

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

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Ю.Н. Рыжих

Оценочные материалы по дисциплине

**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

**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Э.Р. Шрагер

Ю.Н. Рыжих

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2024

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных и инженерных дисциплин, применять методы математического моделирования, теоретических и экспериментальных исследований

ОПК-8 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач

БК-1 Способен применять общие и специализированные компьютерные программы при решении задач профессиональной деятельности

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РОБК-1.1 Знает правила и принципы применения общих и специализированных компьютерных программ для решения задач профессиональной деятельности

РОБК-1.2 Умеет применять современные ИТ-технологии для сбора, анализа и представления информации; использовать в профессиональной деятельности общие и специализированные компьютерные программы

РООПК-1.1 Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы

РООПК-1.2 Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

РООПК-8.1 Знает методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации

РООПК-8.2 Умеет решать задачи обработки данных с помощью современных средств автоматизации

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

Контрольные работы.

Обеспечивают ОПК-1, ОПК-8, БК-1 (РОБК-1.1, РОБК-1.2, РООПК-1.1, РООПК-1.2, РООПК-8.1, РООПК-8.2)

Контрольная работа состоит из численного решения задачи двумя методами (определяется преподавателем), определением сеточной сходимости, проведением тестовых расчетов. Методы решения:

Решение краевой задачи методом «стрельбы».

Решение краевой задачи методом хорд.

Решение краевой задачи методом суперпозиции.

Решение краевой задачи методом Ньютона.

Решение краевой задачи методом конечных разностей.

Расчет теплопереноса в пластинках (плоских, цилиндрических, сферических, в том числе многослойных) в нестационарном случае при различных условиях теплообмена с окружающей средой при наличии источников тепла в пластинках с использованием явной схемы.

Расчет теплопереноса в пластинках (плоских, цилиндрических, сферических, в том числе многослойных) в нестационарном случае при различных условиях теплообмена с окружающей средой при наличии источников тепла в пластинках с использованием неявной схемы.

Примеры задач:

Решить краевые задачи:

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

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

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

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

Решить задачу о нестационарной теплопроводности:

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

$$\text{ср} \frac{\partial T}{\partial t} = l \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{2a}{R_0} (T - T_0) + Q(x, t)$$

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

$$2.1. \quad T(x, 0) = T_0, \quad T(0, t) = T_1, \quad T(l, t) = T_2, \quad Q(x, t) = \text{const}.$$

Материал стенки – сталь.  $a = \text{const}$ .

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

Материал стенки – сталь.  $a = \text{const}$ .

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

Материал стенки – стекло.  $a = \text{const}$ .

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

$$Q(x, t) = \text{const}.$$

Материал стенки – медь.  $a = \text{const}$ .

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

$$Q(x, t) = \text{const}.$$

Материал стенки – алюминий.  $a = \text{const}$ .

Критерии оценивания:

Результаты контрольной работы определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется, если все задача решена без ошибок, возможно с некоторыми недочетами.

Оценка «не зачтено» выставляется, если не задача не решена, или решена с ошибками.

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

Экзамен проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса.

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.
11. Разностная схема метода Эйлера, определение погрешности этого метода. Метод Эйлера для системы уравнений.
12. Постановка краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка. Метод Рунге-Кутты для системы уравнений.
13. Постановка краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка. Метод суперпозиции. Реализация этого метода (пошагово).

Перечень вопросов к экзамену составлен с учетом, что они содержат проверку освоения компетенций ОПК-1, ОПК-8, БК-1, а также РОБК-1.1, РОБК-1.2, РООПК-1.1, РООПК-1.2, РООПК-8.1, РООПК-8.2 обучающимся.

Билет к экзамену состоит из двух вопросов из перечня.

Примеры билетов к экзамену:

#### **Билет № 1**

1. Разностная схема метода Эйлера, определение погрешности этого метода. Метод Эйлера для системы уравнений.
2. Понятие аппроксимации. Определение порядка аппроксимации уравнения теплопроводности на трехточечном шаблоне.

#### **Билет № 2**

1. Постановка краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка. Метод Рунге-Кутты для системы уравнений.
2. Явная схема для уравнения теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.

#### Билет № 3

1. Постановка краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка. Граничные условия I, II, III рода.
2. Неявная схема для уравнения теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.

#### Билет № 4

1. Постановка краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка. Метод суперпозиции. Реализация этого метода (пошагово).
2. Схема с весами для уравнения теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.

#### Билет № 5

1. Постановка краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка. Метод прогонки.
2. Явная схема для уравнения теплопроводности с переменным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.

#### Билет № 6

1. Постановка краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка. Метод конечных разностей. Порядок точности этого метода.
2. Неявная схема для уравнения теплопроводности с переменным коэффициентом теплопроводности. Анализ устойчивости.

#### Билет № 7

1. Разностная схема метода Эйлера, определение погрешности этого метода. Метод Эйлера для системы уравнений.
2. Метод прогонки для численного решения уравнения теплопроводности с переменным коэффициентом теплопроводности.

#### Критерии оценивания:

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если даны правильные ответы на все теоретические вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ответы на вопросы даны с небольшими недочетами.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если ответ на один из вопросов дан полностью или с небольшими недочетами, на второй вопрос ответ не верный.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если даны неправильные ответы на все вопросы экзаменационного билета.

#### **4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)**

1. Понятие аппроксимации.
2. Понятие устойчивости.
3. Разностная аппроксимация первой производной функции.
4. Разностная аппроксимация второй производной функции.
5. Явная схема для уравнения теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности
6. Неявная схема для уравнения теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности.

7. Метод прогонки для численного решения уравнения теплопроводности.
8. Разностная схема метода Эйлера.
9. Метод Рунге-Кутты для системы уравнений.
10. Постановка краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка.

Критерии оценивания: считается выполненным, если дан верный ответ на 1 теоретический вопрос (исчерпывающий и/или с небольшими неточностями).

### **Информация о разработчиках**

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