

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

Физическая электроника

---

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: Знать основные этапы исследования и реализации проекта, основные возможности компьютеров для решения научных задач в области физики и радиофизики, а также новейший отечественный и зарубежный опыт в области параллельного программирования. Уметь анализировать структуру проекта.  УК-2.2: Знать: основные возможности компьютеров для решения научных задач в области физики и радиофизики, а также новейший отечественный и зарубежный опыт в области параллельного программирования Уметь: использовать компьютерные программы и системы, а также компьютерное оборудование для параллельных вычислений в области физики и радиофизики Владеть: языками программирования и библиотеками программ для решения задач параллельного	Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы Задачи

		программирования в области физики и радиофизики		
ОПК-3: Способен применять современные информационные технологии, использовать компьютерные сети и программные продукты для решения задач профессиональной деятельности.	ОПК-3.1: Использует компьютерные программы и системы, компьютерное оборудование, а также 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	ОПК-3.1: Знать и понимать фундаментальные концепции, углубленные теоретические и практические понятия и методы в области параллельных вычислений в физике и радиофизике. Уметь применять современный математический аппарат, использовать углубленные теоретические и практические понятия из области параллельных вычислений.  ОПК-3.2: Знать: современные языки программирования и библиотеки программ в выбранной сфере деятельности Уметь: подбирать оптимальные программные компоненты для решения конкретной научно-исследовательской задачи Владеть: опытом алгоритмизации и программирования при параллельных вычислениях в области физики и радиофизики. Владеть: навыком алгоритмизации и программирования при параллельных вычислениях в области физики и радиофизики	Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<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>
<b>самостоятельная работа</b>	<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	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Основные направления развития высокопроизводительных компьютеров	3	0	2	2	1
Парадигмы, модели и технологии параллельного программирования	21	0	20	20	1
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. Основные направления развития высокопроизводительных компьютеров
2. Парадигмы, модели и технологии параллельного программирования
3. Основные понятия параллелизма алгоритмов

#### 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.

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор материала семинарских занятий,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы,
- составление алгоритмов и программирование на компьютере при решении задач

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

3-1. Реализовать алгоритм метода простой итерации решения систем линейных алгебраических уравнений и построить зависимость коэффициента ускорения от числа ядер (потокa) на узле.

3-2. Реализовать алгоритм метода сопряженных градиентов решения систем линейных алгебраических уравнений и построить зависимость коэффициента ускорения от числа ядер (потокa) на узле.

3-3. Реализовать алгоритм метода Гаусса решения систем линейных алгебраических уравнений и построить зависимость коэффициента ускорения от числа ядер (потокa) на узле.

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

3-1. Дана двумерная матрица размерности  $(n,m)$ , где  $n > 100$ ,  $m > 50$ . Найти сумму диагональных элементов, сумму всех элементов матрицы, транспонировать матрицу и построить зависимость коэффициента ускорения от числа ядер (потокa) на узле.

3-2. Дан двумерный массив размерности  $(n,m)$ , где  $n > 100$ ,  $m > 50$ . Отсортировать данный массив методом сортировки Шелла и построить зависимость коэффициента ускорения от числа ядер (потокa) на узле.

3-3. Дан двумерный массив размерности  $(n,m)$ , где  $n > 100$ ,  $m > 50$ . Отсортировать данный массив методом пузырьковой сортировки и построить зависимость коэффициента ускорения от числа ядер (потокa) на узле.

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно» или «плохо»

### **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 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 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

	<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»
<b>не зачтено</b>	<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 - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции УК-2

Многопроцессорная и многомашинная, параллельная обработка

данных

Векторная и конвейерная обработка данных.

Оценки производительности вычислительных систем

Производительность кластера – латентность, пропускная способность

Классификация многопроцессорных вычислительных систем

Системы с распределенной, общей памятью, примеры систем

Массивно-параллельные системы (MPP)

Симметричные мультимикропроцессорные системы (SMP)

Параллельные векторные системы (PVP)

Системы с неоднородным доступом к памяти (Numa), примеры систем

Компьютерные кластеры

Организация межпроцессорных связей – коммуникационные

топологии

Парадигмы параллельного программирования

Модели параллельного программирования

Параллельное программирование с использованием интерфейса

передачи сообщений MPI. Библиотека MPI

Инициализация и завершение MPI-приложения. Обмены данными

между процессами MPI-программы

Коллективные взаимодействия процессов в MPI. Управление

группами и коммутаторами в MPI

Стандарты программирования для систем с разделяемой памятью.

Создание многопоточных приложений

Синхронизация данных между ветвями в параллельной программе.

Директивы языка OpenMP

Гибридные модели программирования SMP-систем. Передача

данных между узлами кластера функциями MPI, обмен данными внутри узла между ядрами процессора через потоки OpenMP

Классификация ошибок параллельных программ. Особенности

отладки параллельных приложений

Степень параллелизма численного алгоритма. Закон Амдала

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-3**

Многопроцессорная и многомашинная, параллельная обработка данных

Векторная и конвейерная обработка данных.

Оценки производительности вычислительных систем.

Производительность кластера – латентность, пропускная способность

Классификация многопроцессорных вычислительных систем.

Системы с распределенной, общей памятью, примеры систем.

Массивно-параллельные системы (MPP).



Симметричные мультимикросистемные системы (SMP).

Параллельные векторные системы (PVP).

Системы с неоднородным доступом к памяти (Numa), примеры систем.

Компьютерные кластеры.

Организация межмикросистемных связей – коммуникационные топологии.

Парадигмы параллельного программирования.

Модели параллельного программирования.

Параллельное программирование с использованием интерфейса передачи сообщений MPI. Библиотека MPI.

Инициализация и завершение MPI-приложения. Обмены данными между процессами MPI-программы.

Коллективные взаимодействия процессов в MPI. Управление группами и коммутаторами в MPI.

Стандарты программирования для систем с разделяемой памятью.

Создание многопоточных приложений.

Синхронизация данных между ветвями в параллельной программе.

Директивы языка OpenMP.

Гибридные модели программирования SMP-систем. Передача данных между узлами кластера функциями MPI, обмен данными внутри узла между ядрами микросистемы через потоки OpenMP.

Классификация ошибок параллельных программ. Особенности отладки параллельных приложений.

Степень параллелизма численного алгоритма. Закон Амдала.

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно» или «плохо»

### **5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции УК-2**

3-1. Реализовать алгоритм метода простой итерации решения систем линейных алгебраических уравнений и построить зависимость коэффициента ускорения от числа ядер (потоков) на узле.

3-2. Реализовать алгоритм метода сопряженных градиентов решения систем линейных алгебраических уравнений и построить зависимость коэффициента ускорения от числа ядер (потоков) на узле.

3-3. Реализовать алгоритм метода Гаусса решения систем линейных алгебраических уравнений и построить зависимость коэффициента ускорения от числа ядер (потоков) на узле.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно» или «плохо»

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

Основная литература:

1. Параллельное программирование с использованием технологии MPI / Антонов А.С. - Москва : ИНТУИТ, 2016., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=663389&idb=0>.
2. Эндрюс Грегори Р. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования = Foundations of Multithreaded, Parallel, and Distributed Programming / [пер. с англ. А. С. Подсельника и др. ; под ред. А. Б. Ставровского]. - М. : Вильямс, 2003. - 512 с. : ил. - ISBN 5-8459-0388-2. - ISBN 0-2013-5752-6 : 214.90., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Бахвалов Николай Сергеевич. Численные методы : учеб. пособие для студентов физ.-мат. специальностей вузов / МГУ им. М. В. Ломоносова. - 6-е изд. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2008. - 636 с. : ил. - (Классический университетский учебник / ред. совет: В. А. Садовничий (пред.) [и др.]). - На тит. л.: 250 лет МГУ имени М. В. Ломоносова. - ISBN 978-5-94774-815-4 : 244.00., 2 экз.
2. Валях Е. Последовательно-параллельные вычисления / пер. с англ. И. А. Николаева, А. М. Степанова. - М. : Мир, 1985. - 456 с. - 2.30., 2 экз.

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

1. Microsoft Visual Studio
2. Microsoft MPI
3. <http://cyberleninka.ru>
4. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library>
5. [www.parallel.ru](http://www.parallel.ru)
6. [www-unix.mcs.anl.gov/mpi/tutorial](http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/tutorial)
7. <http://www.informika.ru/text/teach/topolog/index.htm>

### 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: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

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