



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ТЭФ

Кузнецов Г.В.

« ____ » _____ 2008 г.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Рабочая программа по направлению подготовки магистра

550900 - ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Факультет - Теплоэнергетический (ТЭФ)

Обеспечивающая кафедра - Атомных и тепловых электростанций (АТЭС)

Курс – 5

Семестр – 10

Учебный план набора 2003 года

Распределение учебного времени

Лекции	<u>18</u>	часов (ауд.)
Лабораторные занятия	<u>54</u>	часов (ауд.)
Всего аудиторных занятий	<u>72</u>	часов (ауд.)
Самостоятельная (внеауди- торная) работа	<u>108</u>	часов
Общая трудоемкость	<u>180</u>	часов
Экзамен в <u>10</u> семестре		

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

550900

Каф. АТЭС ТЭФ

Старший преподаватель, к.ф.-м.н. Шерemet Михаил Александрович

Тел.: 8-903-915-93-59

Цель: теоретическая и практическая подготовка будущих магистров техники и технологий по методам и алгоритмам численного решения базовых задач теплоэнергетики, таких как: определение температурного поля в типичных элементах теплоэнергетического оборудования (рабочие узлы и блоки атомных электрических станций, анализ тепловых потерь на теплотрубопроводах). Кроме того, магистранты должны освоить основы практического использования прикладных программ для визуализации полученных результатов и анализа наблюдаемых процессов и явлений.

Содержание: Понятие математической модели. Преимущества теории и эксперимента в математическом моделировании. Этапы математического моделирования (построение математической модели; разработка алгоритма для реализации модели на компьютере; создание программы на языке программирования высокого уровня). Иерархическая структура математических моделей сложных объектов (примеры). Основные механизмы переноса тепла. Закон Фурье. Закон сохранения энергии. Линейные и квазилинейные параболические уравнения второго порядка. Начальные и граничные условия. Граничные условия I рода (задается температура как функция координат и времени). Граничные условия II рода (задается тепловой поток на основе закона Фурье). Нестационарная задача теплопроводности в однородном стержне (численный метод и алгоритм решения). Нестационарная сопряженная задача теплопроводности в неоднородном стержне. Построение разностной пространственно-временной сетки. Нестационарная задача теплопроводности в неоднородной пластине (декартова система координат). Построение пространственно-временной разностной сетки. Особенности численного решения плоских задач теплопроводности в полярной системе координат. Нестационарная задача теплопроводности в однородном сечении цилиндрической формы.

Курс 5 (10 сем. - экзамен).

Всего 180 ч, в т.ч.: Лк.- 18 ч, Лб.- 54 ч.



1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель преподавания дисциплины

Курс “Математическое моделирование и алгоритмизация задач теплоэнергетики” содержит основные сведения по методам, алгоритмам и программам решения на ЭВМ базовых задач теплоэнергетики. Рассматриваются особенности уравнения теплопроводности, формулируются различные краевые задачи, позволяющие оценить влияние широкого круга термических эффектов. Отдельно рассматривается класс сопряженных задач теплопроводности, обладающий свойствами физической и математической корректности в описании физических процессов и явлений. Дается понятие математического моделирования и вычислительных алгоритмов. Рассматриваются конкретные задачи теплоэнергетики.

1.2. Задачи изложения и изучения дисциплины

Задачей данной дисциплины является формирование у студентов:

- практических навыков по построению математической модели, адекватно описывающей изучаемый процесс или явление; по выбору оптимального численного метода решения сформулированной краевой задачи; разработке численного алгоритма, позволяющего упростить создание программы на компьютере;
- умений использовать компьютер для оформления визуализации полученных результатов (прикладные пакеты Surfer, Grapher);
- умений анализировать и защищать полученные результаты;
- способности осваивать другие прикладные программы, предназначенные для решения вычислительных задач.

1.3. Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо при изучении данной дисциплины

Данная дисциплина основывается на дисциплинах естественно-научного и общепрофессионального циклов, таких как:

- Математика (ЕН. 01) (системы линейных алгебраических уравнений; дифференциальные уравнения; уравнения в частных производных)
- Информатика (ЕН. 02) (вычислительные системы; языки программирования)
- Основы применения вычислительной техники и программирования (ОПД.12.1) (программирование; численные методы)
- Теоретические основы теплотехники (ОПД.Ф.9) (теплофизические характеристики материалов; законы Фурье, Ньютона-Рихмана; уравнение теплопроводности)

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Содержание теоретической части - 18 часов аудиторных занятий

ВВЕДЕНИЕ

2 часа

Понятие математической модели. Преимущества теории и эксперимента в математическом моделировании. Историческое развитие математического моделирования. Этапы математического моделирования (построение математической модели; разработка алгоритма для реализации модели на компьютере; создание программы на языке программирования высокого уровня). Иерархическая структура математических моделей сложных объектов (примеры). Основные этапы численного решения задачи на компьютере (физическая постановка; математическое моделирование; выбор численного метода; разработка алгоритма решения задачи; составление программы; отладка программы; счет по отлаженной программе; анализ результатов счета). Классификация погрешностей численного решения. Неустраняемая погрешность (погрешность математической модели, погрешность входных данных), погрешность численного метода, погрешность округления.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

2 часа

Основные механизмы переноса тепла. Уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Закон сохранения энергии. Линейные и квазилинейные параболические уравнения второго порядка. Уравнение теплопроводности для однородной среды, в случае установившегося температурного поля, при наличии движущейся среды. Изменение уравнения теплопроводности при переходе от декартовой системы координат к полярной системе координат.

Замыкающие соотношения. Начальные и граничные условия. Граничные условия I рода (задается температура как функция координат и времени). Граничные условия II рода (задается тепловой поток на основе закона Фурье). Граничные условия III рода (конвективный теплообмен между поверхностью твердого тела с окружающей средой, которая имеет некоторую температуру – закон Ньютона-Рихмана). Граничные условия IV рода (идеальный и неидеальный контакт – условия сопряжения А.В. Лыкова).

НЕСТАЦИОНАРНАЯ СОПРЯЖЕННАЯ ЗАДАЧА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В НЕОДНОРОДНОМ СТЕРЖНЕ

4 часа

Нестационарная задача теплопроводности в однородном стержне (численный метод и алгоритм решения). Нестационарная сопряженная задача теплопроводности



сти в неоднородном стержне. Построение разностной пространственно-временной сетки. Аппроксимация частных производных в уравнении теплопроводности конечными разностями. Решение разностного уравнения (системы линейных алгебраических уравнений) методом прогонки. Понятие прямой и обратной прогонки. Вывод рекуррентного соотношения для определения прогоночных коэффициентов. Использование граничных условий для определения начальных прогоночных коэффициентов. Особенности вывода прогоночных коэффициентов на основе условия сопряжения. Блок-схема рассматриваемой задачи. Листинг программы на языке программирования Pascal.

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПЛОСКИХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

6 часов

Нестационарная задача теплопроводности в неоднородной пластине (декартова система координат). Построение пространственно-временной разностной сетки. Использование конечных разностей для аппроксимации частных производных. Локально одномерная схема А.А. Самарского, заключающаяся в том, что шаг по времени реализуется в два этапа – на промежуточном временном шаге проводится дискретизация двумерного уравнения только в направлении оси x и получается одномерное уравнение, после его решения проводится вновь дискретизация уравнения, но уже в направлении оси y и, решается полученное одномерное уравнение и в результате определяется поле температуры на целом шаге по времени. Блок-схема рассматриваемой задачи. Листинг программы на языке программирования Pascal.

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПЛОСКИХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

4 часа

Нестационарная задача теплопроводности в однородном сечении цилиндрической формы. Построение пространственно-временной разностной сетки. Использование конечных разностей для аппроксимации частных производных. Локально одномерная схема А.А. Самарского в случае полярной системы координат. Блок-схема рассматриваемой задачи. Листинг программы на языке программирования Pascal.

2.2. Содержание практического раздела

2.2.1. Тематика лабораторных занятий (10 семестр) - 54 часа занятий в компьютерном классе

Лабораторные работы посвящены приобретению умений и навыков решения задач по основным разделам курса с помощью вычислительных систем, а также умения анализировать полученные результаты. Тематика лабораторных занятий:

- нестационарная задача теплопроводности в однородном стержне – 6 часов;
- нестационарная задача теплопроводности в составном стержне – 6 часов;
- плоская нестационарная задача теплопроводности в пластине – 10 часов;
- нестационарная сопряженная задача теплопроводности в плоской пластине с включением – 16 часов;
- нестационарная задача теплопроводности в однородном сечении цилиндрической формы (полярная система координат) – 12 часов;
- защита лабораторных работ – 4 часа.

3. ПРОГРАММА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

108 часов самостоятельной работы

- Самостоятельное, углубленное изучение студентом вопросов и тем теоретического раздела
 - Свойства математических моделей, их типы, принципы и способы построения. Этапы создания математических моделей, корректность моделей, устойчивость решения. Увязка уровней в иерархической сложной модели. Статические и динамические математические модели и их особенности. – **13 часов.**
 - Краевая задача для уравнения теплопроводности. Дифференциальное уравнение в частных производных параболического типа. Замыкающие соотношения. Начальные и граничные условия. Сопряженные задачи теплообмена. Условия сопряжения в случае идеального и неидеального контакта. – **16 часов.**
 - Нестационарная краевая задача теплопроводности для составного стержня. Особенности выбора шагов по времени и по координате. Равномерная и неравномерная разностная сетка. Сведение дифференциального уравнения в частных производных к разностному уравнению. Численные методы решения системы линейных алгебраических урав-



- нений. Метод прогонки – как самый оптимальный метод решения СЛАУ с трехдиагональной матрицей. – **20 часов.**
- Нестационарная краевая задача теплопроводности для плоской пластины с включением. Особенности построения разностной пространственно-временной сетки. Схемы расщепления для решения многомерных задач математической физики. – **22 часа.**
 - Нестационарная краевая задача теплопроводности для сечения цилиндрической формы. Особенности построения разностной пространственно-временной сетки в случае полярной системы координат. Схемы расщепления для решения многомерных задач математической физики. Аппроксимация частных производных на основе конечных разностей. – **17 часов.**
- Оформление результатов лабораторных работ – **20 часов.**

4. ТЕКУЩИЙ И ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Для текущего контроля в течение семестра предусматривается:

- результаты выполнения и защиты индивидуальных лабораторных работ.

В конце семестра студент должен сдать все лабораторные работы для допуска к сдаче экзамена.

Рейтинг планы, тесты, вопросы и задачи для контрольных, вопросы итогового контроля и экзаменационные билеты прилагаются к рабочей программе.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Перечень используемых информационных продуктов

При изучении дисциплины используются

- Технические средства аудитории с АСУ ПДС (компьютеры, мониторы, экраны).
- Программное обеспечение АСУ ПДС.
- Компьютерные программы:
 - для написания компьютерных программ используется компилятор Turbo Pascal.
 - для построения табличных функций одной переменной используется пакет Grapher.
 - для построения изолиний в случае функций двух переменных используется пакет Surfer.

5.2. Перечень рекомендуемой литературы

5.2.1. Основная

1. Фаронов В.В. Турбо Паскаль 7.0. Начальный курс: учебное пособие. – М.: “Нолидж”, 2000. – 576 с.
2. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с.
3. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 782 с.
4. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задачи теплопроводности. – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. – 172 с.



5.2.2. Дополнительная

5. Вержбицкий В.М. Основы численных методов: учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2002. – 840 с.
6. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 632 с.
7. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977. – 656 с.
8. Берковский Б.М., Ноготов Е.Ф. Разностные методы исследования задач теплообмена. – Минск: Наука и техника, 1976. – 141 с.

5.2.3. Вспомогательная

9. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
10. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., Соловьев С.Л. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 548 с.

Программу составил

к.ф.-м.н., старший преподаватель каф. АТЭС _____ М.А. Шеремет