

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**

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол №13 от 30.11.2022 г.

### **Рабочая программа дисциплины**

Параллельное программирование для  
кластерных систем

*(наименование дисциплины (модуля))*

Уровень высшего образования

Бакалавриат

*(бакалавриат / магистратура / специалитет)*

Направление подготовки / специальность

020302 Фундаментальная информатика и информационные технологии

*(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)*

Направленность образовательной программы

Инженерия программного обеспечения

*(указывается профиль / магистерская программа / специализация)*

Форма обучения

Очная

*(очная / очно-заочная / заочная)*

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.05 «Параллельное программирование для кластерных систем» относится к части ООП направления подготовки 02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии, формируемой участниками образовательных отношений.

## 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**	
ПК-4: Способен проектировать программное обеспечение	ПК-4.1: Знает типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения	<b>ЗНАТЬ</b> методику разработки параллельных программ для систем с распределенной памятью, анализа их эффективности и подходы к ее повышению; методику использования языка программирования C для разработки параллельных программ для систем с распределенной памятью; общие принципы использования вычислительной техники для решения прикладных задач	Собеседование
	ПК-4.4: Умеет использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения	<b>УМЕТЬ</b> применять на практике технологии MPI для разработки параллельных программ;  <b>ВЛАДЕТЬ</b> навыками настройки IDE Microsoft Visual Studio для разработки MPI-программ, конфигурирования системного окружения для запуска MPI-программ, использования библиотеки MPI	Проект

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>34</b>
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	0
- занятия лабораторного типа	16
- текущий контроль (КСР)	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>38</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>	<b>36</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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	Занятия лабораторного типа	Всего	
Семестр 5						
Цели и задачи введения параллельной обработки данных	5	1			1	4
Обзор современных параллельных вычислительных систем. Классификация и оценка производительности	8	2		2	4	4
Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью	8	2		2	4	4
Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды»	8	2		2	4	4
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	8	2		2	4	4
Принципы организации параллелизма с использованием MPI	8	2		2	4	4
Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции	8	2		2	4	4
Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка данных. Организация асинхронной схемы вычислений	10	2		2	4	6
Типы данных MPI. Виртуальные топологии	7	1		2	3	4
Текущий контроль (КСР)	2					
Промежуточная аттестация – экзамен	36					
Итого	108	16		16	32	38

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов по лабораторным работам (проектам).

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (экзамен).

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

#### *Виды самостоятельной работы студентов*

Самостоятельная работа студентов подразделяется на следующие категории:

- Изучение учебной литературы (см. перечень образовательных материалов).

- Выполнение лабораторных работ на следующие темы: настройка среды разработки и проекта в Microsoft Visual Studio для сборки MPI-программ, конфигурирование системного окружения для запуска MPI-программ, вычисление скалярного произведения векторов, вычисление числа Пи, параллельная сортировка, решение задач матрично-векторного и матричного умножения.

#### **Образовательные материалы для самостоятельной работы студентов**

- 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>
- 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.
- Немнюгин С. Курс «Основы параллельного программирования с использованием MPI». <http://www.intuit.ru/studies/courses/1090/294/info>
- Бахтин В. Курс «Параллельное программирование с OpenMP». <http://www.intuit.ru/studies/courses/1111/295/info>

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

**5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

#### **5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<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 негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений.	При решении стандартных задач не	Продemonстрированы основные	Продemonстрированы все основные	Продemonстрированы все основные	Продemonстрированы все основные	Продemonстрированы все основные

	Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Контрольные вопросы

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

### 5.2.2. Типовые темы проектов для оценки сформированности компетенции ПК-4

Студентам предлагаются следующие темы проектов (лабораторных работ) для оценивания результатов обучения:

- 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

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

- 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>
- Корняков К. В., Кустикова В. Д., Мееров И. Б., Сиднев А. А., Сысоев А. В., Шишков А. В. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010 (47 экз.)

б) дополнительная литература:

- Немнюгин С. Курс «Основы параллельного программирования с использованием MPI». <http://www.intuit.ru/studies/courses/1090/294/info>
- Бахтин В. Курс «Параллельное программирование с OpenMP». <http://www.intuit.ru/studies/courses/1111/295/info>
- 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. (20 экз.)

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

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

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор (ы) \_\_\_\_\_ А.В. Сысоев

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Р.Г. Стронгин

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики 30.11.2022 года, протокол № 3