

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы параллельных вычислений

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.03 Основы параллельных вычислений относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-12: Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач производственно-технологической деятельности	<p>ПК-12.1: Знает основные методы разработки математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности</p> <p>ПК-12.2: Умеет оценивать трудоемкость разработки программных средств для решения задач производственно-технологической деятельности</p> <p>ПК-12.3: Имеет навыки разработки системного программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности</p>	<p>ПК-12.1: ЗНАТЬ Методику разработки параллельных программ для систем с распределенной памятью, анализа их эффективности и подходы к ее повышению.</p> <p>ПК-12.2: УМЕТЬ Применять на практике технологию MPI для разработки параллельных программ.</p> <p>ПК-12.3: ВЛАДЕТЬ Навыками настройки IDE Microsoft Visual Studio для разработки MPI-программ, конфигурирования системного окружения для запуска MPI-программ, использования библиотеки MPI.</p>	Практическое задание Тест	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-5: Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной	<p>ПК-5.1: Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</p> <p>ПК-5.2: Умеет применять типовые математические</p>	ПК-5.1: Цели и задачи параллельной обработки данных, классификацию современных параллельных вычислительных систем, показатели эффективности параллельных вычислений.	Практическое задание Тест	Зачёт: Контрольные вопросы

деятельности	методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности ПК-5.3: Имеет навыки разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности	ПК-5.2: Оценивать ускорение, эффективность, масштабируемость разрабатываемых параллельных программ. ПК-5.3: ВЛАДЕТЬ Навыками оценки масштабируемости параллельных алгоритмов.		
--------------	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Цели и задачи введения параллельной обработки данных	8	1		1	7
Обзор современных параллельных вычислительных систем. Классификация и оценка производительности	8	1		1	7

Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью	9	2		2	7
Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды»	9	2		2	7
Анализ модели вычислений: определение времени выполнения параллельного метода, оценка максимально достижимого распараллеливания, выбор вариантов распределения вычислительной нагрузки, методы оценки масштабируемости параллельных алгоритмов. Агрегация модели вычислений	9	2		2	7
Принципы организации параллелизма с использованием MPI	15	2	3	5	10
Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции	16	2	4	6	10
Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка данных. Организация асинхронной схемы вычислений	17	2	5	7	10
Типы данных MPI. Виртуальные топологии	16	2	4	6	10
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Цели и задачи введения параллельной обработки данных
2. Обзор современных параллельных вычислительных систем. Классификация и оценка производительности
3. Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью
4. Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды»
5. Анализ модели вычислений: определение времени выполнения параллельного метода, оценка максимально достижимого распараллеливания, выбор вариантов распределения вычислительной нагрузки, методы оценки масштабируемости параллельных алгоритмов. Агрегация модели вычислений
6. Принципы организации параллелизма с использованием MPI
7. Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции
8. Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка данных. Организация асинхронной схемы вычислений
9. Типы данных MPI. Виртуальные топологии

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. В.П. Гергель, К.А. Баркалов, И.Б. Мееров, А.В. Сысоев, и др. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы: Учебное пособие в 4 томах. - Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2013. (50 экз)
2. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем. - М.: Издательство Московского университета, 2010. (47 экз)

3. Гергель В.П. Курс «Основы параллельных вычислений».

<http://www.intuit.ru/studies/courses/1091/293/info>

4. Гергель В.П. Курс «Теория и практика параллельных вычислений».

<http://www.intuit.ru/studies/courses/1156/190/info>

5. Корняков К.В., Мееров И.Б., Сиднев А.А., Сысоев А.В., Шишков А.В. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2010. (19 экз.)

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-12:

1. Поразрядная сортировка LSD Radix Sort для вещественных чисел (тип double)
2. Поразрядная сортировка MSD Radix Sort для целых чисел
3. Поразрядная сортировка MSD Radix Sort для вещественных чисел (тип double)

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-5:

1. Умножение плотных матриц. Блочная схема, алгоритм Фокса
2. Умножение плотных матриц. DNS-алгоритм
3. Умножение плотных матриц. Алгоритм Штрассена.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Работа выполнена в полном объеме и в срок, результаты работы алгоритма корректные на тестовых примерах, результаты работы представлены преподавателю.
не зачтено	Работа не выполнена или выполнена не в полном объеме (программа работает некорректно на тестовых примерах, результаты работы не представлены преподавателю).

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-12:

1. Прием сообщения при помощи функции MPI_Recv может быть инициирован:
 - (+) до момента, в момент или после момента начала отправки сообщения,
 - только в момент начала отправки сообщения,
 - только после момента начала отправки сообщения.
2. Функция MPI_Recv:
 - (+) блокирует процесс-получатель до момента фактического получения сообщения,

- принимает сообщение в фоновом режиме, процесс в это время может продолжать вычисления,
- в зависимости от используемой операции передачи может, как заблокировать, так и не заблокировать процесс-получатель.

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-5:

1. Ускорение параллельных вычислений – это:

- отношение времени последовательного алгоритма ко времени параллельного решения задачи (+)
- отношение времени последовательного алгоритма ко времени параллельного решения задачи при использовании максимально возможного количества процессоров
- отношение времени параллельного алгоритма ко времени последовательного решения задачи

2. Отметьте верные утверждения:

- вызов MPI_Comm_rank(&ProcRank) определяет ранг (номер) вызвавшего процесса
- (+) вызов MPI_Comm_rank(&ProcRank, MPI_COMM_WORLD) определяет ранг (номер) вызвавшего процесса
- вызов MPI_Comm_size(&ProcNum) определяет общее число запущенных параллельных процессов приложения
- (+) вызов MPI_Comm_size(&ProcNum, MPI_COMM_WORLD) определяет общее число запущенных параллельных процессов приложения

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	как минимум 80% правильных ответов в тесте
не зачтено	менее 80% правильных ответов в тесте

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				

компет							
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворитель	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена

	но	дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-12

1. Цели и задачи введения параллельной обработки данных.
2. Классификация современных параллельных вычислительных систем.
3. Оценка производительности современных параллельных вычислительных систем.
4. Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость.
5. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды».
6. Анализ модели вычислений в виде графа «операции-операнды»: определение времени выполнения параллельного метода, оценка максимально достижимого распараллеливания.
7. Анализ модели вычислений в виде графа «операции-операнды»: выбор вариантов распределения вычислительной нагрузки, методы оценки масштабируемости параллельных алгоритмов.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-5

1. Принципы построения параллельных вычислительных систем.
2. Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью.
3. Агрегация модели вычислений в виде графа «операции-операнды».
4. Принципы организации параллелизма с использованием MPI.
5. Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции.
6. Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка данных.
7. Передача данных средствами MPI. Организация асинхронной схемы вычислений.
8. Агрегация модели вычислений в виде графа «операции-операнды».
9. Типы данных MPI. Виртуальные топологии.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 1. Библиотека MPI. Матрично-векторное и матричное умножение. Решение СЛАУ. Поиск путей на графе / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 239 с. - ISBN 978-5-91326-203-5 : 171.99., 52 экз.
2. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 2. Технология OpenMP. Технология Clik Plus. Библиотека Intel ArBB. Библиотека TBV. Технология CUDA. Технология OpenCL / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 367 с. - ISBN 978-5-91326-203-5 : 257.26., 52 экз.
3. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 3. Элементы компьютерной арифметики. Прямые и итерационные методы решения СЛАУ / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 415 с. - ISBN 978-5-91326-203-5 : 288.63., 52 экз.
4. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 4. Системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Дифференциальные уравнения в частных производных. Методы Монте-Карло / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 369 с. - ISBN 978-5-91326-203-5 : 258.25., 52 экз.
5. Гергель Виктор Павлович. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлениям ВПО 010400 "Прикладная математика и информатика" и 010300 "Фундам. информатика и информ. технологии" / Б-ка ННГУ. - М. : Изд-во Моск. ун-та, 2010. - 544 с. : ил. - (Суперкомпьютерное образование). - На обл. кн.: Суперкомпьютерный консорциум университетов России. - ISBN 978-5-211-05937-5 : 220.00., 49 экз.
6. Теория и практика параллельных вычислений / Гергель В.П. - Москва : ИНТУИТ, 2016., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=663423&idb=0>.
7. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью : учеб. пособие / [под ред. В. П. Гергеля] ; ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - 201 с. - ISBN 978-5-91326-138-0 : 100.00., 21 экз.

Дополнительная литература:

1. Параллельное программирование с использованием OpenMP / Левин М.П. - Москва : ИНТУИТ,

2016., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=663520&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<https://e-lib.unn.ru>

<https://intuit.ru/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Сысоев Александр Владимирович, кандидат технических наук.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.