

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

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

Л. В. Гензе

Рабочая программа дисциплины

Современные вычислительные технологии в механике жидкости и газа

по направлению подготовки

01.04.01 Математика

Направленность (профиль) подготовки :

Математический анализ и моделирование (Mathematical Analysis and Modelling)

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2023, 2024

Руководитель ОП
А.В. Старченко

Председатель УМК
Е.А. Тарасов

Томск – 2023

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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

ПК-1 Способен самостоятельно решать исследовательские задачи в рамках реализации научного (научно-технического, инновационного) проекта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

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

ИПК 1.1 Проводит исследования, направленные на решение отдельных исследовательских задач

2. Задачи освоения дисциплины

Научиться формулировать математические модели простых физических явлений и выполнять их дискретизацию с помощью методов конечных разностей и конечных объёмов (ИОПК 1.1).

Научиться применять методы математического и численного моделирования для описания однофазных течений в пористых средах и переноса тепла (ИПК 1.1).

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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

Первый семестр, зачет с оценкой

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 16 ч.

-практические занятия: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Работа с сеточными генераторами при решении задач механики жидкости и газа.

Создание различных типов сеток, определение начальных и граничных условий для разных областей сетки (ИОПК 1.1).

Тема 2. Создание программного кода для задач механики сплошных сред.

Создание компьютерных программ на языке C++, создание и использование классов элементов и узлов расчётной сетки, а также класса самой сетки, обработка и использование данных из файлов созданных в сеточных генераторах (ИОПК 1.1, ИПК 1.1).

Тема 3. Метод конечных разностей.

Построение дискретных аналогов для задачи однофазной фильтрации с помощью метода конечных разностей. Схемы дискретизации по времени (ИОПК 1.1, ИПК 1.1).

Тема 4. Методы решения СЛАУ.

Методы прогонки, верхней релаксации, получение и анализ результатов (ИОПК 1.1).

Тема 5. Метод конечных объёмов.

Построение дискретных аналогов для задач теплопроводности и однофазной фильтрации с помощью метода конечных объёмов. Программная реализация, получение и анализ результатов (ИОПК 1.1, ИПК 1.1).

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проверки компьютерных программ, написанных студентами, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. При проверке программ оценивается эффективность использования классов и корректность обработки данных расчётных сеток (ИОПК 1.1), а также навыки проведения расчётов и анализа результатов при решении исследовательских задач (ИПК 1.1).

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачёт в Шестом семестре проводится в устной форме по вопросам. Продолжительность зачёта 0.5 часа.

Примерный перечень вопросов:

1. Что понимается под классами в объектно-ориентированном программировании?
2. Что представляют собой члены класса?
3. Что представляют собой методы класса?
4. Какие основные типы данных используются в языке C++?
5. Перечислите операторы, используемые в языке C++ для организации циклов.
6. Назовите операторы, используемые в языке C++ для работы с файлами данных.
7. Объясните для чего используются ключевые слова `public`, `private`.
8. Объясните как на языке C++ объявить массив объектов какого-то класса.
9. Назовите операторы, используемые в языке C++ для считывания строки, слова из файла.
10. Объясните как в программе нужно обращаться к переменным-членам класса.
11. Дайте определение понятию дискретизации.
12. Что представляет собой дискретный аналог уравнения в частных производных?
13. Как определяется порядок аппроксимации расчётных схем?
14. Что лежит в основе метода конечных разностей?
15. Как определяется конечно-разностная производная первого порядка?
16. Опишите построение конечно-разностной производной второго порядка.
17. Назовите три основных схемы, используемых для дискретизации по времени.
18. В чем заключаются достоинства и недостатки явной схемы?
19. Назовите преимущества использования полностью неявной схемы для дискретизации по времени.
20. В чём заключается основная идея метода конечных объёмов?

Вопросы 1-10 позволяют оценить навыки студентов при программировании на языке C++ (ИОПК 1.1). Вопросы 11-20 помогают увидеть знания и понимание студентов в области проведения расчётов для исследовательских задач и анализа полученных результатов (ИПК 1.1).

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» ставится в том случае, если студент демонстрирует сформированные, систематические знания основных понятий и задач вычислительного практикума, возможно содержащие отдельные пробелы.

Оценка «не зачтено» ставится в том случае, если студент демонстрирует частные, фрагментарные, неструктурированные знания основных понятий и задач вычислительного практикума, либо знания полностью отсутствуют.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «IDo» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=31857>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

в) План практических занятий по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Alfio Quarteroni. Numerical Models for Differential Problems. Springer, 2014, 658 pp.
2. Thomas H. Pulliam, David W. Zingg. Fundamental Algorithms in Computational Fluid Dynamics. Springer, 2014, 211 pp.

3. Wanai Li. Efficient Implementation of High-Order Accurate Numerical Methods on Unstructured Grids. Springer, 2014, 148 pp.

б) дополнительная литература:

1. Numerical Analysis of Heat and Mass Transfer in Porous Media / edited by J.M.P.Q. Delgado, Antonio G. B. Lima, Marta V. Silva. Springer, 2012, 316 pp.

2. Peter J. Olver. Introduction to Partial Differential Equations. Springer, 2014, 635 pp.

3. Elena M. Vázquez-Cendón. Solving Hyperbolic Equations with Finite Volume Methods electronic resource. Springer, 2015, 188 pp.

в) ресурсы сети Интернет:

– <http://e-science.sources.ru/> – портал естественных наук

– <http://www.coursera.org/> – сайт обучающих курсов ведущих вузов мира

– <https://ocw.mit.edu/index.htm> – сайт открытых онлайн-курсов

– <http://journals.tsu.ru/mathematics/> – сайт журнала «Вестник Томского государственного университета. Математика и механика»

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

• операционные системы: Microsoft Windows 7

• средства разработки приложений и СУБД: Microsoft Visual Studio 2015

• пакеты математической и графической обработки данных: Golden Software Grapher, Golden Software Surfer

• пакеты для решения задач вычислительной гидродинамики: Gmsh

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/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Интерактивный набор (доска Smart с проектором, экран и проектор EPSON)

13 Компьютеров

15. Информация о разработчиках

Диль Денис Олегович, к.ф.-м.н., кафедры теоретической механики, доцент

Course curriculum

1. Course Aims

The purpose of mastering the course is a study of general concepts, terms and models (physical, mathematical and numerical) in fluid and gas mechanics.

PC-1 Able to independently solve research problems of a scientific (scientific, technical, innovative) project

IPC-1.1 Able to do research aimed at solving individual research problems

IPC-1.2 Determines the ways of practical use of scientific (scientific and technical) results

IPC-1.3 Provides mentoring in the research process.

2. Course problems

Learn to formulate simple physical and mathematical models of heat transfer and single-phase flows in porous medium, as well as apply mathematical and numerical models of this processes in research work.

Learn to apply finite difference and finite volume methods for discretization of constitutive equations on structured and unstructured computational grids.

3. Course place and impact in the curriculum

This course is a one of the courses of Professional cycle, selective course in block 2 of elective part of education program.

Modern computing technologies in fluid and gas mechanics is a basic course for master students who chose specialization on scientific topics of Theoretical Mechanics Department. It is a fundamental base for research project work in student's research practical training.

4. Semester(s) of mastering and form(s) of intermediate assessment in the discipline

First semester, assessment with score

5. Entrance requirements for mastering the course

None.

6. Language of instruction

English

7. Course structure

The total laboriousness of the course is 4 credits, 144 hours, of which:

-lectures: 16 h.

-practices: 16 h.

including practical training: 0 h.

The amount of independent work of the student is determined by the curriculum.

8. Course content

Topic 1. Working with mesh generators.

Constructing of various types of meshes, determination of initial and boundary conditions for different parts of the mesh.

Topic 2. Creation of program code for problems of continuum mechanics.

Writing computer programs in C++, creating and using classes of elements and nodes of the computational grid, as well as the class of the mesh itself, processing and using data from files created in mesh generators.

Topic 3. Finite difference method.

Construction of discrete analogues for the problem of heat transfer using the method of finite differences. Time discretization schemes.

Topic 4. Methods for solving SLAE.

Methods of sweeping, upper relaxation, obtaining and analyzing results.

Topic 5. Finite volume method.

Construction of discrete analogues for problems of heat transfer and single-phase flow in porous medium using the finite volume method. Software implementation, obtaining and analyzing results.

9. Students' progress active monitoring

During the implementation of the course, classical educational technologies are used – lectures, practical classes, and independent study of materials by students, testing knowledge through tests and exams. To conduct ongoing monitoring of the self-study work, the teacher can conduct small tests at the beginning of each lesson.

The questions of the exam are a generalization of the questions of the current control tests and allow assessing the level of competence formation and understanding of the formation of the physical picture within these sections.

10. Course guideline for students and exam policy

For the successful mastering of the material, students need to use the sources, information systems and databases that are presented in the list of references. Independent work of students consists in the study of lecture material, material from practical classes and independent study of additional issues, a deeper analysis of lectures with the help of additional literature.

Final assessment will be carried out by evaluating computer programs, prepared by students and oral answers to questions. When answering a question, the completeness and accuracy of the answer, the logic and reasoning of the presentation of the material are evaluated.

Sample list of questions for test

1. What is computational mesh
2. Which types of meshes do you know
3. How we can determine boundary conditions for different parts of the mesh
4. What is class in C++
5. Which standard variable members we need for element class of the mesh
6. Which standard variable members we need for node class of the mesh
7. What is discrete analogue of PDE
8. What is the main idea of the finite difference method
9. Which methods for solving SLAE do you know
10. What is the main idea of the finite volume method

Sample list of questions for assessment

1. Implementation of a mesh in the body of a computer program
2. Finite difference method
3. Problem of heat transfer
4. Time discretization schemes
5. Method of sweeping
6. Upper relaxation method
7. Finite volume method
8. Problem of single-phase flow in porous medium

11. Education technologies and methodical support for course realization

- a) Online course on TSU LMS platform «IDo» -
<https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=31857>
- б) Tests and exam materials for this course

12. Course literature and resources

a) Primary course literature.

1. Alfio Quarteroni. Numerical Models for Differential Problems. Springer, 2014, 658 pp.
2. Thomas H. Pulliam, David W. Zingg. Fundamental Algorithms in Computational Fluid Dynamics. Springer, 2014, 211 pp.
3. Wanai Li. Efficient Implementation of High-Order Accurate Numerical Methods on Unstructured Grids. Springer, 2014, 148 pp.

b) Additional course literature.

4. Numerical Analysis of Heat and Mass Transfer in Porous Media / edited by J.M.P.Q. Delgado, Antonio G. B. Lima, Marta V. Silva. Springer, 2012, 316 pp.
5. Peter J. Olver. Introduction to Partial Differential Equations. Springer, 2014, 635 pp.
6. Elena M. Vázquez-Cendón. Solving Hyperbolic Equations with Finite Volume Methods electronic resource. Springer, 2015, 188 pp.

c) Databases and information and reference systems

- <http://e-science.sources.ru/>
- <http://www.coursera.org/>
- <https://ocw.mit.edu/index.htm>

13. Software list and internet resources

Microsoft Windows 7, Microsoft Windows 10

Microsoft Visual Studio 2015, Intel Fortran/C/C++ Compiler 15

Gmsh, Golden Software Surfer 8;

Resources:

- TSU library E-catalog – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- TSU E-library – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- <http://e.lanbook.com/>
- <http://www.studentlibrary.ru/>
- <https://urait.ru/>
- <https://znanium.com/>
- <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Education and technical equipment

Classical audiences with a whiteboard, a projector and a computer with a pre-installed Microsoft Office 2010 office suite will use for lectures. Classrooms 314, 316, 319 will use for practical classes and independent work of students.

№№314, 316

PC

- LCD monitor BENQ 21.5”
- CPU Intel core i5-2400, 3.40 GHz
- RAM: 4 GB
- HDD 500 GB
- Nvidia GTS 450

№ 319

PC:

- Monitor LG 24"
- CPU Intel Core i7-4790 3.60GHz
- RAM 16 GB
- HDD 1 TB

15. Teaching staff

Associate professor, PhD, Denis Dil