4.2. Использование современных программных пакетов для проведения конструкторского расчета основного и вспомогательного оборудования энергетических комплексов

Обоснование выбора условий и исходных данных для проведения конструкторского расчета основного и вспомогательного оборудования энергетических комплексов. Проведение конструкторских расчетов основного и вспомогательного оборудования энергетических комплексов.

4.3. Использование современных программных пакетов для проведения поверочных расчетов тепловых схем энергетических комплексов

Обоснование выбора условий для проведения поверочного расчета основного и вспомогательного оборудования энергетических комплексов. Проведение поверочных расчетов тепловых схем энергетических комплексов.

3.3. Темы практических занятий

1. Расчет показателей энергетической эффективности сложных технических систем в энергетическом секторе;
2. Структурно-параметрическая оптимизация тепловых схем энергетических комплексов;
3. Тепловой, конструкторский и поверочные расчеты тепловых схем энергетических комплексов;
4. Инструменты для анализа термодинамических процессов, протекающих в теплообменных аппаратах, реализованные в специализированных программных пакетах;
5. Подходы к расчету процессов сжатия и расширения рабочей среды в турбомашинах, реализованные в специализированных программных пакетах;
6. Применение специализированных программных пакетов для расчета тепловых схем;
7. Термодинамический анализ современных циклов производства электрической энергии и тепла;
8. Обоснование выбора основных параметров схем сложных технических систем в энергетическом секторе;
9. Формирование требований к выбору и разработке основного и вспомогательного

оборудования тепловых схем энергетических комплексов.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Виды и характеристики энергетических комплексов"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Термодинамический анализ тепловых схем"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Применение информационных технологий для моделирования тепловых схем энергетических комплексов"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Термодинамический анализ тепловых схем"

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:						
особенности физических процессов, протекающих в энергетическом оборудовании, и подходы к моделированию тепловых схем энергетических комплексов	ИД-1 _{ПК-2}	+	+			Контрольная работа/КМ-2. Моделирование теплофизических процессов в энергетическом оборудовании
принципы функционирования существующих термодинамических циклов для производства электроэнергии и тепла	ИД-2 _{ПК-2}	+				Тестирование/КМ-1. Термодинамические циклы производства электроэнергии и тепла
Уметь:						
анализировать влияние параметров и структуры тепловых схем энергетических комплексов на эффективность производства электроэнергии и тепла	ИД-1 _{ПК-2}		+	+		Контрольная работа/КМ-3. Анализ структуры и параметров тепловых схем
рассчитывать тепловые схемы энергетических комплексов	ИД-2 _{ПК-2}		+		+	Контрольная работа/КМ-4. Моделирование тепловых схем энергетических комплексов

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. КМ-1. Термодинамические циклы производства электроэнергии и тепла (Тестирование)
2. КМ-2. Моделирование теплофизических процессов в энергетическом оборудовании (Контрольная работа)
3. КМ-3. Анализ структуры и параметров тепловых схем (Контрольная работа)
4. КМ-4. Моделирование тепловых схем энергетических комплексов (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 зачетной и экзаменационной 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. Рыжкин, В. Я. Тепловые электрические станции : Учебник для вузов по специальности "Тепловые электрические станции" / В. Я. Рыжкин ; Ред. В. Я. Гиршфельд . – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987 . – 328 с.;
2. Тишин С.Г.- "Тепловые и атомные электрические станции", Издательство: "МЭИ", Москва, 2020
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014196.html>;
3. Тепловые и атомные электрические станции : справочник / В. И. Абрамов, и др. ; Общ. ред. В. А. Григорьев, В. М. Зорин . – М. : Энергоиздат, 1982 . – 624 с. – (Теплоэнергетика и теплотехника) .;
4. Применение прикладных программных средств для решения задач промышленной теплоэнергетики : учебное пособие по курсам "Прикладные программные средства в теплоэнергетике", "Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических систем", "Численные методы моделирования" и др. по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. В. Федюхин, И. А. Султангузин, С. Ю. Курзанов, и др., Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 88 с. - ISBN 978-5-7046-1704-4 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=8176>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;

3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. 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. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
9. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
10. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
11. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
12. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
13. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
14. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
15. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ш-206, Лекционная аудитория	
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ш-205, Компьютерный класс	
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ш-205, Компьютерный класс	
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	Ш-206, Лекционная аудитория	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ш-107, Архив	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование энергетических комплексов

(название дисциплины)

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 КМ-1. Термодинамические циклы производства электроэнергии и тепла (Тестирование)
 КМ-2 КМ-2. Моделирование теплофизических процессов в энергетическом оборудовании (Контрольная работа)
 КМ-3 КМ-3. Анализ структуры и параметров тепловых схем (Контрольная работа)
 КМ-4 КМ-4. Моделирование тепловых схем энергетических комплексов (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	16
1	Виды и характеристики энергетических комплексов					
1.1	Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных паротурбинных энергетических комплексов		+	+		
1.2	Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных газотурбинных энергетических комплексов		+	+		
1.3	Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных парогазовых энергетических комплексов		+	+		
2	Термодинамический анализ тепловых схем					
2.1	Подходы к расчету теплофизических свойств теплоносителей			+	+	+
2.2	Подходы к расчету теплофизических процессов, протекающих в энергетическом оборудовании			+	+	+
2.3	Методики теплового расчета тепловых схем энергетических комплексов			+	+	+
3	Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании					
3.1	Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании паротурбинных энергетических комплексов				+	
3.2	Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании газотурбинных энергетических комплексов				+	
3.3	Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании парогазовых энергетических комплексов				+	

4	Применение информационных технологий для моделирования тепловых схем энергетических комплексов				
4.1	Использование современных программных пакетов для проведения термодинамического анализа тепловых схем энергетических комплексов				+
4.2	Использование современных программных пакетов для проведения конструкторского расчета основного и вспомогательного оборудования энергетических комплексов				+
4.3	Использование современных программных пакетов для проведения поверочных расчетов тепловых схем энергетических комплексов				+
Вес КМ, %:		10	30	30	30