

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Параллельное и распределенное программирование

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Нелинейные колебания и волны

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина ФТД.01 Параллельное и распределенное программирование является факультативом в образовательной программе.

## 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
УК-2: Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1: Понимает структуру жизненного цикла проекта УК-2.2: Организует жизненный цикл проекта в соответствии с его спецификой	УК-2.1: Знает основные методологические принципы и методы исследовательской деятельности при создании проекта, взаимосвязи методов научного исследования различных видов человеческого знания; понятия и структуры научной школы, научного сообщества, научной сферы общества; структуры и специфики научной деятельности; основы составления научных текстов и критерии научной информации.  УК-2.2: Умеет выявлять проблему, на решение которой будет направлен проект, выбирать метод исследования, обрабатывать полученные результаты и готовить отчет как завершающую стадию проекта. Владеет навыками проектирования исследовательской деятельности	Опрос	Зачёт: Задания
ОПК-3: Способен применять современные информационные	ОПК-3.1: Использует компьютерные программы и системы, компьютерное оборудование, а также	ОПК-3.1: Имеет опыт применения и навыки установки и инсталляции программных	Опрос	Зачёт: Задания

<p>технологии, использовать компьютерные сети и программные продукты для решения задач профессиональной деятельности.</p>	<p>новейшие отечественные и зарубежные информационные технологии, программные и сетевые продукты для решения задач в области физики и радиофизики ОПК-3.2: Применяет языки программирования и библиотеки программ для решения задач профессиональной деятельности в области физики и радиофизики</p>	<p>комплексов Имеет опыт использования средств информационных технологий, позволяющих самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности, новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение.</p> <p>ОПК-3.2: Знает и понимает фундаментальные концепции, углубленные теоретические и практические понятия и методы в области информационных технологий и прикладной математики, методiku установки и администрирования информационных систем и баз данных. Применяет языки программирования и библиотеки программ для решения задач профессиональной деятельности в области физики и радиофизики</p>		
---	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>1</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>36</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
- КСР	<b>1</b>
самостоятельная работа	<b>3</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b>
	<b>Зачёт</b>

### 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	
Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	
1. Основные направления развития высокопроизводительных компьютеров	3	0	2	2	1
2. Парадигмы, модели и технологии параллельного программирования	21	0	20	20	1
3. Основные понятия параллелизма алгоритмов	11	0	10	10	1
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	36	0	32	33	3

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Пути достижения параллелизма. Векторная и конвейерная обработка данных. Многопроцессорная и многомашинная, параллельная обработка данных. Закон Мура, сдерживающие факторы наращивания количества транзисторов на кристалле и частоты процессоров.

Оценки производительности вычислительных систем. Стандартные методики измерения производительности MIPS, MFLOPS и т.д. Производительность кластера – латентность, пропускная способность. Общеизвестные методики измерения производительности многопроцессорных вычислительных систем. TOP500 – мировой рейтинг суперкомпьютеров. TOP50 – Российский рейтинг суперкомпьютеров.

Классификация многопроцессорных вычислительных систем. Системы с распределенной, общей памятью, примеры систем. Массивно-параллельные системы (MPP). Симметричные мультипроцессорные системы (SMP). Параллельные векторные системы (PVP). Системы с неоднородным доступом к памяти (Numa), примеры систем. Компьютерные кластеры – специализированные и полнофункциональные. История возникновения компьютерных кластеров – проект Weowulf. Мета-компьютинг – примеры действующих проектов. Классификация Флинна, Шора и т.д. Организация межпроцессорных связей – коммуникационные топологии. Примеры сетевых решений для создания кластерных систем.

2. Функциональный параллелизм, параллелизм по данным. Парадигма master-slave. Парадигма SPMD. Парадигма конвейеризации. Парадигма “разделяй и властвуй”. Спекулятивный параллелизм. Важность выбора технологии для реализации алгоритма. Модель обмена сообщениями – MPI. Модель общей памяти – OPENMP. Концепция виртуальной, разделяемой памяти – Linda. Российские разработки – T-система, система DVM. Проблемы создания средства автоматического распараллеливания программ. Параллельное программирование с использованием интерфейса передачи сообщений MPI. Библиотека

MPI. Модель SIMD. Инициализация и завершение MPI-приложения. Точечные обмены данными между процессами MPI-программы. Режимы буферизации. Проблема deadlock'ов. Коллективные взаимодействия процессов в MPI. Управление группами и коммутаторами в MPI. Параллельное программирование на системах с общей памятью (OpenMP). Введение в OpenMP. Стандарты программирования для систем с разделяемой памятью. Создание многопоточных приложений. Использование многопоточности при программировании для многоядерных платформ. Синхронизация данных между ветвями в параллельной программе. Директивы языка OpenMP. Параллельное программирование на системах смешанного типа. Гибридные модели программирования SMP-систем. Передача данных между узлами кластера функциями MPI, обмен данными внутри узла между ядрами процессора через потоки OpenMP. Правила запуска параллельных приложений, написанных с использованием OpenMP+MPI. Отладка, трассировка и профилирование параллельных программ. Классификация ошибок параллельных программ. Особенности отладки параллельных приложений. Трассировка. Отладка с помощью последовательных и параллельных отладчиков.

3. Степень параллелизма численного алгоритма. Средняя степень параллелизма численного алгоритма. Зернистость алгоритма. Ускорение и эффективность. Закон Амдала. Алгоритм исследования свойств параллельного алгоритма. Определение параллелизма. Выражение параллелизма. Алгоритмы матричной алгебры и их распараллеливание. Параллельный алгоритм умножения матрицы на вектор и его ускорение по сравнению с последовательным алгоритмом. Параллельный алгоритм умножения матрицы на матрицу и его ускорение по сравнению с последовательным алгоритмом. Параллельный алгоритм решения СЛАУ прямым методом Гаусса и его ускорение по сравнению с последовательным алгоритмом. Параллельный алгоритм решения СЛАУ итерационными методами Якоби, Гаусса - Зейделя и их ускорение по сравнению с последовательным алгоритмом.

#### **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.

Воеводин В.В. Параллельные вычисления / Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. СПб: БХВ-Петербург, 2002. 608с.

Немнюгин С.А., Стесик О.Л. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. - 400с.

Хьюз К. Параллельное и распределенное программирование с использованием C++. Вильямс, 2004. 672 с.

Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии MPI. Изд. МГУ, 2004. 71 с.

Эндрюс Г.Р. Основы многопоточного, параллельного программирования. Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. 512с.

Жуков С.Н., Жукова И.С. Практические аспекты параллельного программирования для персональных компьютеров. Н.Новгород: Издательство ННГУ. 2023. 36 с.

#### **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 - Опрос) для оценки сформированности компетенции УК-2:**

Опрос по теме предыдущего занятия

**5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Опрос) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:**

Выполнение домашнего задания

**Критерии оценивания (оценочное средство - Опрос)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Знание основного материала курса без грубых ошибок и погрешностей.
не зачтено	Отсутствие знания материала курса или наличие грубых ошибок в изложении основного материала курса.

**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			
<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	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи.

	отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки	негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	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
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	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 - Задания) для оценки сформированности компетенции УК-2**

Выполнить задание. Реализовать алгоритм преобразования Фурье для непериодического сигнала, построить амплитудный и фазовый спектры сигнала и найти зависимость коэффициента ускорения вычислений от числа потоков и технологии программирования.

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

Создать алгоритмы и программные коды для решения задания. При выполнении задания необходимо использовать технологии OpenMP и MPI . После выполнения задания представить и защитить отчет по выполненной работе.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Знание основного материала курса без грубых ошибок и погрешностей.
не зачтено	Отсутствие знания материала курса или наличие грубых ошибок в изложении основного материала курса.

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

Основная литература:

1. Жуков Сергей Николаевич. Практические аспекты параллельного программирования для персональных компьютеров : учебно-методическое пособие / С. Н. Жуков, И. С. Жукова ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2023. - 36 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=877261&idb=0>.
2. 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.
3. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 2. Технология OpenMP. Технология Clik Plus. Библиотека Intel ArBB. Библиотека TVB. 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.
4. 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.
5. 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.

Дополнительная литература:

1. Мультипроцессорные системы и параллельные вычисления / под ред. Ф. Г. Энслоу ; пер. с англ. Ю. С. Голубева-Новожилова, А. Л. Щерса. - М. : Мир, 1976. - 383 с. : ил. - 1.97., 2 экз.

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

<https://visualstudio.microsoft.com/>

<http://anaconda.com/>

<https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>

## **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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Жуков Сергей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.