

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Теплотехника и малая распределенная энергетика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

| | |
|---|--|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.10.02.01 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 2 семестр - 5; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 180 часов |
| Лекции | 2 семестр - 32 часа; |
| Практические занятия | 2 семестр - 16 часов; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | 2 семестр - 18 часов; |
| Самостоятельная работа | 2 семестр - 109,2 часов; |
| в том числе на КП/КР | 2 семестр - 15,7 часов; |
| Иная контактная работа | 2 семестр - 4 часа; |
| включая: Тестирование Контрольная работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Защита курсовой работы | 2 семестр - 0,3 часа; |
| Экзамен | 2 семестр - 0,5 часа; |
| | всего - 0,8 часа |

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

| | | |
|--|--|-------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Сиденков Д.В. |
| | Идентификатор | R7ad01b54-SidenkovDV-41309924 |

(подпись)

Д.В. Сиденков

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|--|--|--------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Шацких Ю.В. |
| | Идентификатор | R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f |

(подпись)

Ю.В. Шацких

(расшифровка
подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|--|--|----------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Орлов К.А. |
| | Идентификатор | R24178de8-OrlovKA-0ab64072 |

(подпись)

К.А. Орлов

(расшифровка
подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение методов проведения численного исследования физических процессов, происходящих в элементах теплоэнергетического оборудования

Задачи дисциплины

- изучение методики создания адекватной математической модели элемента энергооборудования различного уровня сложности при разработке и эксплуатации теплоэнергетических установок;
- приобретение навыков планирования и проведения натурального и вычислительного эксперимента по исследованию процессов тепломассообмена в элементе энергооборудования;;
- приобретение умения представлять результаты вычислительного эксперимента в виде инженерных формул, удобных для практического применения;;
- приобретение навыков проведения вычислительного эксперимента с помощью современных CFD-программ для расчета процессов тепломассообмена и гидродинамики и решения практических задач проектирования элементов теплоэнергетического оборудования..

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 к проведению расчетно-теоретических исследований теплогидравлических процессов объектах профессиональной деятельности | ИД-2 _{ПК-1} Имеет навыки математического моделирования теплогидравлических процессов в объектах профессиональной деятельности | <p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- особенности моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;;- принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта;;- численные методы расчета вариантов разработки и построения адекватных математических моделей на основе вычислительного эксперимента при проектировании теплоэнергетических объектов с учётом особенностей протекающих в них физических процессов;. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- формулировать цели и задачи исследования термогидродинамических процессов в энергетическом оборудовании, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки;;- записывать в виде системы интегральных и дифференциальных уравнений процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;;- разрабатывать математические модели простейших элементов теплоэнергетических объектов;;- применять пакет ANSYS для решения |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|--------------------------------|--|---|
| | | задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики; |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплотехника и малая распределенная энергетика (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Математика», «Физика», «Инженерная графика», «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Информационные технологии», «Численные методы моделирования. Прикладное программирование», «Тепловые электрические станции», «Котельные установки и парогенераторы», «Ядерные энергетические установки», «Турбины ТЭС и АЭС», «Схемы, оборудование и эксплуатация энергетических установок», «Режимы работы и эксплуатация ТЭС» программы бакалавриата (как минимум – на базовом уровне), «Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике» вариативной части по выбору 1 блока дисциплин программы магистратуры.

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 5 зачетных единиц, 180 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 | ЧМТГДП | 108 | 2 | 32 | - | 16 | - | - | - | - | - | 60 | - | <p>Подготовка курсовой работы: Качество оформления КР: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (КР КМ-4)</p> <p>Подготовка к контрольной работе: Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (КМ-4)</p> <p>Самостоятельное изучение теоретического материала: [8, 10,] раздаточный материал, [2] с. 46-54</p> <p>Самостоятельное изучение теоретического материала: Верификация ANSYS, набор тестовых задач. раздаточный материал</p> <p>Подготовка курсовой работы: Соблюдение графика выполнения КР: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (КР КМ-3)</p> <p>Подготовка к контрольной работе: Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (КМ-3)</p> <p>Самостоятельное изучение теоретического материала: [7, 8], с. 12-34, раздаточный материал</p> <p>Самостоятельное изучение теоретического материала: [2, 5] с. 36-40, 21-27, раздаточный материал</p> |
| 1.1 | Введение. Процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок. | 6 | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 4 | - | |
| 1.2 | Система интегральных и дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. | 12 | | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | 8 | - | |
| 1.3 | Стационарная теплопроводность. | 16 | | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 10 | - | |
| 1.4 | Нестационарная теплопроводность. | 12 | | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 6 | - | |
| 1.5 | Система уравнений Навье-Стокса. | 14 | | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 8 | - | |
| 1.6 | Особенности решения задач вынужденной и свободной конвекции. | 14 | | 6 | - | 2 | - | - | - | - | - | 6 | - | |
| 1.7 | Верификация ANSYS, набор тестовых задач. | 12 | | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | 8 | - | |
| 1.8 | Численное моделирование теплообменного аппарата | 22 | | 8 | - | 4 | - | - | - | - | - | 10 | - | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|-------|----|---|----|----|---|---|---|-----|-------|------|--|
| | | | | | | | | | | | | | 533 стр. 369-416 [10], 1-70 [11], 1-65 |
| | Экзамен | 36.0 | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 33.5 | |
| | Курсовая работа (КР) | 36.0 | - | - | - | 16 | - | 4 | - | 0.3 | 15.7 | - | |
| | Всего за семестр | 180.0 | 32 | - | 16 | 16 | 2 | 4 | - | 0.8 | 75.7 | 33.5 | |
| | Итого за семестр | 180.0 | 32 | - | 16 | 18 | | 4 | | 0.8 | 109.2 | | |

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. ЧМТГДП

1.1. Введение. Процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок.

Цели и задачи моделирования. Методы исследования теплообмена и гидродинамики. Классификация методов расчета. Численные методы. Понятие вычислительного эксперимента. Современные CFD-программы..

1.2. Система интегральных и дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.

Базовые законы. Условия однозначности. Метод контрольного объема. Теорема Остроградского-Гаусса. Обобщенное дифференциальное уравнение. Понятие конвективно-диффузионной задачи. Обобщенные коэффициенты переноса. Понятие источникового члена. Особенности ламинарного и турбулентного режима течения. Программный комплекс конечно-элементного анализа ANSYS. Структура программного комплекса. Этапы решения задач конвективного теплообмена. Представление и обработка результатов расчета..

1.3. Стационарная теплопроводность.

Стационарная одномерная теплопроводность. Трехточечный шаблон в методе контрольного объема. Понятие дискретного аналога. Учет источникового члена и граничных условий. Система алгебраических уравнений дискретного аналога. Дискретизация расчетной области, контрольные объемы, граничные контрольные объемы. Переменные теплофизические свойства. Решение нелинейных задач. Правила построения дискретного аналога. Дискретный аналог двумерной и трехмерной задачи стационарной теплопроводности в декартовой и цилиндрической полярной системах координат. Пятиточечный и семиточечный шаблон. Методы прогонки и переменных направлений для решения системы алгебраических уравнений дискретных аналогов..

1.4. Нестационарная теплопроводность.

Одномерная задача. Явная и неявная схема дискретизации по времени, преимущества и недостатки. Правило Куранта. Учет начальных условий. Правила построения дискретных аналогов. Дискретный аналог одномерной задачи нестационарной теплопроводности. Инерция и релаксация. Безразмерная запись дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности. Дискретные аналоги дву- и трехмерного дифференциального уравнения теплопроводности в различных системах координат. Представление дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности в виде обобщенного дифференциального уравнения, обобщенные коэффициенты при размерной и безразмерной постановке задачи. Решение с помощью MathCad и ANSYS..

1.5. Система уравнений Навье-Стокса.

Дискретизация уравнения неразрывности и уравнений движения. Правило Куранта-Фридрихса-Леви. Схема против потока. Начальные и граничные условия. Обобщение для метода конечных элементов. Безразмерная форма записи системы уравнений Навье-Стокса для задач вынужденной и свободной конвекции. Дискретизация уравнения энергии для задач вынужденной и свободной конвекции (ламинарный режим течения). Дискретный аналог двумерных и трехмерных неустановившихся задач конвекции и диффузии. Алгоритм решения сложных задач. Семейство алгоритмов SIMPLE. Интегральные характеристики течения. Теплообмен и гидродинамика при ламинарном и турбулентном режиме течения. Течение Пуазейля. Задачи Блазиуса и Польгаузена. Аналогия Рейнольдса..

1.6. Особенности решения задач вынужденной и свободной конвекции.

Особенности решения задач вынужденной и свободной конвекции в турбулентном режиме течения. k - ϵ модель турбулентности, дискретные аналоги. Другие модели турбулентности, особенности реализации в пакете ANSYS. Тепломассообмен и гидродинамика при течении многокомпонентных смесей. Число Дамкеллера. Распространение фронта химической реакции. Особенности решения задач при течении многокомпонентных смесей в условиях возможной химической реакции компонент. Решение с помощью ANSYS. Интегральные характеристики течения. Особенности решения задач при течении в каналах различной формы и внешнем обтекании погруженных в жидкость тел. Решение с помощью ANSYS. Интегральные характеристики течения..

1.7. Верификация ANSYS, набор тестовых задач.

Верификация CFD-пакетов программ, наборы тестовых задач. Сопоставление с численным решением ANSYS..

1.8. Численное моделирование теплообменного аппарата

Численное моделирование теплообменника «труба в трубе». Численное моделирование пластинчатого теплообменника в MathCad и с помощью пакета ANSYS..

3.3. Темы практических занятий

1. Численное решение задач стационарной теплопроводности с помощью пакета ANSYS. Различные виды граничных условий. Метод контрольного объема.;
2. Численное решение задач стационарной теплопроводности при наличии внутреннего источника теплоты и переменными коэффициентами переноса с помощью пакета ANSYS.;
3. Численное решение задач нестационарной теплопроводности с помощью пакета ANSYS. Особенности явной и неявной схемы дискретизации.;
4. Численное решение задач теплопроводности с помощью пакета ANSYS. Метод прогонки.;
5. Численное решение задач вынужденной конвекции (ламинарный режим течения) с помощью пакета ANSYS.;
6. Численное решение задач вынужденной конвекции с помощью пакета ANSYS. Учет эффектов пограничного слоя. Представление результатов в виде инженерных формул.;
7. Численное решение задач вынужденной конвекции (турбулентный режим течения) с помощью пакета ANSYS. Представление результатов в виде инженерных формул.;
8. Численное решение задач вынужденной конвекции (турбулентный режим течения) с помощью пакета ANSYS. Модели турбулентности.;
9. Численное решение задач свободной конвекции с помощью пакета ANSYS.;
10. Численное решение задач свободной конвекции с помощью пакета ANSYS. Сопоставление с аналитическим решением;
11. Численное решение сопряженных задач теплообмена с помощью пакета ANSYS.;
12. Численное решение сопряженных задач теплообмена с помощью пакета ANSYS. Сопоставление с аналитическими решениями.;
13. Численное решение сложных задач теплообмена и гидродинамики с помощью пакета ANSYS.;
14. Численное решение сложных задач теплообмена и гидродинамики с помощью пакета ANSYS. Сопоставление с экспериментальными исследованиями и результатами тепловизионного анализа.;
15. Численное моделирование теплообменника «труба в трубе» в MathCad и с помощью пакета ANSYS.;
16. Численное моделирование пластинчатого теплообменника в MathCad и с помощью

пакета ANSYS..

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Возможности применения пакета ANSYS для решения задач теплопроводности, конвективного теплообмена, излучения

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ 2 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- Экспериментальное и численное исследование процессов теплообмена и гидродинамики - стационарная/нестационарная теплопроводность, внутренние источники - внешнее обтекание - внутренние течения

График выполнения курсового проекта

| Неделя | 1 - 4 | 5 - 8 | 9 - 12 | 13 - 16 | Зачетная |
|---|-------|-------|--------|---------|--------------------------|
| Раздел курсового проекта | 1 | 2 | 2, 3 | 3 | Защита курсового проекта |
| Объем раздела, % | 20 | 30 | 40 | 10 | - |
| Выполненный объем нарастающим итогом, % | 20 | 50 | 90 | 100 | - |

| Номер раздела | Раздел курсового проекта |
|---------------|--|
| 1 | Обзор литературы, изучение экспериментальных стендов, подготовка их к работе, формирование навыков работы с тепловизором, формирование соответствующих разделов КР |
| 2 | Проведение экспериментальных исследований, проведение вычислительного эксперимента с помощью программы ANSYS, формирование соответствующих разделов КР |
| 3 | Обработка результатов натурного и вычислительного эксперимента, формирование соответствующих разделов КР, подготовка презентации к защите КР |

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 | |
| Знать: | | | |
| численные методы расчета вариантов разработки и построения адекватных математических моделей на основе вычислительного эксперимента при проектировании теплоэнергетических объектов с учётом особенностей протекающих в них физических процессов; | ИД-2ПК-1 | + | Контрольная работа/Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» |
| принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта; | ИД-2ПК-1 | + | Контрольная работа/Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» |
| особенности моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок; | ИД-2ПК-1 | + | Тестирование/Терминологический тест: «Метод контрольного объема» |
| Уметь: | | | |
| применять пакет ANSYS для решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики; | ИД-2ПК-1 | + | Контрольная работа/Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» |
| разрабатывать математические модели простейших элементов теплоэнергетических объектов; | ИД-2ПК-1 | + | Контрольная работа/Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» |
| записывать в виде системы интегральных и дифференциальных уравнений процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок; | ИД-2ПК-1 | + | Тестирование/Терминологический тест: «Метод контрольного объема» |
| формулировать цели и задачи исследования термогидродинамических процессов в энергетическом оборудовании, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки; | ИД-2ПК-1 | + | Контрольная работа/Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» |

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

Экзамен. Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих

Курсовая работа (КР) (Семестр №2)

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

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Григорьев Б.А. , Цветков Ф.Ф. - "Тепломассообмен", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2011 - (562 с.)

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72294;](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72294)

2. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен : учебник для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 562 с. - ISBN 978-5-383-00563-7 .

http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4233;

3. Теплотехнические основы теплонасосных систем : учебное пособие по курсу "Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике" для студентов, обучающихся по направлениям "Теплоэнергетика и теплотехника", "Энергетическое машиностроение", "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. А. Сухих, Д. В. Сиденков, В. И. Величко, В. Ю. Демьяненко, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – Москва : Изд-во МЭИ, 2021 . – 72 с. -

Авторы указаны на обороте тит. л. - ISBN 978-5-7046-2446-2 .

http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11570;

4. Солодов, А. П. Теплообмен в энергетических установках. Инженерные методы расчета. Электронный курс : учебное пособие по курсам "Теплообмен", "Теплообмен в оборудовании АЭС" по направлениям "Ядерная энергетика и теплофизика", "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. П. Солодов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 124 с. - ISBN 978-5-7046-1636-8 .

http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=6989;

5. Патанкар, С. В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах : пер. с англ. / С. В. Патанкар . – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 312 с. - ISBN 5-7046-0898-1 .;

6. Солодов, А. П. MATHCAD: Дифференциальные модели / А. П. Солодов, В. Ф. Очков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 239 с. - ISBN 5-7046-0823-Х .;

7. Назмеев, Ю. Г. Теплообменные аппараты ТЭС : учебное пособие для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Ю. Г. Назмеев, В. М. Лавыгин . – 2-е изд., перераб. – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 260 с. - ISBN 5-7046-0888-4 .;

8. Теплоэнергетика и теплотехника: Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент : справочник / А. А. Александров, и др. ; Ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 564 с. – (Теплоэнергетика и теплотехника ; Кн.2) . - ISBN 5-7046-0512-5 .;

9. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т.1. : пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1987 . – 560 с.;

10. Александров, А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара : Справочник / А. А. Александров, Б. А. Григорьев . – М. : Изд-во МЭИ, 1999 . – 168 с. - ISBN 5-7046-0397-1 : 60.00 .;

11. Александров, А. А. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики : справочник / А. А. Александров, К. А. Орлов, В. Ф. Очков . – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2017 . – 226 с. - ISBN 978-5-383-01073-0 ..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Ansys / CAE Fidesy.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
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. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ -

<http://www.economy.gov.ru>

11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>

12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" -

<https://www.polpred.com>

13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>

14. 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-417, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ТОТ" | кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, кондиционер |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Численное моделирование термогидродинамических процессов в энергетическом оборудовании

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (Контрольная работа)
- КМ-4 Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 8 | 12 | 15 |
| 1 | ЧМТГДП | | | | | |
| 1.1 | Введение. Процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок. | | + | | | |
| 1.2 | Система интегральных и дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. | | + | | | |
| 1.3 | Стационарная теплопроводность. | | | + | | |
| 1.4 | Нестационарная теплопроводность. | | | + | | + |
| 1.5 | Система уравнений Навье-Стокса. | | | | + | |
| 1.6 | Особенности решения задач вынужденной и свободной конвекции. | | | | + | |
| 1.7 | Верификация ANSYS, набор тестовых задач. | | | | + | |
| 1.8 | Численное моделирование теплообменного аппарата | | | | | + |
| Вес КМ, %: | | | 15 | 25 | 30 | 30 |

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА
КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Численное моделирование термогидродинамических процессов в
энергетическом оборудовании

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:

- КМ-1 Оценка выполнения раздела КР «Обзор литературы»
- КМ-2 Оценка выполнения раздела КР «Тепловизионное и экспериментальное исследование»
- КМ-3 Соблюдение графика выполнения КР: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи»
- КМ-4 Качество оформления КР: «Численное моделирование теплообменного аппарата»

Вид промежуточной аттестации – защита КР.

| Номер раздела | Раздел курсового проекта/курсовой работы | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 8 | 12 | 16 |
| 1 | Обзор литературы, изучение экспериментальных стендов, подготовка их к работе, формирование навыков работы с тепловизором, формирование соответствующих разделов КР | | + | | | |
| 2 | Проведение экспериментальных исследований, проведение вычислительного эксперимента с помощью программы ANSYS, формирование соответствующих разделов КР | | | + | + | |
| 3 | Обработка результатов натурного и вычислительного эксперимента, формирование соответствующих разделов КР, подготовка презентации к защите КР | | | | + | + |
| Вес КМ, %: | | | 20 | 30 | 40 | 10 |