

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  
президиумом  
Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

## **Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Параллельное и распределенное программирование**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**магистратура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**03.04.03 Радиофизика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Магистерская программа "Нелинейные колебания и волны"**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

**магистр**

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород  
2023 год

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Данная дисциплина относится к факультативным дисциплинам (ФТД) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по направлению подготовки 03.04.03 «Радиофизика» (уровень магистратура) на радиофизическом факультете ННГУ, изучается во 2-м семестре.

Целью дисциплины «Параллельное и распределенное программирование» является освоение базовых знаний по вопросам организации параллельных вычислительных систем, а также основных технологий организации параллельных вычислений на многопроцессорных вычислительных комплексах с распределенной или общей оперативной памятью.

Объектами изучения в данной дисциплине являются: основные принципы организации параллельной обработки данных; модели, методы и технологии параллельного программирования; средства и методы отладки параллельных приложений; библиотеки, надстройки к компиляторам для создания параллельных приложений.

Задачи изучения дисциплины:

- ознакомление с основными направлениями в области организации параллельных вычислений на многопроцессорных вычислительных системах;
- изучение технологий параллельного программирования;
- приобретение навыков параллельного программирования с использованием интерфейса передачи сообщений;
- изучение технологий параллельного программирования на системах с общей оперативной памятью;
- приобретение навыков распараллеливания алгоритмов;
- подготовка студентов к изучению других дисциплин по информационным технологиям.

**Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-3 Способность использовать и применять углубленные знания в области фундаментальной информатики и информационных технологий	З1 (ОПК-3) Знать основные методологические принципы и методы исследовательской деятельности, 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. У1 (ОПК-3) Уметь выявлять проблему, на решение которой будет направлено предстоящее исследование, выбирать метод исследования, обрабатывать полученные результаты и готовить отчет как завершающую стадию исследовательской деятельности. Владение навыками проектирования исследовательской деятельности В1 (ОПК-3) Получить 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.
ПК-2 Способность использовать углубленные теоретические и практические знания в области информационных технологий и прикладной математики, фундаментальных концепций и системных методологий, международных и профессиональных стандартов в области информационных технологий	<p>З1 (ПК-2) Знать и понимать фундаментальные концепции, углубленные теоретические и практические понятия и методы в области информационных технологий и прикладной математики</p> <p>У1 (ПК-2) Уметь применять современный математический аппарат, использовать углубленные теоретические и практические понятия из области информационных технологий и прикладной математики</p> <p>В1 (ПК-2) Получить опыт применения и совершенствования современной методологии и фундаментальных концепций в области информационных технологий и прикладной математики</p>

## 2. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, в том числе 1 час - мероприятия текущего контроля успеваемости, 1 час – мероприятия промежуточной аттестации), 75 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Основные направления развития высокопроизводительных компьютеров	10		2		2	8
2. Парадигмы, модели и технологии параллельного программирования	60		20		20	40
3. Основные понятия параллелизма алгоритмов	37		10		10	27
В т.ч. текущий контроль	1		1		1	
Промежуточная аттестация – зачет						

## 3. Образовательные технологии

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогичная форма проведения занятий. Семинарские занятия предусматривают использование проекционной аппаратуры для презентации таблиц, схем, рисунков и фотографий, а также работу в компьютерном классе.

## 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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

Текущий контроль усвоения материала проводится путем проведения опроса.

Примеры контрольных заданий:

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 (поток) 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 (поток) на узле.

В-1. Векторная и конвейерная обработка данных.

В-2. Многопроцессорная и многомашинная, параллельная обработка данных.

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

5.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ОПК-3 Способность использовать и применять углубленные знания в области фундаментальной информатики и информационных технологий

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	Не зачтено		Зачтено				
Знать основные методологические принципы и методы исследовательской деятельности, 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.	Отсутствие необходимых знаний	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
Уметь выявлять проблему, на решение которой будет направлено предстоящее исследование, выбирать метод	Полное отсутствие требуемых умений	Грубые ошибки при попытках применить уме-	Негрубые ошибки при попытках применить уме-	Заметные погрешности при попытках применить уме-	Незначительные погрешности при попытках приме-	Применение умений без погрешностей	Применение умений без погрешностей и их разви-

исследования, обрабатывать полученные результаты и готовить отчет как завершающую стадию исследовательской деятельности. Владение навыками проектирования исследовательской деятельности		ния	ния	ния	нить умения		тие за рамки программы курса
Получить 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.	Полное отсутствие необходимых навыков	Фрагментарное владение навыками	Наличие минимальных навыков	Владение навыками с заметными погрешностями	Владение навыками с незначительными погрешностями	Владение навыками без погрешностей	Владение навыками без погрешностей, а также развитие навыков за рамками программы курса
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20%	21 – 50%	51 – 70%	71-80%	81 – 90%	91 – 99%	100%

ПК-2 Способность использовать углубленные теоретические и практические знания в области информационных технологий и прикладной математики, фундаментальных концепций и системных методологий, международных и профессиональных стандартов в области информационных технологий.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	Не зачтено		Зачтено				
Знать и понимать фундаментальные концепции, углубленные теоретические и практические понятия и методы в области информационных технологий и прикладной математики	Отсутствие необходимых знаний	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом грубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
Уметь применять современный математический аппарат, использовать	Полное отсутствие требуемых умений	Грубые ошибки при попытках применить	Негрубые ошибки при попытках применить умения	Заметные погрешности при попытках применить умения	Незначительные погрешности при попытках	Применение умений без погрешностей	Применение умений без погрешностей и их развитие

углубленные теоретические и практические понятия из области информационных технологий и прикладной математики.		умения			применить умения		за рамки программы курса
Получить опыт применения и совершенствования современной методологии и фундаментальных концепций в области информационных технологий и прикладной математики	Полное отсутствие необходимых навыков	Фрагментарное владение навыками	Наличие минимальных навыков	Владение навыками с заметными погрешностями	Владение навыками с незначительными погрешностями	Владение навыками без погрешностей	Владение навыками без погрешностей, а также развитие навыков за рамками программы курса
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20%	21 – 50%	51 – 70%	71-80%	81 – 90%	91 – 99%	100%

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способность студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой), решении задачи по параллельному программированию (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ.

Оценка «не зачтено» ставится при отсутствии необходимых знаний, умений и навыков либо при наличии грубых ошибок при ответе на вопросы, демонстрации умений и навыков. Оценка «зачтено» ставится в остальных случаях.

## 5.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используется индивидуальное собеседование (ОПК-3, ПК-2).

Для оценивания результатов обучения в виде умений используются: индивидуальное собеседование и практические задания (ОПК-3, ПК-2).

Для оценивания результатов обучения в виде владений используются: индивидуальное собеседование и практические задания (ОПК-3, ПК-2).

5.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Контрольные вопросы для аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Векторная и конвейерная обработка данных.
2. Многопроцессорная и многомашинная, параллельная обработка данных.
3. Оценки производительности вычислительных систем.
4. Производительность кластера – латентность, пропускная способность.
5. Классификация многопроцессорных вычислительных систем.
6. Системы с распределенной, общей памятью, примеры систем.
7. Массивно-параллельные системы (MPP).
8. Симметричные мультипроцессорные системы (SMP).
9. Параллельные векторные системы (PVP).
10. Системы с неоднородным доступом к памяти (Numa), примеры систем.
11. Компьютерные кластеры
12. Организация межпроцессорных связей – коммуникационные топологии.
13. Парадигмы параллельного программирования.
14. Модели параллельного программирования.
15. Параллельное программирование с использованием интерфейса передачи сообщений MPI. Библиотека MPI.
16. Инициализация и завершение MPI-приложения. Обмены данными между процессами MPI-программы.
17. Коллективные взаимодействия процессов в MPI. Управление группами и коммутаторами в MPI.
18. Стандарты программирования для систем с разделяемой памятью. Создание многопоточных приложений.
19. Синхронизация данных между ветвями в параллельной программе. Директивы языка OpenMP.
20. Гибридные модели программирования SMP-систем. Передача данных между узлами кластера функциями MPI, обмен данными внутри узла между ядрами процессора через потоки OpenMP.
21. Классификация ошибок параллельных программ. Особенности отладки параллельных приложений.
22. Степень параллелизма численного алгоритма. Закон Амдала.

Для оценки сформированности компетенций используются контрольные задания, примеры которых приведены в пункте 5.

**Полный комплект оценочных средств представлен в ФОНДЕ оценочных средств по дисциплине «Параллельное и распределенное программирование»**

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

а) основная литература:

1. Воеводин В.В. Параллельные вычисления / Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. СПб: БХВ-Петербург, 2002. 608с.
2. Немнюгин С.А., Стесик О.Л. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. - 400с.
3. Хьюз К. Параллельное и распределенное программирование с использованием C++. Вильямс, 2004. 672 с.
4. Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии MPI. Изд. МГУ, 2004. 71 с.
5. Ортега Дж. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 367с.

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

б) дополнительная литература:

1. Бахвалов Н.С. Численные методы. М.: Наука, 1975.
2. Березин И.С. Методы вычислений / Березин И.С., Жидков Н.П. М.: Физматгиз, 1966. Т.1.
3. Валях Е. Последовательно-параллельные вычисления / Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 456с.
4. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1999. - 548 с.
5. Корнеев В.В. Параллельные вычислительные системы. М: "Нолидж", 1999. 320 с.
6. Старченко А.В. Параллельные вычисления на многопроцессорных вычислительных системах / Старченко А.В., Есаулов А.О. Томск: ТГУ, 2002. 56 с.
7. Таненбаум Э. Архитектура компьютера // СПб, Изд-во «Питер», 2002 г
8. Шнитман В. Современные высокопроизводительные компьютеры. 1996.  
<http://www.citforum.ru/hardware/svk/contents.shtml>
9. Форсайт Дж. Машинные методы математических вычислений / Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. М.: Мир, 1980.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Microsoft Visual Studio

Microsoft MPI

<http://cyberleninka.ru>

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library>

[www.parallel.ru](http://www.parallel.ru)

[www-unix.mcs.anl.gov/mpi/tutorial](http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/tutorial)

<http://www.informika.ru/text/teach/topolog/index.htm>

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

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии.



Автор\_\_\_\_\_Жуков С.Н.

Рецензент\_\_\_\_\_Демин И.Ю.

Заведующий кафедрой\_\_\_\_\_Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета  
от 14.11.22, протокол № 08/22.