

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: Цифровизация в тепловой и возобновляемой энергетике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОВОЙ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.05.11
Трудоемкость в зачетных единицах:	8 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	8 семестр - 28 часа;
Практические занятия	8 семестр - 28 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	8 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	8 семестр - 85,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Домашнее задание	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	8 семестр - 0,5 часа;

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Очков В.Ф.
	Идентификатор	Rd91184b2-OchkovVF-1531e2ff

В.Ф. Очков

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рыженков А.В.
	Идентификатор	R97ba085e-RyzhenkovAV-e7929df

А.В. Рыженков

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рыженков А.В.
	Идентификатор	R97ba085e-RyzhenkovAV-e7929df

А.В. Рыженков

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Получение навыков работы с компьютерными моделями и системами тепловой и возобновляемой энергетики

Задачи дисциплины

- Изучить основы работы с компьютерными моделями и системами тепловой энергетики;
- Изучить основы работы с компьютерными моделями и системами возобновляемой энергетики;
- Изучить организацию процесса обработки информации, получаемой с функционирующих моделей;
- Изучить основы анализа информации, получаемой с функционирующих моделей.

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-4 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в тепловой и возобновляемой энергетике	ИД-1 _{ПК-4} Владеет навыками работы с компьютерными моделями системам тепловой и возобновляемой энергетики, и организации процесса обработки и анализа информации	знать: - Принципы создания и работы с компьютерными моделями объектов и процессов тепловой и возобновляемой энергетики; - Знать основы организации процесса обработки информации, получаемой с функционирующих моделей. уметь: - Разрабатывать регуляторы в комплексных моделях тепловой и возобновляемой энергетики; - Разрабатывать компьютерные модели объектов и процессов тепловой и возобновляемой энергетики.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Цифровизация в тепловой и возобновляемой энергетике (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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Основы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики	28	8	8	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по теме: "Основы моделирования объектов и систем тепловой энергетики"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], 67-84 [2], 12-36 [5], 18-42</p>
1.1	Моделируемые объекты и системы тепловой и возобновляемой энергетики.	7		2	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
1.2	Принципы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики.	7		2	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
1.3	Основы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики.	7		2	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
1.4	Теплогидравлический код и программное обеспечение для моделирования.	7		2	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
2	Моделирование	49		12	-	12	-	-	-	-	-	-	25	

	оборудования паротурбинной установки												<u>теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по теме: "Моделирование паротурбинной установки"
2.1	Постановка задачи и исходные данные	5	1	-	1	-	-	-	-	-	3	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u>
2.2	Моделирование проточной части паровой турбины	8	2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	[4], 14-54
2.3	Моделирование конденсатора	5	1	-	1	-	-	-	-	-	3	-	
2.4	Моделирование подогревателей низкого давления	5	1	-	1	-	-	-	-	-	3	-	
2.5	Моделирование подогревателей высокого давления	5	1	-	1	-	-	-	-	-	3	-	
2.6	Моделирование деаэрата	7	2	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
2.7	Моделирование питательного электронасоса	7	2	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
2.8	Моделирование регуляторов	7	2	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
3	Моделирование преобразователей автономных источников энергии	31	8	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по теме: "Моделирование преобразователей автономных источников энергии"
3.1	Структура автономного источника электроэнергии	8	2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u>
3.2	Модель преобразователя аккумулятора	8	2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	[3], 24-56
3.3	Модель преобразователя ветрогенератора	8	2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
3.4	Моделирование системы управления	7	2	-	2	-	-	-	-	-	3	-	

	преобразователя												
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	28	-	28	-	2	-	-	0.5	52	33.5	
	Итого за семестр	144.0	28	-	28		2		-	0.5		85.5	

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. Основы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики

1.1. Моделируемые объекты и системы тепловой и возобновляемой энергетики.

Виды математического моделирования. Основные этапы математического моделирования. Преимущества и недостатки использования математической модели элементов теплоэнергетических систем. Примеры применения метода моделирования.

1.2. Принципы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики.

Сущность метода моделирования. Системный подход к моделированию. Классификация видов моделирования. Классификация математических моделей. Свойства математических моделей и требования к ним.

1.3. Основы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики.

Моделирование технических устройств и процессов. Выявление обобщенных переменных из математической формулировки задачи. Выявление обобщенных переменных на основе анализа размерностей. Погрешность определения величин-функций.

1.4. Теплогидравлический код и программное обеспечение для моделирования.

Создания и отладки моделей теплогидравлического оборудования и теплогидравлических систем. Изучение принципов структурного моделирования. Знакомство с библиотекой блоков расчета теплогидравлических процессов, редактором функционально-блочных схем, редактором базы данных. Изучение принципов формирования расчетной схемы для моделирования теплогидравлических систем на базе теплогидравлического кода. Принцип «от простого к сложному» для создания моделей сложных объектов. База данных сигналов.

2. Моделирование оборудования паротурбинной установки

2.1. Постановка задачи и исходные данные

Структурная схема паротурбинной установки включает следующие элементы. Основные параметры, обеспечивающие требуемые режимы работы ПТУ..

2.2. Моделирование проточной части паровой турбины

Система уравнений, описывающую процессы в системе ПТУ. Система уравнений, описывающих внешнюю среду. Уравнения отдельных элементов, связанные уравнениями балансов системы. Прямая и обратная задача моделирования. Исходные данные для прямой задачи. Исходные данные для обратной задачи.

2.3. Моделирование конденсатора

Система уравнения, описывающих теплообмен и гидродинамику в конденсаторе. Система балансовых уравнений. Геометрическое описание конденсатора. Моделирование параметров пара в паровом пространстве конденсатора. Расчёт массовой концентрации пара в паровоздушной смеси. Расчёт парциального давления воздуха. Расчёт параметров конденсата в конденсаторосборнике конденсатора. Моделирование состояния охлаждающей воды в трубной части конденсатора. Расчет коэффициента теплоотдачи от стенки трубки ПТО к охлаждающей воде. Коэффициент теплоотдачи от паровоздушной смеси к стенке трубок ПТО. Моделирование динамики схемы циркуляционного водоснабжения.

2.4. Моделирование подогревателей низкого давления

Система уравнения, описывающих теплообмен и гидродинамику в ПНД. Система балансовых уравнений. Геометрическое описание ПНД. Моделирование параметров пара в паровом пространстве ПНД. Моделирование состояния питательной воды. Расчет коэффициента теплоотдачи от стенки трубки ПНД к питательной воде. Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке трубок ПНД..

2.5. Моделирование подогревателей высокого давления

Система уравнения, описывающих теплообмен и гидродинамику в ПВД. Система балансовых уравнений. Геометрическое описание ПВД. Моделирование параметров пара в паровом пространстве ПВД. Моделирование состояния питательной воды. Расчет коэффициента теплоотдачи от стенки трубки ПВД к питательной воде. Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке трубок ПВД..

2.6. Моделирование деаэрата

Система уравнения, описывающих тепломассообмен и гидродинамику в деаэраторе. Система балансовых уравнений. Геометрическое описание деаэрата. Моделирование параметров пара в паровом пространстве деаэрата. Моделирование состояния добавочной воды, основного конденсата. Расчет коэффициента теплоотдачи и массоотдачи в деаэраторе..

2.7. Моделирование питательного электронасоса

Математическое описание напорнорасходной характеристики насоса. Динамическая характеристика насоса с учетом переходных процессов в нем. Математическая модель системы ПЧ – АД с обратной связью по скорости – центробежный насос.

2.8. Моделирование регуляторов

Структурная схема системы регулирования энергетической турбины. Математическая модель системы регулирования энергетической турбины. Уравнение движения ротора. Камеры в проточной части. Система регулирования турбины.

3. Моделирование преобразователей автономных источников энергии

3.1. Структура автономного источника электроэнергии

Структурная схема автономного источника электроэнергии. Основные элементы схемы, их характеристики..

3.2. Модель преобразователя аккумулятора

Расчетная модель преобразователя аккумулятора. Устройства, включенные в модель. Учет влияния погодных условий..

3.3. Модель преобразователя ветрогенератора

Расчетная модель преобразователя ветрогенератора. Определение генерируемой мощности ветрогенератора по мгновенным характеристикам скорости ветра, параметрам окружающей среды и конструктивным характеристикам..

3.4. Моделирование системы управления преобразователя

Принципы распределения нагрузки по агрегатам. Максимально возможная выработка электроэнергии ветрогенератором и фотоэлектрическими элементами. Выходная мощность ВЭУ и ФЭП с учетом регулирования мощности. Условие включения дизельной электростанции как резервного источника электроэнергии..

3.3. Темы практических занятий

1. Принципы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики.;
2. Основы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики.;
3. Модель преобразователя аккумулятора;
4. Структура автономного источника электроэнергии;
5. Модель преобразователя ветрогенератора;
6. Моделирование проточной части паровой турбины;
7. Моделирование деаэратора;
8. Моделирование конденсатора, подогревателей низкого давления, подогревателей высокого давления;
9. Теплогидравлический код и программное обеспечение для моделирования.;
10. Моделирование системы управления;
11. Моделирование регуляторов;
12. Моделирование питательного электронасоса;
13. Моделируемые объекты и системы тепловой и возобновляемой энергетики..

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Индивидуальные консультации по курсовому проекту /работе (ИККП)

1. Проведение консультаций на тему: "Основы моделирования объектов и систем тепловой энергетики"

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	
Знать:					
Знать основы организации процесса обработки информации, получаемой с функционирующих моделей	ИД-1ПК-4	+			Домашнее задание/Предварительный анализ моделируемого объекта
Принципы создания и работы с компьютерными моделями объектов и процессов тепловой и возобновляемой энергетики	ИД-1ПК-4	+			Домашнее задание/Разработка расчетно-технологической схемы теплоэнергетической системы
Уметь:					
Разрабатывать компьютерные модели объектов и процессов тепловой и возобновляемой энергетики	ИД-1ПК-4		+	+	Домашнее задание/Разработка алгоритма реализации математической модели и параметрической оптимизации системы Домашнее задание/Разработка математической модели теплотехнической системы макроуровня
Разрабатывать регуляторы в комплексных моделях тепловой и возобновляемой энергетики	ИД-1ПК-4		+		Домашнее задание/Численное исследование моделируемого объекта

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: Обмен электронными документами

1. Предварительный анализ моделируемого объекта (Домашнее задание)
2. Разработка алгоритма реализации математической модели и параметрической оптимизации системы (Домашнее задание)
3. Разработка математической модели теплотехнической системы макроуровня (Домашнее задание)
4. Разработка расчетно-технологической схемы теплоэнергетической системы (Домашнее задание)
5. Численное исследование моделируемого объекта (Домашнее задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №8)

Итоговая оценка по дисциплине выставляется с учетом семестровой и экзаменационной составляющих согласно Положению о балльно-рейтинговой системе для студентов ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ"

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. Алпатов, Ю. Н. Математическое моделирование производственных процессов : учебное пособие / Ю. Н. Алпатов . – 2-е изд., испр. . – СПб. : Лань-Пресс, 2018 . – 136 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-3052-9 .;
2. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем : учебник для вузов по специальности 23.05.01 "Наземные транспортно-технологические средства", по техническим специальностям / В. П. Тарасик . – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2018 . – 591 с. – (Высшее образование . Бакалавриат) . - ISBN 978-5-16-011996-0 .;
3. Горбенко, В. А. Математическое моделирование тепловых процессов (Конспект лекций) : учебное пособие / В. А. Горбенко, А. Г. Илларионов ; ред. А. М. Бакластов ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. : МЭИ, 1975 . – 87 с.;
4. Вульман, Ф. А. Математическое моделирование тепловых схем паротурбинных установок на ЭВМ / Ф. А. Вульман, А. В. Корягин, М. З. Кривошей . – М. : Машиностроение, 1985 . – 111 с.;
5. Авдюнин Е. Г.- "Моделирование и оптимизация промышленных теплоэнергетических установок", Издательство: "Инфра-Инженерия", Вологда, 2019 - (184 с.)
<https://e.lanbook.com/book/124637>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Ansys / CAE Fidesys;
3. SmathStudio.

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. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
5. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
6. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - [Http://proinfosoft.ru; http://docs.cntd.ru/](Http://proinfosoft.ru;http://docs.cntd.ru/)
7. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
8. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	В-209/7, Кабинет сотрудников каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер,

		кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-404/1а, Кладовая	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование объектов тепловой и возобновляемой энергетики

(название дисциплины)

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Предварительный анализ моделируемого объекта (Домашнее задание)
- КМ-2 Разработка расчетно-технологической схемы теплоэнергетической системы (Домашнее задание)
- КМ-3 Разработка математической модели теплотехнической системы макроуровня (Домашнее задание)
- КМ-4 Разработка алгоритма реализации математической модели и параметрической оптимизации системы (Домашнее задание)
- КМ-5 Численное исследование моделируемого объекта (Домашнее задание)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	6	10	12	15
1	Основы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики						
1.1	Моделируемые объекты и системы тепловой и возобновляемой энергетики.		+				
1.2	Принципы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики.		+				
1.3	Основы моделирования объектов и систем тепловой и возобновляемой энергетики.			+			
1.4	Теплогидравлический код и программное обеспечение для моделирования.			+			
2	Моделирование оборудования паротурбинной установки						
2.1	Постановка задачи и исходные данные				+	+	
2.2	Моделирование проточной части паровой турбины				+	+	
2.3	Моделирование конденсатора				+	+	
2.4	Моделирование подогревателей низкого давления				+	+	
2.5	Моделирование подогревателей высокого давления				+	+	
2.6	Моделирование деаэратора				+	+	
2.7	Моделирование питательного электронасоса				+	+	

2.8	Моделирование регуляторов					+
3	Моделирование преобразователей автономных источников энергии					
3.1	Структура автономного источника электроэнергии			+	+	
3.2	Модель преобразователя аккумулятора			+	+	
3.3	Модель преобразователя ветрогенератора			+	+	
3.4	Моделирование системы управления преобразователя			+	+	
Вес КМ, %:		10	20	30	30	10