

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

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан ММФ ТГУ

Л. В.Гензе

Рабочая программа дисциплины

**Технологии параллельного программирования**

по направлению подготовки

**01.04.01 Математика**

Направленность (профиль) подготовки :  
**Математический анализ и моделирование**  
**Фундаментальная математика**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2023, 2024**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководители ОП  
А.В.Старченко, П.А.Крылов

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**

– Основная задача дисциплины «Технологии параллельного программирования» - подготовить магистрантов к использованию технологий параллельного программирования Message Passing Interface (MPI), 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 части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **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. Введение.

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

Тема 2. Двухточечный обмен сообщениями.

Блокирующие функции передачи и приема сообщений. Зондирующие функции. Функции совмещенного и замещающего обмена. Функции приема и передачи сообщений без блокировки. Функции проверки завершения обменов.

Тема 3. Коллективный обмен сообщениями.

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

Тема 4. Управление коммутаторами.

Функции создания групп процессов и коммутаторов. Функции декартовой топологии и топологии графа.

Тема 5. Производные типы данных.

Функции создания и регистрации производных типов данных. Функции упаковки и распаковки данных.

Тема 6. Обзор технологии Open MultiProcessing.

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

Тема 7. Директивы OpenMP

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

Тема 8. Библиотека функций OpenMP. Переменные окружения.

Тема 9. 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.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Экзамен в первом семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух вопросов:

вопрос 1 - по технологии параллельного программирования MPI;

вопрос 2 - по технологии OpenMP.

Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Топология графа. Функция создания коммутатора с топологией графа. Вспомогательные функции.
2. Основные понятия технологии OpenMP.

3. Декартова топология. Функция создания коммуникатора с декартовой топологией. Функция расщепления декартовой решетки. Вспомогательные функции.
4. Модель данных. Общие и локальные переменные OpenMP.
5. Производные типы данных. Функции – конструкторы производных типов. Регистрация и удаление производных типов.
6. Синхронизация в OpenMP.
7. Блокирующий двухточечный обмен. Функции передачи сообщения. Функция приема сообщения.
8. Директивы OpenACC для параллельного выполнения. Задание типа параллелизма в директиве loop.
9. Коллективные взаимодействия процессов. Синхронизация процессов.
10. Ключи директивы for OpenMP.

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 2.

*Таблица 2. Система критериев при оценивании ответов на вопросы экзамена*

Критерии соответствия	Оценка
Студент полно, четко и логично излагает материал предлагаемого на зачете вопроса	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 по сути.	неудовлетворительно

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «ИДо» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=25412>

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

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.(4 часа)

Широковещательная рассылка. Функции сбора и распределения данных. Функции редукции и сканирования. (4 часа)

Функции создания коммуникаторов.(2 часа)

Функции декартовой топологии. Функции топологии графа.(4 часа)

Функции создания и регистрации производных типов данных. Функции упаковки и распаковки данных.(2 часа)

Директивы OpenMP, формат, области видимости, типы. Определение параллельной области, управление областью видимости. (2 часа)

Директивы OpenMP, распределение вычислений между потоками. Операция редукции. (4 часа)

Директивы OpenMP, синхронизация. (2 часа)

Реализация тестовых заданий по директивам OpenACC для параллельного выполнения кодов и передачи данных между CPU и GPU. (6)

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 изложения 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., Харламов 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. Бахраков ; 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/>
- <http://www.netlib.org/blas/>
- <https://software.intel.com/en-us/intel-mkl>
- Массовый открытый онлайн-курс «Введение в параллельное про-граммирование 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+ TeXstudio, 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.