

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет



Рабочая программа дисциплины

Численные методы технической физики

по направлению подготовки

16.03.01 Техническая физика

Направленность (профиль) подготовки :

Компьютерное моделирование в инженерной теплофизике и аэрогидродинамике

Форма обучения

Очная

Квалификация

Бакалавр

Год приема

2022

Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.14

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

 Э.Р. Шрагер

Руководитель ОПЭП

 А.В. Шваб

Председатель УМК

 Е.А. Скрипняк

Томск – 2022

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-1 – Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;
- ОПК-4 – Способен самостоятельно проводить теоретические и экспериментальные исследования в избранной области технической физики, использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности;
- ПК-1 – Способен использовать методы математического моделирования тепловых процессов, формулировать задачи компьютерных исследований процессов теплообмена при разработке изделий РКТ.;
- ПК-2 – Способен проводить исследования по аэрогидродинамике и процессам теплообмена изделий РКТ с использованием высокопроизводительной компьютерной техники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.1 Знать фундаментальные законы природы, основные законы и понятия естественно-научных и инженерных дисциплин.

ИОПК-1.2 Уметь на основе знаний по профильным разделам математических и естественно-научных дисциплин формировать собственные суждения при решении конкретных задач теоретического и прикладного характера.

ИОПК-1.3 Владеть навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач в различных областях технической физики.

ИОПК-4.1 Знать современные теоретические и экспериментальные методы исследований, позволяющие решать конкретные задачи в различных областях технической физики, основные приемы обработки и представления полученных данных.

ИОПК-4.2 Уметь самостоятельно проводить теоретические и экспериментальные исследования в избранной области технической физики, использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности.

ИОПК-4.3 Владеть современными теоретическими и экспериментальными методами исследования в избранной области технической физики, основными приемами обработки и представления полученных данных с учетом.

ИПК-1.1 Знает модели математического описания процессов теплообмена.

ИПК-1.2 Умеет использовать стандартные методики и разрабатывать новые подходы математического моделирования.

ИПК-1.3 Владеет теоретическими и численными методами исследований процессов теплообмена.

ИПК-2.1 Знает основы разработки численных методов решения прикладных задач.

ИПК-2.2 Умеет использовать пакеты прикладных программ и разрабатывать оригинальные программы реализации моделей.

ИПК-2.3 Владеет навыками представления и анализа полученных численных результатов.

2. Задачи освоения дисциплины

– Знать постановку основных задач вариационного исчисления, вывод и смысл уравнений Эйлера и Остроградского, решение основных классических задач типа задачи о брахистохроне, связь краевых задач и их вариационных формулировок, понятие условного экстремума и условие трансверсальности, численные методы Эйлера, Рунге, Канторовича, а также метод Галеркина.

- Уметь формулировать вариационные постановки краевых задач, решать задачи, сводящиеся к основным видам уравнения Эйлера.
- Владеть математическим аппаратом вариационного исчисления и основными принципами его использования для решения задач математической физики.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Седьмой семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Математический анализ», «Физика», «Математическая физика» и требует знаний в определенных разделах математики и физики, а именно: основных сведений из курсов аналитической геометрии, линейной алгебры, математического анализа, обыкновенных дифференциальных уравнений, общей физики, математической физики.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Линейные краевые задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод Эйлера. Методы Рунге-Кутты.

Тема 2. Постановка краевой задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка.

Тема 3. Методы решения систем линейных дифференциальных уравнений. Метод линейной интерполяции, Метод Ньютона. Метод суперпозиции. Метод прогонки.

Тема 4. Решение краевых задач методом конечных разностей.

Тема 5. Численные методы решения задач теплопроводности. Идея метода. Понятие аппроксимации. Понятие устойчивости разностных схем. Аппроксимация дифференциальных операторов. Явная схема. Неявная схема. Схема с «весами». Схемы для уравнения теплопроводности с переменным коэффициентом теплопроводности. Аппроксимация граничных условий. Алгоритмы решения. Метод прогонки. Особенности решения задач в цилиндрических и сферических системах координат. Способы задания неравномерных сеток.

Тема 6. Численные методы решения многомерных задач теплопроводности. Метод покоординатного расщепления. Метод продольно-поперечной прогонки. Разностные схемы для решения трехмерных задач.

Тема 7. Численные методы решения задач кондуктивно- конвективного теплопереноса. Явная разностная схема для уравнения кондуктивно- конвективного

теплопереноса. Неявная разностная схема для уравнения кондуктивно- конвективного теплопереноса. Построение схем второго порядка точности по пространству.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий, выполнения элементов курса в образовательной электронной среде, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Комплект заданий для самостоятельной работы студентов

Записать алгоритм решения системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка методом Эйлера.

Записать алгоритм решения системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка методом Рунге-Кутты.

Записать алгоритм решения обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка (краевой задачи) методом линейной интерполяции.

Записать алгоритм решения обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка (краевой задачи) методом Ньютона.

Записать алгоритм решения обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка (краевой задачи) методом суперпозиции.

Записать алгоритм решения обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка (краевой задачи) методом прогонки.

Записать аппроксимации дифференциальных операторов.

Записать явную разностную схему для заданного уравнения.

Записать неявную разностную схему для заданного уравнения.

Записать разностную схему с «весами» для заданного уравнения.

Записать явную и неявную разностную схему для уравнения теплопроводности с переменным коэффициентом теплопроводности.

Записать аппроксимации всех типов граничных условий.

Записать алгоритмы задания неравномерных сеток.

Записать разностные схемы для уравнения кондуктивно- конвективного теплопереноса.

Построить схему второго порядка точности по пространству для уравнения кондуктивно- конвективного теплопереноса.

Уравнения и системы уравнений даются преподавателем при выдаче задания на самостоятельную работу.

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов состоит:

- в изучении теоретических разделов курса
- в подготовке к практическим занятиям
- в подготовке к выполнению индивидуальных лабораторных заданий по курсу

Образцы заданий и вопросов для текущей и промежуточной аттестации

1.1. Разработайте решение краевой задачи

$$\frac{d^2 y}{dx^2} - xy = e^x, \quad 0 < x < 1, \quad \frac{dy(0)}{dx} = 1, \quad y(1) = 2$$

методом хорд (линейной интерполяцией).

1.2. Разработайте решение краевой задачи

$$\frac{d^3 y}{dx^3} + x \frac{dy}{dx} - y = x^2, \quad 0 < x < 1, \quad y(0) = 0, \quad \frac{dy(0)}{dx} - \frac{d^2 y(0)}{dx^2} = 1, \quad y(1) = 5 \text{ методом Ньютона.}$$

1.3. Разработайте решение краевой задачи

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dy}{dx} - x^2 y = x + 1, \quad 0 < x < 1, \quad \frac{dy(0)}{dx} = 0, \quad \frac{dy(1)}{dx} + 2y(1) = 3 \text{ методом суперпозиции.}$$

1.4. Разработайте решение краевой задачи

$\frac{d^3 y}{dx^3} - x \frac{d^2 y}{dx^2} + y = 0$, $0 < x < 1$, $y(0) = 0$, $y(1) = 2$, $\frac{d^2 y(1)}{dx^2} = 3$, $y(1) = 5$ методом Ньютона.

1.5. Запишите разностную схему (с порядком аппроксимации $\sim h^2$) решения краевой задачи

$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2}{x} \frac{dy}{dx} - e^x y = 0$, $0 < x < 1$, $\frac{dy(0)}{dx} = 0$, $y(1) = 4$.

В задачах 2.1-2.5 численно решить задачу о распространении тепла в слое толщины l , которое описывается уравнением

$$c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{2\alpha}{R_0} (T - T_0) + Q(x, t)$$

при заданных начальных и граничных условиях и зависимости $Q(x, t)$.

2.1. $T(x, 0) = T_0$, $T(0, t) = T_1$, $T(l, t) = T_2$, $Q(x, t) = const$.

Материал стенки – сталь. $\alpha = const$.

2.2. $T(x, 0) = T_0$, $\frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = 0$, $T(l, t) = T_2$, $Q(x, t) = const$.

Материал стенки – сталь. $\alpha = const$.

2.3. $T(x, 0) = T_0$, $T(0, t) = T_1$, $\frac{\partial T(l, t)}{\partial x} = 0$, $Q(x, t) = const$.

Материал стенки – стекло. $\alpha = const$.

2.4. $T(x, 0) = T_0$, $T(0, t) = T_1$, $-\lambda \frac{\partial T(l, t)}{\partial x} = \alpha (T(l, t) - T_0)$,

$Q(x, t) = const$.

Материал стенки – медь. $\alpha = const$.

2.5. $T(x, 0) = T_0$, $\lambda \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = \alpha (T(0, t) - T_0)$, $T(l, t) = T_2$,

$Q(x, t) = const$.

Материал стенки – алюминий. $\alpha = const$.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен проводится в устной форме по билетам. Билет содержит теоретический вопрос и одну задачу. Продолжительность зачета 45 минут.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Понятие аппроксимации. Определение порядка аппроксимации уравнения теплопроводности на трехточечном шаблоне.
2. Явная схема для уравнения теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.
3. Неявная схема для уравнения теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.
4. Схема с весами для уравнения теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.
5. Явная схема для уравнения теплопроводности с переменным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.
6. Неявная схема для уравнения теплопроводности с переменным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.
7. Метод прогонки для численного решения уравнения теплопроводности с переменным коэффициентом теплопроводности.
8. Аппроксимация неоднородных граничных условий II и III рода для задачи

теплопроводности с порядком аппроксимации $o(h)$ и $o(h^2)$.

9. Явная схема для уравнения конвекции-теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.

10. Неявная схема для уравнения конвекции-теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.

Результаты экзамена определяются оценками «Отлично», «Хорошо», «Удовлетворительно», «Неудовлетворительно» на основании ответов.

Оценивание производится с учетом данных о посещаемости занятий, результатов выполнения контрольных работ, работы в электронной-образовательной среде.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22353>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Крайнов А.Ю., Моисеева К.М. Численные методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. (учебное пособие). Томск: Изд-во STT, 2016. 42 с.

2. Крайнов А.Ю., Миньков Л.Л. Численные методы решения задач тепло- и массопереноса: (учебное пособие) Томск: Изд-во STT, 2016. 92 с.

3. Вабищевич П. Н. Вычислительные методы математической физики. Стационарные задачи / П. Н. Вабищевич. - Москва : Вузовская книга, 2016. - 195 с.

4. Вабищевич П. Н. Вычислительные методы математической физики : нестационарные задачи / П. Н. Вабищевич. - Москва : Вузовская книга, 2016. - 226 с.

5. Абакумов М. В. Лекции по численным методам математической физики : Учебное пособие / Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2018. - 158 с.

6. Самарский А. А. Численные методы решения задач конвекции-диффузии / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. - Изд. стер.. - Москва : ЛИБРОКОМ, 2015. - 246 с.

б) дополнительная литература:

1. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едитория УРСС. 2003. 784 с.

2. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Аддитивные схемы для задач математической физики. М.: Наука. 2001. 319 с.

3. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1978. 592 с.

4. В.М.Пасконов, В.И.Полежаев, Л.А.Чудов. Численное моделирование процессов тепло- массообмена. - М.: Наука. 1984. - 288 с.

5. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977. – 388 с.

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Крайнов Алексей Юрьевич, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой математической физики ФТФ ТГУ