Приложение 4

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 Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Параллельное программирование для кластерных систем

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы
Сопряженная разработка программного и аппаратного обеспечения

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.12.02 Параллельное программирование для кластерных систем 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-4: Способен проектировать программное обеспечение	*ПК-4.1: Знает типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения* *ПК-4.2: Знает методы и средства проектирования программного обеспечения* *ПК-4.3: Знает методы и средства проектирования баз данных* *ПК-4.4: Умеет использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения* *ПК-4.5: Умеет применять методы и средства проектирования программного обеспечения, структур данных, баз данных*	*ПК-4.1:* *ЗНАЕТ общие принципы использования вычислительной техники для решения прикладных задач* *ПК-4.2:* *ЗНАЕТ методику разработки параллельных программ для систем с распределенной памятью* *ПК-4.3:* *ЗНАЕТ методику разработки параллельных программ для систем с распределенной памятью* *ПК-4.4:* *УМЕЕТ применять на практике технологии MPI для разработки параллельных программ* *ПК-4.5:* *ВЛАДЕЕТ навыками настройки IDE Microsoft Visual Studio для разработки MPI-программ, конфигурирования системного окружения для запуска MPI программ, использования библиотеки MPI.*	*Собеседование* *Проект*	*Экзамен:* *Контрольные вопросы*

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	**2**
самостоятельная работа	**38**
Промежуточная аттестация	**36** **Экзамен**

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	
	ооо	ооо	ооо	ооо	ооо
Тема 1. Цели и задачи введения параллельной обработки данных	5	1	0	1	4
Тема 2. Обзор современных параллельных вычислительных систем. Классификация и оценка производительности	8	2	2	4	4
Тема 3. Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью	8	2	2	4	4
Тема 4. Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды»	8	2	2	4	4
Тема 5. Анализ модели вычислений: определение времени выполнения параллельного метода, оценка максимально достижимого распараллеливания, выбор вариантов распределения вычислительной нагрузки, методы оценки	8	2	2	4	4
Тема 6. Принципы организации параллелизма с использованием MPI	8	2	2	4	4
Тема 7. Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции	8	2	2	4	4
Тема 8. Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка данных. Организация асинхронной	10	2	2	4	6

схемы вычислений					
Тема 9. Типы данных MPI. Виртуальные топологии	7	1	2	3	4
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	108	16	16	34	38

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.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:
Открытые онлайн-курсы МООС:

Введение в параллельное программирование, https://e-learning.unn.ru/enrol/index.php?id=6766.

Иные учебно-методические материалы:
−Гергель В.П. Курс «Основы параллельных вычислений».
http://www.intuit.ru/studies/courses/1091/293/info
−Гергель В.П. Курс «Теория и практика параллельных вычислений».
http://www.intuit.ru/studies/courses/1156/190/info
−Немнюгин С. Курс «Основы параллельного программирования с использованием MPI».
http://www.intuit.ru/studies/courses/1090/294/info

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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Цели и задачи введения параллельной обработки данных.

2. Принципы построения параллельных вычислительных систем.

3. Классификация современных параллельных вычислительных систем.

4. Оценка производительности современных параллельных вычислительных систем.

5. Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью.

6. Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Проект) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1) Лабораторная работа (проект) «Умножение плотных матриц. Блочная схема, алгоритм Фокса»

2) Лабораторная работа (проект) «Умножение плотных матриц. Блочная схема, алгоритм Фокса. Реализовать и использовать виртуальную топологию решетка»

3) Лабораторная работа (проект) «Умножение плотных матриц. DNS-алгоритм»

4) Лабораторная работа (проект) «Умножение плотных матриц. Алгоритм Штрассена»

5) Лабораторная работа (проект) «Умножение разреженных матриц. Формат хранения матрицы – координатный»

6) Лабораторная работа (проект) «Умножение разреженных матриц. Формат хранения матрицы – строковый (CRS)»

7) Лабораторная работа (проект) «Умножение разреженных матриц. Формат хранения матрицы – столбцовый (CCS)»

8) Лабораторная работа (проект) «Решение систем линейных уравнений метод сопряженных градиентов»

9) Лабораторная работа (проект) «Метод циклической редукции для трехдиагональных систем линейных уравнений»

10) Лабораторная работа (проект) «Поразрядная сортировка LSD Radix Sort для целых чисел»

11) Лабораторная работа (проект) «Поразрядная сортировка LSD Radix Sort для вещественных чисел (тип double)»

12) Лабораторная работа (проект) «Поразрядная сортировка MSD Radix Sort для целых чисел»

13) Лабораторная работа (проект) «Поразрядная сортировка MSD Radix Sort для вещественных чисел (тип double)»

14) Лабораторная работа (проект) «Поиск кратчайших путей из одной вершины (алгоритм Дейкстры)»

15) Лабораторная работа (проект) «Поиск кратчайших путей из одной вершины (алгоритм Мура)»

16) Лабораторная работа (проект) «Поиск кратчайших путей из одной вершины для разреженных графов (алгоритм Джонсона)»

17) Лабораторная работа (проект) «Алгоритм глобального поиска для одномерных задач оптимизации. Распараллеливание путем разделения области поиска»

18) Лабораторная работа (проект) «Алгоритм глобального поиска для одномерных задач оптимизации. Распараллеливание по характеристикам»

19) Лабораторная работа (проект) «Многошаговая схема решения двумерных задач глобальной оптимизации. Распараллеливание путем разделения области поиска»

20) Лабораторная работа (проект) «Многошаговая схема решения двумерных задач глобальной оптимизации. Распараллеливание по характеристикам»

Во всех лабораторных работах требуется разработать параллельную программу, решающую поставленную задачу указанным алгоритмом. При отсутствии явных указаний считается, что данные в задаче имеют тип с плавающей запятой двойной точности. Оценивание результатов выполняется в смысле:

а) работоспособности программы – малое отклонение результата от эталона;

б) эффективности программы – ускорение параллельной версии должно быть не менее указанного преподавателем значения.

Программная реализация выполняется на языках C или C++ с использованием библиотеки MPI

Критерии оценивания (оценочное средство - Проект)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Код и результаты работы представлены преподавателю в срок
не зачтено	Выполнены не все лабораторные работы или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, код работает некорректно, результаты работы не представлены преподавателю).

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	**плохо**	**неудовлетворительно**	**удовлетворительно**	**хорошо**	**очень хорошо**	**отлично**	**превосходно**
	не зачтено		**зачтено**				
Знания	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.
Умения	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки	Отсутствие	При решении	Имеется	Продемонс	Продемонс	Продемонс	Продемонстр

	базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	трированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	трированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	трированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	ирован 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».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена 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-4

1. Цели и задачи введения параллельной обработки данных.

2. Принципы построения параллельных вычислительных систем.

3. Классификация современных параллельных вычислительных систем.

4. Оценка производительности современных параллельных вычислительных систем.

5. Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью.

6. Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость.

7. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды».

8. Анализ модели вычислений в виде графа «операции-операнды»: определение времени выполнения параллельного метода, оценка максимально достижимого распараллеливания.

9. Анализ модели вычислений в виде графа «операции-операнды»: выбор вариантов распределения вычислительной нагрузки, методы оценки масштабируемости параллельных алгоритмов.

10. Агрегация модели вычислений в виде графа «операции-операнды».

11. Принципы организации параллелизма с использованием MPI.

12. Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции.

13. Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка данных.

14. Передача данных средствами MPI. Организация асинхронной схемы вычислений.

15. Типы данных MPI. Виртуальные топологии.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент дал развернутый ответ на все вопросы и при этом продемонстрировал знание дополнительного материала.
отлично	Студент дал развернутый ответ на все вопросы.
очень хорошо	Студент дал ответ на все вопросы, возможно с незначительными недочетами.
хорошо	Студент ответил на большую часть вопросов с незначительными недочетами.
удовлетворительно	Студент ответил на большую часть вопросов с существенными недочетами.
неудовлетворительно	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний материала, отсутствует способность решения стандартных задач.

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

Основная литература:

1. Раубер Т. Параллельное программирование для мультиядерных и кластерных систем : монография / Раубер Т., Рюнгер Г. - Москва : ДМК-пресс, 2024. - 632 с. - ISBN 978-5-93700-261-7. - Текст : электронный., https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=1012163&idb=0.
2. Гримм Р. Параллельное программирование на современном C++ : монография / Гримм Р. - Москва : ДМК-пресс, 2022. - 616 с. - ISBN 978-5-97060-957-6. - Текст : электронный., https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=935204&idb=0.
3. Земляная Е. В. Введение в параллельное программирование на основе технологий MPI и OpenMP : учебное пособие / Земляная Е. В.,Башашин М. В. - Дубна : Государственный университет «Дубна», 2023. - 101 с. - Книга из коллекции Государственный университет «Дубна» - Информатика. - ISBN 978-5-89847-696-0. - Текст : электронный., https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=887262&idb=0.

Дополнительная литература:

1. Юрина Т. А. Параллельное программирование / Юрина Т. А. - Омск : СибАДИ, 2023. - 106 с. - Книга из коллекции СибАДИ - Информатика. - Текст : электронный., https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=897489&idb=0.
2. Уильямс Э. Параллельное программирование на C++ в действии. Практика разработки многопоточных программ : монография / Уильямс Э. - Москва : ДМК-пресс, 2023. - 674 с. - ISBN 978-5-89818-319-6. - Текст : электронный., https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=878880&idb=0.
3. Малявко Александр Антонович. Параллельное программирование на основе технологий openmp, cuda, opencl, mpi : учебное пособие для вузов / А. А. Малявко. - 3-е изд. - Москва : Юрайт, 2024. - 135 с. - (Высшее образование). - URL: https://urait.ru/bcode/538878 (дата обращения: 15.08.2024). - ISBN 978-5-534-14116-0 : 479.00. - Текст : электронный., https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=903524&idb=0.

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

1. Операционные системы семейства Microsoft Windows, лицензия по подписке Microsoft Imagine.
2. Среда разработки семейства Microsoft Visual Studio, лицензия по подписке Microsoft Imagine.
3. Компилятор семейства Intel C++ Compiler из пакета Intel Parallel Studio по бесплатной лицензии для преподавателей вузов.

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 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

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

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.