

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

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Л. В. Гензе

Оценочные материалы по дисциплине

Современные методы вычислительной математики

по направлению подготовки

01.04.01 Математика

Направленность (профиль) подготовки:
Моделирование и цифровые двойники

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

Е.И. Гурина

Председатель УМК

Е.А. Тарасов

Томск – 2025

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен формулировать и решать актуальные и значимые проблемы математики.

ОПК-2 Способен строить и анализировать математические модели в современном естествознании, технике, экономике и управлении.

ОПК-3 Способен использовать знания в сфере математики при осуществлении педагогической деятельности.

ПК-1 Способен разрабатывать и внедрять цифровые двойники, используя современные технологии, методы и инструменты, с учетом технических требований заказчика и специфики моделируемых объектов и процессов..

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Формулирует поставленную задачу, пользуется языком предметной области, обоснованно выбирает метод решения задачи.

ИОПК 1.2 Анализирует актуальные и значимые проблемы математики и существующие подходы к их решению.

ИОПК 2.1 Анализирует, выбирает и обосновывает математические модели для решения задач в области современного естествознания, техники, экономики и управления.

ИОПК 2.2 Разрабатывает новые и/или адаптирует/совершенствует математические модели для задач современного естествознания, техники, экономики и управления под руководством более квалифицированного работника.

ИОПК 3.1 Популярно и доступно излагает современные научные достижения в сфере математики для аудитории различного уровня

ИПК 1.1 Анализирует и выбирает современные технологии, методы и инструменты для проектирования и разработки цифровых двойников с учетом специфики решаемых задач.

ИПК 1.3 Разрабатывает математические модели и алгоритмы для создания математической основы цифровых двойников изделий и технических систем.

ИПК 1.4 Применяет современные программные продукты и среды для моделирования и симуляции цифровых двойников.

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

– выполнение индивидуальных заданий.

Индивидуальное задание состоит из двух частей:

1). Решение задач вычислительной математики на языке C/C++.

2). Решение задач с помощью ППП ANSYS Fluent.

Пример индивидуального задания

Задача 1. (ИОПК 1.1)

По заданным табличным значениям построить:

- интерполяционный многочлен Лагранжа;

- кубический сплайн дефекта 1;

- аппроксимирующую функцию методом наименьших квадратов.

Задача 2. (ИОПК 1.2)

Для заданной функции вычислить приближенно производные первого и второго порядка и определенный интеграл. Исследовать сходимость приближенных вычислений.

Задача 3. (ИОПК 2.1, ИОПК 2.2, ИОПК 3.1)

Численно решить краевые задачи для а) одномерное уравнение теплопроводности, б) уравнения Пуассона, в) одномерного нестационарного конвективно-диффузионного уравнения методом конечных разностей. Исследовать аппроксимацию, устойчивость, сходимость.

Задача 4. (ИОПК 2.2)

Численно решить краевую задачу для одномерного нестационарного конвективно-диффузионного уравнения методом конечного объема.

Задача 5. (ИПК 1.1, ИПК 1.3, ИПК 1.4)

Для течения в квадратной камере с движущейся верхней крышкой (высота и ширина камеры 1м, внутри воздух, скорость движения верхней крышки 0,014м/с) построить геометрию, сетку и произвести расчеты с помощью пакета Ansys Fluent. Течение двумерное, изотермическое, ламинарное, однофазное, несжимаемое. Сетка порядка 100х100 узлов. Завершение расчетов по невязкам <0.001. Исследовать:

1. Влияние схемы аппроксимации конвективных членов: сравнить схемы First Order Upwind, Second Order Upwind второго порядка и MUSCL. Нарисовать графики сравнения расчетов с расчетами Ghia et al. И сходимости итерационного процесса. Исследовать также ускорение и эффективность параллельной OMP-реализации Fluent на допустимом числе ядер ПК. Получить таблицы ускорения и эффективности параллельной Fluent-программы. Подготовить отчет.
2. Влияние схемы аппроксимации конвективных членов: сравнить схемы First Order Upwind, Power Law, QUICK. Нарисовать графики сравнения расчетов с расчетами Ghia et al. И сходимости итерационного процесса. Исследовать также ускорение и эффективность параллельной OMP-реализации Fluent на допустимом числе ядер ПК. Получить таблицы ускорения и эффективности параллельной Fluent-программы. Подготовить отчет.
3. Влияние схемы согласования полей скорости и давления SIMPLE, SIMPLEC, PISO. Дать объяснения. Нарисовать графики сравнения расчетов с расчетами Ghia et al. И сходимости итерационного процесса. Исследовать также ускорение и эффективность параллельной OMP-реализации Fluent на допустимом числе ядер ПК. Получить таблицы ускорения и эффективности параллельной Fluent-программы. Подготовить отчет.
4. Влияние размера сетки на качество расчетов (равномерная; со сгущением у поверхностей, треугольная, не больше 200х200 узлов). Использовать MUSCL и SIMPLE. Дать объяснения. Нарисовать графики сравнения расчетов с расчетами Ghia et al. И сходимости итерационного процесса. Исследовать также ускорение и эффективность параллельной OMP-реализации Fluent на допустимом числе ядер ПК. Получить таблицы ускорения и эффективности параллельной Fluent-программы. Подготовить отчет.
5. Влияние скорости движения верхней крышки (0,0014, 0,014, 0,14 м/с). Использовать MUSCL и SIMPLE. Дать объяснения полученным результатам. Нарисовать графики сравнения расчетов с расчетами Ghia et al. И сходимости итерационного процесса. Исследовать также ускорение и эффективность параллельной OMP-реализации Fluent на допустимом числе ядер ПК. Получить таблицы ускорения и эффективности параллельной Fluent-программы. Подготовить отчет.

Критерии оценивания текущей аттестации.

Результаты выполнения поставленной задачи определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено», если программа работает правильно.

Оценка «не зачтено», если нет программы или программа работает неправильно.

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

Итоговая аттестация состоит из двух частей.

- 1) Отчет по выполненному индивидуальному заданию, проверяющий ИОПК 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 1.3 и ИПК 1.1, 1.3, 1.4.
- 2) Теоретическая часть (экзамен) содержит два вопроса, проверяющий ИОПК 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 1.3:

Примерный перечень теоретических вопросов (ИОПК 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 1.3):

1. Модели и моделирование. Математическое моделирование. Общие положения построения вычислительных алгоритмов на суперкомпьютерах.
2. Уравнения Навье-Стокса. Уравнение теплопроводности. Этапы вычислительного эксперимента.
3. Математическое описание физических процессов. Вывод нестационарного трехмерного уравнения конвекции-диффузии-реакции. Возможные упрощения.
4. Методы дискретизации дифференциальных уравнений.
5. Метод конечного объема. Первое знакомство. Одномерное уравнение теплопроводности. Свойства разностной схемы.
6. Постановки задач для уравнения конвекции-диффузии-реакции. Задача Дирихле. Задача Неймана. Задача Робина.
7. Свойства решений конвективно-диффузионного уравнения (КДУ).
8. Основные аппроксимации конвективно-диффузионного уравнения с помощью метода конечных разностей. Явная четырехточечная схема.
9. Основные аппроксимации конвективно-диффузионного уравнения с помощью метода конечных разностей. Явно-неявная четырехточечная схема.
10. Основные аппроксимации конвективно-диффузионного уравнения с помощью метода конечных разностей. Явно-неявная шести точечная схема.
11. О качественных свойствах разностных схем КДУ. Противопотоковая и центрально разностная аппроксимации конвективного члена. Достоинства и недостатки.
12. Метод конечного объема для нестационарного одномерного уравнения конвекции диффузии.
13. Неструктурированные сетки. Метод триангуляции Делоне. Конечные объемы на неструктурированных сетках. Разностная схема для уравнения Пуассона на неструктурированных сетках.
14. Схемы аппроксимации конвективных членов в уравнениях переноса. First Order Upwind, Second Order Upwind, Power Law, MUSCL.
15. Расчет поля течения. Разнесенная или шахматная сетка. Алгоритм SIMPLE. 16. SIMPLEC, PISO преимущества перед SIMPLE.
16. Алгебраический многосеточный метод решения разностных уравнений.
17. Запуск решателя Ansys Fluent в параллельном режиме.

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

При ответе на вопросы оценивается полнота, точность, логичность и аргументированность изложения материала. Система оценивания ответа на теоретические вопросы дана в Таблице.

Таблица Система критериев при оценивании ответов на вопросы экзамена

| Критерии соответствия | Оценка |
|-----------------------|--------|
|-----------------------|--------|

| | |
|---|---------------------|
| Студент полно, четко и логично излагает материал экзаменационного билета | отлично |
| Ответ не является полным, но изложенная часть логически не противоречива и изложена ясно и понятно. | хорошо |
| Ответ является неполным, изложение носит поверхностный характер, логически противоречиво, но понятно. | удовлетворительно |
| Неполный логически противоречивый недоказательный ответ или ответ отсутствует. | неудовлетворительно |

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

Оценочные материалы для проверки остаточных знаний могут быть использованы для формирования программы ГИА (программы государственного экзамена), а также экспертом Рособнадзора при проведении проверки диагностической работы по оценке уровня сформированности компетенций обучающихся (при контрольно-надзорной проверке). Вопросы данного раздела показывают вклад дисциплины в образовательный результат образовательной программы. Объем заданий в данном разделе зависит как от количества формируемых индикаторов достижения компетенций, так и от объема дисциплины по учебному плану.

Тест (ИПК 1.1, 1.3, 1.4)

1. Можно ли с помощью пакета ANSYS Fluent рассчитывать трехмерные течения?

- а). да
- б). нет

2. Какие физические процессы описывает конвективно-диффузионное уравнение?

- а). теплообмен
- б). гидродинамику
- в). перенос примеси
- г). химические реакции

3. В чем заключается преимущество использования неструктурированных сеток?

- а). Возможность рассчитывать процесс в сложной области
- б). Применять метод конечного объема

Ключи: 1 а), 2 а,б,в,г), 3 а,б).

Тест (ИОПК 1.1, 1.2, 2.1)

4. Укажите преимущество метода конечного объема перед методом конечных разностей:

- а) консервативность;
- б) монотонность;
- в) гладкость;

5. Укажите на каком количестве параллельных потоков можно запускать ANSYS Fluent:

- а) 1
- б) 10
- в) зависит от архитектуры CPU

6. Какой итерационный метод используется в ANSYS Fluent?

- а) последовательной верхней релаксации SOR
- б) алгебраический многосеточный AMG
- в) сопряженных градиентов CG

Ключ: 4а, 5в, 6б.

Информация о разработчиках

Старченко Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, кафедра вычислительной математики и компьютерного моделирования ММФ ТГУ, профессор.