

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 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. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

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. Задачи освоения дисциплины

– Основная задача дисциплины «Современные методы вычислительной математики» - подготовить магистрантов к пониманию и использованию вычислительных технологий при проведения научных исследований и решения прикладных задач в области моделирования и цифровых двойников.

– Особое внимание уделяется формированию знаний об используемых в современных прикладных пакетах численных методах.

– Овладение навыками численного решения характерных задач моделирования и создания цифровых двойников на компьютерах современной архитектуры.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы. Дисциплина входит в модуль Математика Digital Twins.

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

Первый семестр, экзамен

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 6 з.е., 216 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Модели и моделирование. Математическое моделирование. Этапы вычислительного эксперимента.

Тема 2. Общие положения построения вычислительных алгоритмов на суперкомпьютерах.

Тема 3. Теория интерполяции и приближения функций.

Тема 4. Численное дифференцирование и интегрирование.

Тема 5. Задача Коши и численные методы ее решения. Аппроксимация и устойчивость. Сходимость.

Тема 6. Жесткие системы ОДУ.

Тема 7. Постановки краевых задач для уравнений в частных производных. Уравнение теплопроводности. Внутренняя задача Дирихле для уравнения Пуассона. Уравнения Навье-Стокса.

Тема 8. Математическое описание физических процессов. Вывод нестационарного трехмерного уравнения конвекции-диффузии-реакции. Возможные упрощения.

Тема 9. Методы дискретизации дифференциальных уравнений.

Тема 10. Метод конечного объема. Первое знакомство. Одномерное уравнение теплопроводности. Свойства разностной схемы.

Тема 11. Постановки задач для уравнения конвекции-диффузии-реакции. Задача Дирихле. Задача Неймана. Задача Робина.

Тема 12. Свойства решений конвективно-диффузионного уравнения (КДУ).

Тема 13. Основные аппроксимации конвективно-диффузионного уравнения с помощью метода конечных разностей. Явная четырехточечная схема. Явно-неявная четырехточечная схема. Явно-неявная шеститочечная схема.

Тема 14. О качественных свойствах разностных схем КДУ. Противопотоковая и центрально разностная аппроксимации конвективного члена. Достоинства и недостатки.

Тема 15. Метод конечного объема для нестационарного одномерного уравнения конвекции диффузии.

Тема 16. Неструктурированные сетки. Метод триангуляции Делоне. Конечные объемы на неструктурированных сетках. Разностная схема для уравнения Пуассона на неструктурированных сетках.

Тема 17. Схемы аппроксимации конвективных членов в уравнениях переноса. First Order Upwind, Second Order Upwind, Power Law, MUSCL.

Тема 18. Расчет поля течения. Разнесенная или шахматная сетка. Алгоритм SIMPLE. Алгоритмы SIMPLEC, PISO, их преимущества перед SIMPLE.

Тема 19. Алгебраический многосеточный метод решения разностных уравнений.

Тема 20. Запуск решателя Ansys Fluent в параллельном режиме.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения индивидуальных заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестре. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен по теоретической части дисциплины в первом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=38041>

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

в) План практических занятий по дисциплине:

Интерполяция и приближение функций (4 часа).

Численное дифференцирование и интегрирование (2 часа).

Численное решение задачи Коши (4 часа).

Численные методы решения краевых задач. Одномерное уравнение теплопроводности. Явные и неявные методы (4 часа).

Численные методы решения краевых задач. Двумерная задача Дирихле для уравнения Пуассона. Итерационные методы решения сеточных уравнений (4 часа).

Численные методы решения краевых задач. Одномерное уравнение конвекции-диффузии. Явные и неявные методы (4 часа).

Численное решение уравнений Навье-Стокса на примере задачи о течении в каверне с движущейся верхней крышкой. Постановка задачи. Построение сетки. (4 часа)

Выбор математической модели и метода решения для задачи о течении в каверне в пакете ANSYS Fluent. (2 часа)

Схемы аппроксимации конвективных членов в уравнениях переноса. First Order Upwind, Second Order Upwind, Power Law, MUSCL. (2 часа)

Алгоритм SIMPLE. Алгоритмы SIMPLEC, PISO, их преимущества перед SIMPLE. (2 часа)

Запуск решателя Ansys Fluent в параллельном режиме.

г) Практические занятия призваны закрепить знания магистранта по отдельным разделам курса, привить им навыки свободного владения технологиями математического моделирования и развить алгоритмическое мышление. На практических занятиях обучающийся разрабатывает алгоритмы решения задач, составляет программы с использованием технологии программирования на языке программирования C++ и тестирует программы выполненных заданий.

д) Самостоятельная работа включает в себя: теоретическое освоение лекционного курса, практическое выполнение заданий, подготовку к экзамену. Для выполнения самостоятельной работы обеспечивается доступ к информационным ресурсам курса:

- материалы лекций;

- учебник «Пакет прикладных программ Fluent»;

- список вопросов для самостоятельной проверки знаний и подготовки к экзамену.
- список литературы, включающий учебники и книги по изучаемым в курсе вопросам.

Цель самостоятельной работы заключается в том, чтобы магистранты стремились к поиску и получению новой информации, необходимой для решения задач с использованием языков высокого уровня и создания программных продуктов, использующих все вычислительные ресурсы высокопроизводительных вычислительных систем, интеграции знаний применительно к своей области деятельности, к осознанию ответственности за принятие своих профессиональных решений; были способны к самообучению и постоянному профессиональному самосовершенствованию. В результате самостоятельного изучения разделов дисциплины у студентов закрепляются навыки выделения главного и второстепенного, установление логических связей между элементами темы, структурирования работы, краткого изложение основных понятий, принципов, методов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- В.Д. Гольдин, Е.И. Гурина, Е.А. Данилкин, Р.Б. Нутерман, А.В. Старченко. Численное моделирование задач механики жидкости и газа, тепло- массопереноса с помощью пакета прикладных программ ANSYS Fluent: Учебное пособие/Под ред. А.В. Старченко. – Томск: Изд-во СТТ, 2025. – 272 с.
- Патанкар С. Численные. методы. решения задач. теплообмена и динамики. жидкости. М.: Энергоатомиздат. 124с.
- Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. 1984. 288 с.
- Мазо А.Б. Вычислительная гидродинамика. Часть 1. Математические модели, сетки и сеточные схемы. Учебное пособие / А.Б. Мазо - Казань: Казан. ун-т, 2018. - 165 с.
- Роуч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980. 616 с.
- Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т.1,2. М.: Мир, 1991.
- В. П. Ильин Многосеточные методы неполной факторизации в
- подпространствах Крылова // Записки научных семинаров ПОМИ, 2022. Том 514.
- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. газа: Учеб. для вузов. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.
- Эглит М.Э. Лекции по основам механики сплошных сред. М.:Ленанд, 2014. 206 с.
- Гриднева В.А. Лекции по механике сплошной среды. Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет. Томск, 2004. 428 с.
- Старченко А.В., Беликов Д.А., Гольдин В.Д., Нутерман Р.Б. Пакет прикладных программ Fluent для решения задач механики жидкости и газа, тепло- и массопереноса //Учебно-методический комплекс. Томск: ТГУ, 2007. http://ido.tsu.ru/iop_res2/fluent
- Миньков Л.Л., Моисеева К.М. Численное решение задач гидродинамики с помощью вычислительного пакета Ansys Fluent : учеб. пособие. – Томск : СТТ, 2017. – 122 с.

б) дополнительная литература:

- Батурин О.В., Батурин Н.В., Матвеев В.Н. Построение расчетных моделей в препроцессоре Gambit универсального про-граммного комплекса Fluent: учеб. пособие – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. – 172 с.:ил.
- Батурин О.В., Батурин Н.В., Матвеев В.Н. Расчет течений жидкости и газа с помощью универсального программного комплекса FLUENT. Учеб. пособие – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 151с.: ил.
- Шаблий Л.С. Компьютерное моделирование типовых гидравлических и газодинамических процессов двигателей и энергетических установок в ANSYS Fluent: учеб. пособие / Л.С. Шаблий, А.В. Кривцов, Д.А. Колмакова. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2017. – 108 с.: ил
- Пастухов Д.Ф. Построение нестационарных моделей в оболочке ANSYS FLUENT : учебное пособие / Д. Ф. Пастухов, Н. К. Волосова, Ю. Ф. Пастухов. – 1-е изд. - Новополоцк: Полоцкий гос. университет, 2018. - 46 с.
- Горбачев М.В. Моделирование задач теплообмена в среде ANSYS FLUENT : учеб. пособие / М. В. Горбачев, В. С. Наумкин, В. А. Спарин. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2023. - 118 с.
- Левицкий И.А. Применение современных программно-вычислительных комплексов для решения задач тепломассообмена в промышленных агрегатах. Модели физических процессов в Ansys Fluent : учебник / И.А. Левицкий. – Москва : Издательский Дом НИТУ «МИСиС», 2022. – 500 с.
- Свобода Д.Г. Гидродинамическое моделирование течений в проточной части лопастных насосов с использованием программного пакета Ansys Fluent : учебное пособие / Д. Г. Свобода, А. А. Жарковский, Е. А. Иванов. — Санкт-Петербург : СПбГПУ, 2022. — 117 с.
- Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. Основы работы в ANSYS 17: учебное пособие. М.: ДМК Пресс, 2017. 210 с.
- Денисов М.А. Компьютерное проектирование. ANSYS. Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та, 2014. - 77 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>

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. Доступ к ANSYS Fluent.

Оснащение аудиторий 314, 316, 319:

интерактивный набор (доска InterWrite, экран, 2 проектора EPSON) 16 компьютеров;

свободное и лицензионное программное обеспечение: операционные системы: Microsoft Windows 10; офисные и издательские пакеты: Microsoft Office 2013, MikTeX+TeXstudiio, Libre Office; средства разработки приложений и СУБД: Microsoft Visual Studio 2015, Delphi 2006 (для работы с базами данных - Borland Database Engine, Database Desktop), Lazarus, PascalABC.NET, Intel Fortran Compiler 2015 (Parallel Studio), CUDA Toolkit 10.2, IDE CodeBlocks, MinGW compilers (C, C++, Fortran), Qtcreator, cmake, python3 (anakonda3), Visual Studio Code, R-lang, node.js, Pycharm, free pascal;

математические пакеты: PTC Mathcad 15, Mathematica 8, Maple 15, Matlab R2015; пакеты математической и графической обработки данных: Golden Software Grapher, Golden Software Surfer;

пакеты для решения задач вычислительной гидродинамики: Ansys 17.2, Fluent 6.3 + Gambit;

утилиты для получения удаленного доступа Winscp, Putty, Xming;

утилиты 7zip, Adobe Acrobat Reader, DjVu Reader, Far manager, Mozilla Firefox, Notepad++.

15. Информация о разработчиках

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