

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

Параллельное программирование

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.

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 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.

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 «Параллельное программирование» - подготовить магистрантов к использованию технологий параллельного программирования Open MultiProcessing (OpenMP) и Open Accelerators (OpenACC) для проведения научных исследований и решения прикладных задач на компьютерах с многоядерными центральными и графическими процессорами.

– Особое внимание уделяется формированию знаний о предназначениях и возможностях технологий параллельного программирования для многопроцессорных систем с общей и распределенной памятью.

– Овладение навыками работы на многопроцессорной вычислительной технике.

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, 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 часа, из которых:
-лекции: 16 ч.

-практические занятия: 16 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Введение. Обзор современной суперкомпьютерной техники. ТОР-500. ТОР-50. Многопроцессорные вычислительные системы с общей и распределенной памятью. Обзор активно используемых технологий параллельного программирования.

Тема 2. Параллельное программирование с использованием стандарта MPI. Основные понятия MPI. Базовые типы данных. Общие функции MPI.

Тема 3. Двухточечный обмен сообщениями.

Блокирующие функции передачи и приема сообщений.

Тема 4. Коллективный обмен сообщениями.

Широковещательная рассылка. Функции сбора и распределения данных. Функции редукции и сканирования. Векторные функции сбора и распределения данных.

Тема 5. Обзор технологии Open MultiProcessing.

Работа на кластере ТГУ. Набор текста программы, ее компиляция и запуск на счет в очередь.

Тема 6. Директивы OpenMP

Формат, области видимости, типы. Определение параллельной области, управление областью видимости. Распределение вычислений между потоками. Операция редукций, синхронизация.

Тема 7. Библиотека функций OpenMP. Переменные окружения.

Тема 8. Обзор технологии Open Accelerators.

Стандарт OpenACC, директивы параллельного выполнения, управления данными, прочие директивы.

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 семестр. 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

Зачет по теоретической части дисциплины в первом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность зачета 45 минут. Оценка «зачтено» по этой части выставляется при более 50% правильных ответов на все вопросы билета.

Зачет по практической части дисциплины в первом семестре выставляется по правильно выполненным лабораторным занятиям.

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=38042>

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

в) План практических занятий по дисциплине:

Работа на кластере ТГУ. Набор теста программы, ее компиляция и запуск на счет в очередь.(2 часа)

Блокирующие функции передачи и приема сообщений. Широковещательная рассылка. Функции сбора и распределения данных. Функции редукции и сканирования. (3 часа)

Директивы OpenMP, формат, области видимости, типы. Определение параллельной области, управление областью видимости. Распределение вычислений между потоками. Операция редукции. (3 часа)

Реализация тестовых заданий по технологиям MPI, директивам OpenMP и OpenACC для параллельного выполнения кодов и передачей данных между CPU и GPU. (8)

г) Практические занятия призваны закрепить знания магистранта по отдельным разделам курса, привить им навыки свободного владения технологиями параллельного программирования и развить алгоритмическое мышление. На практических занятиях обучающийся разрабатывает алгоритмы решения задач, составляет программы с использованием параллельной технологии программирования MPI, OpenMP, OpenACC 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 «Практикум по методам параллельных вычислений»;
- массовый открытый онлайн-курс «Введение в параллельное программирование с использованием OpenMP и MPI»;
- 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:

– Немнюгин С.А. Средства программирования для многопроцессорных вычислительных систем. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. – 88с.

– Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP. М.: Изд-во МГУ , 2013 – 344 с.

– Практикум по методам параллельных вычислений : [учебник] / А. В. Старченко, Е. А. Данилкин, В. И. Лаева, С. А. Проханов ; под ред. А. В. Старченко; Томский гос. ун-т; [Суперкомпьютерный консорциум ун-тов России]. – М.: Изд-во Московского университета, 2010. – 199 с. – URL:

<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000421177>

– Малявко А.А. Параллельное программирование на основе технологий OpenMP, MPI, CUDA. М.: Юрайт, 2017 – 216с.

– Боресков А. В., Харlamov А. А., Марковский Н. Д. и др. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA. Москва: Изд-во МГУ, 2012 – 332 стр.

б) дополнительная литература:

– Линев А. В. Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур : [учебник] / А. В. Линев, Д. К. Боголепов, С. И. Бастрakov ; под ред. В. П. Гергеля ; Нижегородский гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского ; [Суперкомпьютерный консорциум университетов России]. – М.: Изд-во Московского ун-та, 2010. – 148 с.

– Немнюгин С.А., Стесик О.Л. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. СПб.: БХВ - Петербург, 2002 – 400 с.

– Воеводин В.В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. - СПб: БХВ - Петербург, 2002. -608 с.

– [Высокопроизводительные вычисления на кластерах. Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2008. – 198 с. http://math.tsu.ru/sites/default/files/mmf2/e-resources/parallel.pdf](#)

– Романенко А.А. Особенности адаптации программ по GPU с использованием технологии OpenACC. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016 – 33с.

<https://www.nvidia.ru/docs/IO/130383/OpenACC.pdf>

в) ресурсы сети Интернет:

– <http://parallel.ru/> – Высокопроизводительные

– <http://www.netlib.orgblas/>

– <https://software.intel.com/en-us/intel-mkl>

– Массовый открытый онлайн-курс «Введение в параллельное программирование с использованием OpenMP и MPI»

– <https://www.coursera.org/learn/parallelnoye-programmirovaniye>

– <http://top500.org>

– <http://top50.supercomputers.ru>

Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система.
<http://www.consultant.ru>

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.);
- putty (дистрибутив putty) <https://www.putty.org/>
- winscp (дистрибутив winscp) <https://winscp.net/eng/download.php>

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 на вычислительный кластер ТГУ Cyberia.

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;

Лаева Валентина Ивановна, кафедра вычислительной математики и компьютерного моделирования ММФ ТГУ, старший преподаватель.