

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Факультет вычислительной математики и кибернетики

**УТВЕРЖДАЮ**
Декан факультета ВМК МГУ
И.А.Соколов/
_____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Параллельная обработка данных

Уровень высшего образования:

бакалавриат

Направление подготовки (специальность):

02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность (профиль) ОПОП:

дисциплина относится к вариативной части программы

Форма обучения:

очная

Москва 2023

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки по направлениям 02.03.02, 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

1. Дисциплина относится к вариативной части ОПОП ВО.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля): учащиеся должны владеть знаниями по системам программирования, алгоритмам и алгоритмическим языкам в объеме, соответствующем программе четвертого года обучения основных образовательных программ бакалавриата по укрупненному группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки».

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников, частично формируемые при реализации дисциплины (модуля):

- **ОПК-2** Способностью применять в профессиональной деятельности современные языки программирования и языки баз данных, методологии системной инженерии, системы автоматизации проектирования, электронные библиотеки и коллекции, сетевые технологии, библиотеки и пакеты программ, современные профессиональные стандарты информационных технологий.
- **ПК-3** Способностью использовать современные инструментальные и вычислительные средства.
- **ПК-8** Способностью применять на практике международные и профессиональные стандарты информационных технологий, современные парадигмы и методологии, инструментальные и вычислительные средства.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать:

1. базовые принципы параллельной обработки данных;
2. основные классы параллельных вычислительных систем, особенности их архитектуры;
3. технологии параллельного программирования;
4. методы оценки производительности;
5. иметь представление о вычислительно сложных задачах из разных областей, понимать проблему отображения программ и алгоритмов на архитектуру параллельных компьютеров;
6. основы построения параллельных методов решения задач.

Уметь:

1. решать задачи на параллельных вычислительных системах;
2. определять параллельную структуру программ и алгоритмов;
3. оценивать параллельную сложность алгоритмов и эффективность методов решения задач.

Владеть:

1. навыками разработки параллельных программ с использованием различных технологий параллельного программирования;

2. навыками оптимизации и отладки параллельных программ;
3. навыками определения, описания и исследования информационной структуры программ и алгоритмов.
4. Формат обучения: лекции проводятся в традиционной манере с использованием компьютера и мультимедийного проектора для демонстрации слайдов.
5. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе 72 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.
6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе			Самостоятельная работа обучающихся часы (виды работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр.)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы			
		Занятия лекционного типа *	Занятия семинарского типа *	Всего	
1. Архитектура параллельных вычислительных систем. Введение в распределенные вычисления. Классификация вычислительных систем. Векторно-конвейерные компьютеры Параллельные компьютеры с общей памятью. Вычислительные системы с распределенной памятью. Гибридные архитектуры. Концепция GRID и облачные вычисления. Вычислительные ресурсы МГУ им. М.В. Ломоносова. Системы управления прохождением задач.	10	8	0	8	2
2. Основы параллельного программирования. Ускорение, эффективность параллельных алгоритмов. Закон Амдала. Слабая и сильная	8	6	0	6	2

масштабируемость. Базовые параллельные методы. Метод сдваивания. Метод геометрического параллелизма. Метод конвейерного параллелизма.							
3. Процессы и нити. Взаимодействующие процессы. Разделяемые ресурсы и синхронизация доступа к ним. Канал передачи данных, его свойства. Виды обменов. Синхронные, асинхронные буферизованные и небуферизованные. Оценка времени выполнения обменов.	8	6	0	6	2		
4. Модели и технологии параллельного программирования. Модель передачи сообщений. Модель общей памяти. Модель параллелизма по данным. Технология MPI. Технология OpenMP. Технология OpenACC. Технология DVM.	40	34	0	34	6		
5. Параллельные методы. Умножение матрицы на вектор. Умножение матриц. Решение систем линейных уравнений. Параллельные методы обработки графов. Методы параллельной сортировки данных. Введение в теорию анализа структуры программ и алгоритмов	14	10	0	10	4		
6. Разработка, оптимизация и отладка параллельных программ. Методы и средства отладки эффективности параллельных программ. Декомпозиция расчетных сеток. Балансировка загрузки. Методы и средства функциональной отладки параллельных программ. Динамический контроль корректности, сравнительная отладка. Наиболее часто встречаемые ошибки в параллельных программах.	10	8	0	8	2		
Промежуточная аттестация: устный экзамен	18	0	0	0	18		
Итого	108	72	0	72	36		

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости не предусмотрен рабочей программой.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Вопросы к экзамену.

1. Архитектура параллельных вычислительных систем. Классификация параллельных компьютеров и систем.

2. Векторно-конвейерные компьютеры. Понятие векторной обработки. Архитектура векторно-конвейерных компьютеров. Векторизация программ.
 3. Параллельные компьютеры с общей памятью. Архитектура компьютеров с общей памятью. Архитектура многоядерных процессоров.
 4. Вычислительные системы с распределенной памятью.
 5. Концепция GRID и облачные вычисления.
 6. Модели параллельного программирования. Модель передачи данных. Модель с общей памятью. Модель параллелизма по данным.
 7. Ускорение, эффективность, закон Амдала. Слабая и сильная масштабируемость.
 8. Методы и средства отладки эффективности параллельных программ.
 9. Методы и средства функциональной отладки параллельных программ. Динамический контроль, сравнительная отладка.
 10. Вычислительный комплекс IBM Blue Gene/P.
 11. Вычислительный комплекс IBM Polus.
- Технология параллельного программирования OpenMP.
12. Модель общей памяти. Выполнение OpenMP-программы (Fork and Join Model).
 13. Понятие консистентности памяти. Консистентность памяти в OpenMP (weak ordering).
 14. Основные понятия. Директивы и клаузы. Понятие структурного блока. Компиляция OpenMP-программы.
 15. Классы переменных (клаузы shared, private, директива threadprivate).
 16. Параллельная область (директива parallel).
 17. Понятие задачи (директива task).
 18. Распределение выполнения витков цикла между нитями (директива for).
 19. Различные способы распределения витков цикла между нитями (клауза schedule).
 20. Циклы с зависимостью по данным. Организация конвейерного выполнения для циклов с зависимостью по данным.
 21. Распределение нескольких структурных блоков между нитями (директива section).
 22. Редукционные операторы.
 23. Выполнение структурного блока одной нитью (директива single).
 24. Копирование значений приватных переменных (клаузы firstprivate, lastprivate, copyin, copyprivate).
 25. Конструкции для синхронизации нитей. Директивы critical, barrier, taskwait, atomic, flush, ordered.
 26. Система поддержки выполнения OpenMP-программ.
 27. Новые возможности стандарта OpenMP. Векторизация.
 28. Новые возможности стандарта OpenMP. Обработка исключительных ситуаций.
 29. Новые возможности стандарта OpenMP. Поддержка ускорителей/сопроцессоров.
 30. Ошибки в OpenMP-программах. Конфликт доступа к данным. Взаимная блокировка нитей. Неинициализированные переменные.
 31. Оптимизация OpenMP-программы. Балансировка нагрузки нитей. Локализация данных.
- Технология параллельного программирования DVM.

32. DVM - модель параллелизма по данным и управлению.
 33. Распределение и локализация данных (спецификации DISTRIBUTE, ALIGN, TEMPLATE).
 34. Правило собственных вычислений. Распределение витков цикла между процессорами.
 35. Спецификация параллельно выполняющихся секций программы (параллельных задач) и отображение их на процессоры
 36. Организация доступа к удаленным (расположенным на других процессорах/ускорителях) данным .
 37. Организация выполнения редуционных операций - глобальных операций с расположенными на различных процессорах/ускорителях данными (таких, как их суммирование или нахождение их максимального или минимального значения).
 38. Определение фрагментов программы (регионов) для выполнения на ускорителях.
 39. Управление перемещением данных между памятью ЦПУ и памятью ускорителей.
 40. Параллельный ввод-вывод в DVM-системе.
 41. Функциональная отладка и анализ эффективности DVM-программ.
- Технология параллельного программирования MPI.
42. Основные понятия MPI: сообщение, структура сообщения, тело сообщения, тэг, коммуникатор, базовые типы данных MPI.
 43. Базовые функции MPI_Init, MPI_Finalize, MPI_Comm_size и MPI_Comm_rank.
 44. Организация двухсторонних взаимодействий в MPI. Понятие о режимах передачи сообщений. Схемы реализации. Условия завершения операций двухсторонней передачи.
 45. Функции MPI_Send и MPI_Recv: назначение, список параметров, примеры использования. Определение числа фактически полученных элементов сообщения. Совмещенная операция MPI_Sendrecv.
 46. Неблокирующие функции MPI_Isend и MPI_Irecv: назначение, список параметров, примеры использования.
 47. Функции проверки и ожидания завершения пересылок MPI_Wait, MPI_Test.
 48. Понятие о коллективных операциях. Функция MPI_Barrier. Широковещательная рассылка данных MPI_Bcast. Операция редукции.
 49. Семейство коллективных функций сборки и рассылки данных MPI_Gather, MPI_Scatter, MPI_Alltoall.
- Введение в методы параллельного программирования.
50. Параллельные методы умножения матрицы на вектор.
 51. Параллельные методы умножения матриц. Lentочный алгоритм.
 52. Параллельные методы умножения матриц. Алгоритм Фокса.
 53. Параллельные методы умножения матриц. Алгоритм Кэннона.
 54. Методы параллельной сортировки данных.
 55. Параллельные методы решения систем линейных уравнений. Метод Гаусса.
 56. Параллельные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных. Метод Jacobi.
 57. Параллельные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных. Метод SOR.
 58. Параллельные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных. Метод Red-Black.

Экзаменационный билет состоит из двух вопросов, например

1. Ускорение, эффективность, закон Амдала. Слабая и сильная масштабируемость.
2. Циклы с зависимостью по данным. Организация конвейерного выполнения для циклов с зависимостью по данным.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	2	3	4	5
Знания <i>Экзамен</i>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения <i>Экзамен</i>	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) <i>Экзамен</i>	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач
Соответствие результатов обучения и компетенций, в развитии которых участвует дисциплина (модуль)				
Результаты обучения			Компетенция, с частичным формированием которой связано достижение результата обучения	
Знать: <ol style="list-style-type: none"> 1. базовые принципы параллельной обработки данных; 2. технологии параллельного программирования. 			ОПК-2	
Владеть: <ol style="list-style-type: none"> 1. навыками разработки параллельных программ с использованием различных технологий параллельного программирования. 				
Владеть: <ol style="list-style-type: none"> 1. навыками оптимизации и отладки параллельных программ; 				

<p>2. навыками разработки параллельных программ с использованием различных технологий параллельного программирования.</p>	ПК-3
<p>Знать:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. технологии параллельного программирования; 2. иметь представление о вычислительно сложных задачах из разных областей, понимать проблему отображения программ и алгоритмов на архитектуру параллельных компьютеров. <p>Уметь:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. решать задачи на параллельных вычислительных системах; <p>Владеть:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. навыками разработки параллельных программ с использованием различных технологий параллельного программирования; 2. навыками оптимизации и отладки параллельных программ. 	ПК-8

8. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. В.В.Воеводин, Вл.В.Воеводин. Параллельные вычисления-СПб.: БХВ-Петербург, 2002.-608 с.: ил. (тираж - 3000 экземпляров). ISBN 5-94157-160-7
2. А. О. Лацис. Параллельная обработка данных: учеб. пособие для студ. вузов - М. : Издательский центр «Академия», 2010. - 336 с. - (Университетский учебник. Сер. Прикладная математика и информатика). ISBN 978-5-7695-5951-8
3. Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP: Учеб. пособие. Предисл.: В.А.Садовничий. - М.: Издательство Московского университета, 2012.-344 с.- (Серия "Суперкомпьютерное образование"). ISBN 978-5-211-06343-3.
4. Якововский М.В. Введение в параллельные методы решения задач. Учебное пособие. Серия: «Суперкомпьютерное образование». Издательство МГУ. 2013.

Дополнительная литература:

1. Э. Таненбаум, Х. Бос. Современные операционные системы. 4-е изд. - М.: Издательство «Питер», 2017. - 1120 с. ISBN 9785496013956.
2. Э. Таненбаум, М. ван Стеен. Распределенные системы. Принципы и парадигмы - М.: Питер, 2003 - 876 с. - Классика computer science; ISBN 5-272-00053-6.

Информационные справочные системы:

<http://hpc.cs.msu.ru/>

<https://www.mpi-forum.org/>

<https://www.openmp.org/>

<https://www.openacc.org/>

<https://dvm-system.org>

Материально-техническое обеспечение: аудитория с партами, компьютером и мультимедийным проектором для демонстрации слайдов.

9. Язык преподавания - русский.

10. Преподаватели: доцент факультета ВМК МГУ В.А. Бахтин.

11. Авторы программы: доцент факультета ВМК МГУ В.А. Бахтин.