

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
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

| | |
|--|--|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.08.01 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 5 семестр - 4; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 144 часа |
| Лекции | 5 семестр - 16 часов; |
| Практические занятия | 5 семестр - 48 часа; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| Самостоятельная работа | 5 семестр - 79,7 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: Тестирование Решение задач Проверочная работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Зачет с оценкой | 5 семестр - 0,3 часа; |

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

| | | |
|---|---|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Бурмакина А.В. |
| | Идентификатор | Ree6ce9d4-BurmakinaAV-003bbda |

А.В. Бурмакина


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: состоит в формировании знаний современных компьютерных технологий для выполнения конструкторских, тепловых и оптимизационных расчетов теплотехнологических объектов

Задачи дисциплины

- изучить современные методы проведения сложных инженерных расчетов;
- получить навыки использования современных компьютерных программ;
- получить навыки использования моделирующих программ для тепловых, конструкторских и оптимизационных расчетов;
- овладение студентами элементами численных методов, приемами алгоритмизации.

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 проектировании и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники, в том числе с применением информационных технологий | ИД-3ПК-1 Способен применять информационные технологии при проектировании объектов теплоэнергетики и теплотехники | <p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- основы языков программирования;- основы математического анализа и численные методы решения математических задач;- основы расчетного анализа с помощью современного программного обеспечения инженерных расчетов;- основы оптимизации топливопотребляющих установок с целью энерго- и ресурсосбережения. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- составлять сложные энергетические и материальные балансы;- выполнять компьютерную оптимизацию параметров теплоэнергетических систем;- применять компьютерные средства вычисления и моделирования при решении инженерных задач. |

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 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 и его виды | 32 | 5 | 3 | - | 14 | - | - | - | - | - | 15 | - | <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основы моделирования и его виды" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основы моделирования и его виды"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 25-30 [4], 301-305 [5], 100-105</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Среда MathCad, как средство инженерных расчетов и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Среда MathCad, как средство инженерных расчетов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Среда MathCad, как средство инженерных расчетов"</p> <p><u>Изучение материалов литературных</u></p> |
| 1.1 | Виды моделирования | 12 | | 1 | - | 6 | - | - | - | - | - | 5 | - | |
| 1.2 | Использования математической модели в теплотехнологических процессах | 10 | | 1 | - | 4 | - | - | - | - | - | 5 | - | |
| 1.3 | Цели математического моделирования | 10 | | 1 | - | 4 | - | - | - | - | - | 5 | - | |
| 2 | Геометрическое моделирование. | 55 | | 7 | - | 22 | - | - | - | - | - | 26 | - | |
| 2.1 | Типы настроек решателя | 12 | | 1 | - | 6 | - | - | - | - | - | 5 | - | |
| 2.2 | Этапы конструкторского проектирования | 16 | | 2 | - | 6 | - | - | - | - | - | 8 | - | |
| 2.3 | Преимущества и недостатки программы геометрического моделирования | 13 | | 2 | - | 6 | - | - | - | - | - | 5 | - | |
| 2.4 | Алгоритм построения расчетной сетки в программном | 14 | | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 8 | - | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|--------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|------------|-------------|----------------------------------|--|
| | геометрического моделирования | | | | | | | | | | | <u>источников:</u> [3], 25-30 | |
| 3 | Программный комплекс, основанный на методе конечных элементов | 39 | 6 | - | 12 | - | - | - | - | - | 21 | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Материальные и тепловые балансы теплотехнологических процессов" |
| 3.1 | Алгоритм построения расчетной сетки в программном комплексе, основанного на методе конечных элементов | 11 | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 5 | - | подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Материальные и тепловые балансы теплотехнологических процессов" |
| 3.2 | Основные параметры потока, которые находятся в процессе численного моделирования | 14 | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 8 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Материальные и тепловые балансы теплотехнологических процессов" |
| 3.3 | Сшивания сеток в программном комплексе, основанном на методе конечных элементов | 14 | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 8 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 205-220 |
| | Зачет с оценкой | 18.0 | - | - | - | - | - | - | - | 0.3 | - | 17.7 | |
| | Всего за семестр | 144.0 | 16 | - | 48 | - | - | - | - | 0.3 | 62 | 17.7 | |
| | Итого за семестр | 144.0 | 16 | - | 48 | - | - | - | - | 0.3 | 79.7 | | |

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. Основы моделирования и его виды

1.1. Виды моделирования

Виды математического моделирования. Основные этапы математического моделирования.

1.2. Использование математической модели в теплотехнологических процессах

Преимущества и недостатки использования математической модели в теплотехнологических процессах.

1.3. Цели математического моделирования

Примеры применения метода моделирования.

2. Геометрическое моделирование.

2.1. Типы настроек решателя

Алгоритм построения симуляции в программах геометрического моделирования.

2.2. Этапы конструкторского проектирования

Важные характеристики программы геометрического моделирования.

2.3. Преимущества и недостатки программы геометрического моделирования

Анализ программ геометрического моделирования.

2.4. Алгоритм построения расчетной сетки в программном геометрического

моделирования

Алгоритм построения расчетной сетки в программном геометрического моделирования.

3. Программный комплекс, основанный на методе конечных элементов

3.1. Алгоритм построения расчетной сетки в программном комплексе, основанного на методе конечных элементов

Алгоритм построения расчетной сетки в программном комплексе, основанного на методе конечных элементов.

3.2. Основные параметры потока, которые находятся в процессе численного моделирования

Основные параметры потока в процессе численного моделирования.

3.3. Сшивания сеток в программном комплексе, основанном на методе конечных элементов

Сшивания сеток несколькими способами.

3.3. Темы практических занятий

1. Решение уравнений, систем линейных уравнений;

2. Общий вид теплового баланса. Статьи теплового баланса;

3. Функции определения матриц и операции с блоками матриц. Функции отыскания различных числовых характеристик матриц. Функции, реализующие численные

алгоритмы решения задач линейной алгебры;

4. Материальный баланс теплотехнологического агрегата. Состав продуктов сгорания. Выход продуктов сгорания при коэффициенте расхода окислителя $\alpha > 1$;

5. Поверхностные графики. Трехмерные гистограммы. Карты линий уровня. Векторные графики. Создание графиков;

6. Программирование в среде MathCad.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы моделирования и его виды"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Среда MathCad, как средство инженерных расчетов"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Материальные и тепловые балансы теплотехнологических процессов"

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: | | | | | |
| основы оптимизации топливопотребляющих установок с целью энерго- и ресурсосбережения | ИД-3ПК-1 | | + | | Решение задач/Определение оптимальной толщины обмуровки |
| основы расчетного анализа с помощью современного программного обеспечения инженерных расчетов | ИД-3ПК-1 | | + | + | Решение задач/Определение расхода топлива на теплотехнических процессах |
| основы математического анализа и численные методы решения математических задач | ИД-3ПК-1 | + | | | Тестирование/Основные типы и средства моделирования |
| основы языков программирования | ИД-3ПК-1 | | | + | Решение задач/Определение расхода топлива на теплотехнических процессах |
| Уметь: | | | | | |
| применять компьютерные средства вычисления и моделирования при решении инженерных задач | ИД-3ПК-1 | | | + | Проверочная работа/Совместные решения балансовых уравнений |
| выполнять компьютерную оптимизацию параметров теплоэнергетических систем | ИД-3ПК-1 | | | + | Проверочная работа/Совместные решения балансовых уравнений |
| составлять сложные энергетические и материальные балансы | ИД-3ПК-1 | | | + | Проверочная работа/Совместные решения балансовых уравнений |

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

5 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Определение оптимальной толщины обмуровки (Решение задач)

Форма реализации: Письменная работа

1. Определение расхода топлива на теплотехнических процессах (Решение задач)
2. Основные типы и средства моделирования (Тестирование)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Совместные решения балансовых уравнений (Проверочная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №5)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»

В диплом выставляется оценка за 5 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Попов, С. К. Решение задач высокотемпературной теплотехнологии в среде MathCAD : учебное пособие по курсам "Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки", "Источники энергии теплотехнологии" по направлению "Теплоэнергетика" / С. К. Попов, В. А. Ипполитов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 96 с. - ISBN 978-5-383-00411-1 .
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=778>;
2. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки : Учебник для вузов по специальности "Промышленная теплоэнергетика" / Ред. А. Д. Ключников . – М. : Энергоатомиздат, 1989 . – 336 с.;
3. В. Г. Мурашкин- "Инженерные и научные расчеты в программном комплексе MathCAD", Издательство: "Самарский государственный архитектурно-строительный университет", Самара, 2011 - (84 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=143487>;
4. Очков, В. Ф. Mathcad 14 для студентов и инженеров. : русская версия / В. Ф. Очков . – СПб. : БХВ-Петербург, 2009 . – 512 с. - ISBN 978-5-9775040-3-4 .;
5. Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В.- "Основы работы в ANSYS 17", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2017 - (210 с.)
<https://e.lanbook.com/book/90112>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Ansys / CAE Fidesys;
5. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
6. Компас 3D.

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 ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
13. Журналы издательства Cambridge University Press - <https://www.cambridge.org/core>
14. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
15. База данных Computers & Applied Sciences Complete (CASC) - <http://search.ebscohost.com>
16. База данных INSPEC на платформе компании EBSCO Publishing - <http://search.ebscohost.com>
17. Журналы научного общества Optical Society of America (OSA) - <https://www.osapublishing.org/about.cfm>
18. Патентная база Orbit Intelligence компании Questel - <https://www.orbit.com/>
19. Журналы издательства Oxford University Press - <https://academic.oup.com/journals/>
20. База данных диссертаций ProQuest Dissertations and Theses Global - <https://search.proquest.com/pqdtglobal/index>
21. Журналы Журналы Royal Society of Chemistry - <https://pubs.rsc.org/>
22. Журналы издательства SAGE Publication (Sage) - <https://journals.sagepub.com/>
23. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
24. Коллекция журналов Taylor & Francis Group - <https://www.tandfonline.com/>
25. Журналы издательства Wiley - <https://onlinelibrary.wiley.com/>
26. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
27. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
28. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
29. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
30. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
31. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
32. 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 | Ш-205, Компьютерный класс | |
| Помещения для консультирования | Ш-206, Лекционная аудитория | |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | Ш-107, Архив | |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**Компьютерное моделирование теплофизических процессов**

(название дисциплины)

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

- КМ-1 Основные типы и средства моделирования (Тестирование)
 КМ-2 Определение оптимальной толщины обмуровки (Решение задач)
 КМ-3 Определение расхода топлива на теплотехнических процессах (Решение задач)
 КМ-4 Совместные решения балансовых уравнений (Проверочная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 6 | 10 | 14 |
| 1 | Основы моделирования и его виды | | | | | |
| 1.1 | Виды моделирования | | + | | | |
| 1.2 | Использования математической модели в теплотехнологических процессах | | + | | | |
| 1.3 | Цели математического моделирования | | + | | | |
| 2 | Геометрическое моделирование. | | | | | |
| 2.1 | Типы настроек решателя | | | + | | |
| 2.2 | Этапы конструкторского проектирования | | | + | | |
| 2.3 | Преимущества и недостатки программы геометрического моделирования | | | | + | |
| 2.4 | Алгоритм построения расчетной сетки в программном геометрического моделирования | | | | + | |
| 3 | Программный комплекс, основанный на методе конечных элементов | | | | | |
| 3.1 | Алгоритм построения расчетной сетки в программном комплексе, основанного на методе конечных элементов | | | | + | + |
| 3.2 | Основные параметры потока, которые находятся в процессе численного моделирования | | | | | + |
| 3.3 | Сшивания сеток в программном комплексе, основанном на методе конечных элементов | | | | | + |
| Вес КМ, %: | | | 25 | 25 | 25 | 25 |