

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Многопоточные вычисления на основе технологий MPI и OpenMP
по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра вычислительной физики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: Н.И. Хохлов, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры вычислительной физики 04.06.2020

Аннотация

Целью дисциплины является формирование у студентов знаний в области многопоточных вычислений на основе технологий MPI и OpenMP. К задачам дисциплины относятся освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов) в области многопоточного программирования и формирование представления о технологиях MPI и OpenMP. После прохождения курса слушатель будет знать основы параллельного программирования; устройство современных высокопроизводительных систем; архитектуру библиотек MPI и OpenMP. Он будет уметь понять поставленную задачу, работать на современном компьютерном оборудовании, разрабатывать код программ, реализующий параллельные алгоритмы, выбирая адекватные средства синхронизации и атомарные операции платформы, отлаживать программы, исполняющиеся в параллельном окружении на современных аппаратных средствах, используя все технические возможности. Слушатель, успешно освоивший курс овладеет навыками освоения большого объема информации, техническими средствами разработки программ, исполняющихся в параллельном окружении, библиотеками MPI и OpenMP, используемыми при разработке программ, и понимать их применимость к задачам, навыками самостоятельной работы при разработке и отладке параллельных программ, математическим моделированием процесса исполнения алгоритмов на разделяемой и общей памяти.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

формирование у студентов знаний в области многопоточных вычислений на основе технологий MPI и OpenMP.

Задачи дисциплины

освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов) в области многопоточного программирования;

формирование представления о технологиях MPI и OpenMP.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-2 Способен применять методы математического анализа, математического моделирования и оптимизации для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	ОПК-2.1 Знаком с основными методами математического анализа, математического моделирования и оптимизации
	ОПК-2.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-2.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-5 Способен самостоятельно работать в средах современных операционных систем, наиболее распространенных прикладных программ и программ компьютерной графики	ОПК-5.1 Знаком с основными видами современных операционных систем и прикладными программами, включая программы компьютерной графики

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

Основы параллельного программирования;
Устройство современных высокопроизводительных систем;
Архитектуру библиотек MPI и OpenMP.

уметь:

понять поставленную задачу;
 работать на современном компьютерном оборудовании;
 разрабатывать код программ, реализующий параллельные алгоритмы, выбирая адекватные средства синхронизации и атомарные операции платформы;
 отлаживать программы, исполняющиеся в параллельном окружении на современных аппаратных средствах, используя все технические возможности.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;
 техническими средствами разработки программ, исполняющихся в параллельном окружении;
 библиотеками MPI и OpenMP, использующимися при разработке программ, и понимать их применимость к задачам;
 навыками самостоятельной работы при разработке и отладке параллельных программ;
 математическим моделированием процесса исполнения алгоритмов на разделяемой и общей памяти.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в курс. Основы MPI. Компиляция и запуск программ.		3		
2	Виды коммуникаций. Коммуникации типа точка-точка.		3		
3	Распараллеливание сеточных методов.		3		1
4	Групповые коммуникации.		3		1
5	Распределенные операции с матрицами и векторами.		3		1
6	Собственные типы MPI.		3		2
7	Группы и коммуникаторы. Виртуальные топологии.		3		2
8	Введение в MPI-2.		3		2
9	Введение в OpenMP.		2		2
10	Основы OpenMP.		2		2
11	Параллельное выполнение циклов, параллельные секции, синхронизация потоков.		2		2
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Введение в курс. Основы MPI. Компиляция и запуск программ.

Архитектура вычислительных систем с разделяемой памятью. История суперкомпьютеров. Кластера типа Beowulf. Устройства кластера и основные его компоненты. Высокоскоростные сети. История и стандарты MPI. Существующие реализации MPI. Основные понятия о процессах в MPI. Адресация процессов.

2. Виды коммуникаций. Коммуникации типа точка-точка.

Типы коммуникаций в MPI. Коммуникации типа точка-точка. Блокирующие и неблокирующие коммуникации. Особенности использования буфера библиотекой MPI. Очередность получения и передачи сообщений процессорами

3. Распараллеливание сеточных методов.

Основные алгоритмы распараллеливания сеточных методов решения PDE. Структурные и неструктурные сетки. Пакеты для деления неструктурных сеток. Распараллеливание на структурных сетках на примере уравнение теплопроводности в двумерном случае.

4. Групповые коммуникации.

Введение в групповые коммуникации в MPI. Особенности работы групповых коммуникаций. Типы групповых сообщений: синхронизация, сбор и передача данных, коллективные вычисления. Отличия и сходства в вызовах и работе с коммуникациями типа точка-точка. Взаимодействия процессов при групповых коммуникациях.

5. Распределенные операции с матрицами и векторами.

Алгоритмы распределенных операций над матрицами и векторами. Разбор примера решения СЛАУ методом сопряженных градиентов в MPI. Особенности работы с разреженными матрицами.

6. Собственные типы MPI.

Понятие о типе данных. Виды типов данных в MPI. Создание своих типов. Разбор примеров. Оптимизация распараллеливания задачи теплопроводности используя собственные типы.

7. Группы и коммутаторы. Виртуальные топологии.

Понятия о группах, коммутаторах и топологиях.

8. Введение в MPI-2.

Основные новшества в MPI-2. Динамическое порождение и уничтожение процессов. Параллельная работа с файлами.

9. Введение в OpenMP.

Вычислительные системы с общей памятью. Стандарт OpenMP. Сравнение со стандартными реализациями потоков (POSIX Threads, WinAPI и другие реализации). Поддержка современными компиляторами. Особенности компиляции и запуска программ. Модель программирования OpenMP.

10. Основы OpenMP.

Директивы PRAGMA и функции исполняющей среды OpenMP. Разбор простого примера «Hello World». Основные принципы программирования в OpenMP. Основные правила применения директив OpenMP, использующихся для описания данных и организации параллельных вычислений. Вопросы видимости данных и корректности доступа к данным.

11. Параллельное выполнение циклов, параллельные секции, синхронизация потоков.

Методы распараллеливания циклов и контроля распределения работы между процессорами. Статическое и динамическое распределение итераций между потоками. Способы балансировки работы процессоров с помощью директив OpenMP. Задание внешних переменных окружения с помощью функций OpenMP. Параллельные секции. Синхронизация параллельных потоков.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теория и практика параллельных вычислений [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Гергель .— М. : Интернет-Университет Информ. Технологий : БИНОМ. Лаб. знаний, 2007 .— 423 с.
2. Сеточно - характеристические численные методы [Текст] /К. М. Магомедов, А. С. Холодов, учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры. М., Юрайт, 2019

Дополнительная литература

1. Параллельные вычисления [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин .— СПб : БХВ-Петербург, 2004 .— 608 с.
2. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. В. Боресков [и др.] ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— М. : Изд-во Моск. ун-та, 2012 .— 336 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий курс должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам и в качестве курсового задания,
- подготовку к занятиям, дифференциальному зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра вычислительной физики
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: Н.И. Хохлов, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-2 Способен применять методы математического анализа, математического моделирования и оптимизации для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	ОПК-2.1 Знаком с основными методами математического анализа, математического моделирования и оптимизации
	ОПК-2.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-2.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-5 Способен самостоятельно работать в средах современных операционных систем, наиболее распространенных прикладных программ и программ компьютерной графики	ОПК-5.1 Знаком с основными видами современных операционных систем и прикладными программами, включая программы компьютерной графики

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Многопоточные вычисления на основе технологий MPI и OpenMP» обучающийся должен:

знать:

Основы параллельного программирования;
Устройство современных высокопроизводительных систем;
Архитектуру библиотек MPI и OpenMP.

уметь:

понять поставленную задачу;
работать на современном компьютерном оборудовании;
разрабатывать код программ, реализующий параллельные алгоритмы, выбирая адекватные средства синхронизации и атомарные операции платформы;
отлаживать программы, исполняющиеся в параллельном окружении на современных аппаратных средствах, используя все технические возможности.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;
техническими средствами разработки программ, исполняющихся в параллельном окружении;
библиотеками MPI и OpenMP, используемыми при разработке программ, и понимать их применимость к задачам;
навыками самостоятельной работы при разработке и отладке параллельных программ;
математическим моделированием процесса исполнения алгоритмов на разделяемой и общей памяти.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Типовые контрольные задания:

Описать основные принципы MPI. Компиляция и запуск программ.

Перечислить типы коммуникаций в MPI, привести примеры.

Описать коммуникации типа точка-точка.

Раскрыть особенности блокирующих и неблокирующих коммуникаций.

Описать особенности использования буфера библиотекой MPI.

Критерии оценивания:

- | | |
|----|---|
| 10 | Все посещения, все задания с дополнениями, активная работа на семинарах |
| 9 | Все посещения, все задания и дополнения |
| 8 | Все посещения, все задания |
| 7 | Все посещения, не сделано одно задание |
| 6 | Часть посещений, не сделано одно задание |
| 5 | Часть посещений, не сделано одно задание |
| 4 | Часть посещений, одно задание |
| 3 | Часть посещений, одно задание |
| 2 | Часть посещений, ни одного задания |
| 1 | Часть посещений, ни одного задания |

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется в форме дифференцированного зачета. Зачет проводится на основе итогов текущей успеваемости и сдачи заданий.

Вопросы:

Особенности работы групповых коммуникаций.

Типы групповых сообщений: синхронизация, сбор и передача данных, коллективные вычисления.

Отличия и сходства в вызовах и работе с коммуникациями типа точка-точка.

Взаимодействия процессов при групповых коммуникациях.

Примеры заданий:

- Клеточные автоматы типа «Жизнь».
- Клеточные автоматы Кохомото-Ооно.
- Решение простых двумерных сеточных итерационных задач.

Критерии оценивания

отлично

- | | |
|----|---|
| 10 | Все посещения, все задания с дополнениями, активная работа на семинарах |
| 9 | Все посещения, все задания и дополнения |
| 8 | Все посещения, все задания |

хорошо

- | | |
|---|--|
| 7 | Все посещения, не сделано одно задание |
| 6 | Часть посещений, не сделано одно задание |
| 5 | Часть посещений, не сделано одно задание |

удовлетворительно

- | | |
|---|-------------------------------|
| 4 | Часть посещений, одно задание |
| 3 | Часть посещений, одно задание |

неудовлетворительно

- | | |
|---|------------------------------------|
| 2 | Часть посещений, ни одного задания |
| 1 | Часть посещений, ни одного задания |

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.