

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
**Институт автоматики и процессов управления**  
Дальневосточного отделения Российской академии наук  
(ИАПУ ДВО РАН)


**«СОГЛАСОВАНО»**

Зам. директора по научно-образовательной деятельности,  
ученый секретарь, к.т.н.

 С.Б. Змеу  
« 29 » декабря 2021 г.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор ИАПУ ДВО РАН,  
член-корреспондент РАН

 Р.В. Ромашко  
декабря 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)**

**Параллельное программирование**

**Группа научных специальностей 2.3 – «Информационные технологии и телекоммуникации»**

**научная специальность 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»**

**Форма подготовки (очная)**

**Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК)  
ИАПУ ДВО РАН**

курс 2 семестр 4  
лекции – 18 час. / 0,5 з.е.  
практические занятия – 18 час. / 0,5 з.е.  
лабораторные работы – не предусмотрены  
всего часов аудиторной нагрузки 36 (час.) / 1 з.е.  
самостоятельная работа 20 (час.) / 0,56 з.е.  
контрольные работы - нет  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены.  
Зачет 4 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации и срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий обучающихся, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 года № 951.

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК ИАПУ ДВО РАН, протокол № 3 от «17» ноября 2021 г.

Заведующий кафедрой: д-р физ.- мат. наук, профессор Н.Г. Галкин

Составитель: к.ф.-м.н., н.с. лаб. интеллектуальных систем ИАПУ ДВО РАН А.С. Величко

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Параллельное программирование» предназначена для аспирантов, обучающихся по основной образовательной программе «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей» и входит в число дисциплин по выбору вариативной части учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по группе научных специальностей 2.3. «Информационные технологии и телекоммуникации» и научной специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей», и учебный план подготовки аспирантов по научной специальности «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

**Цель** – способность и готовность разрабатывать программное обеспечение для многопроцессорной вычислительной техники, осуществлять высокопроизводительные вычисления.

### **Задачи:**

1. Освоить научные задачи в области современной суперкомпьютерной техники, вычислительных машин, комплексов, систем и сетей, математическое, информационное, программное обеспечение средств вычислительной техники в области информационных, вычислительных, проектирующих и управляющих систем; технологии разработки технических средств вычислительной техники и программных продуктов.

2. Уметь использовать полученные знания и умения в сфере науки, техники, технологии и педагогики, включая развитие теории, создание,

внедрение и эксплуатация перспективных компьютерных систем, сетей и комплексов, математического и программного обеспечения в научно-производственной и социально-экономической сфере.

### **Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины**

Профессиональные компетенции:

- способность разрабатывать новые математические модели объектов и явлений, развивать аналитические и численные методы их исследования (ПК-2);

- способность применять высокопроизводительные вычисления на современной многопроцессорной и суперкомпьютерной технике для решения практических задач (ПК-5).

### **Требования к уровню усвоения содержания дисциплины**

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

#### Знать:

- основные архитектуры многопроцессорных вычислительных систем и средства поддержки параллельных вычислений в прикладных и научных областях, методы анализа математических моделей.

#### Уметь:

- создавать параллельные программы и разрабатывать программные проекты для распределенных систем.

#### Владеть:

- методами и средствами параллельного программирования, разработки высокопараллельных вычислительных сред и технологий их программирования, программных приложений, ориентированных на реализацию распределенной обработки данных в сетях общего пользования.

# **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

## **Раздел 1. Многопроцессорные вычислительные системы (МВС) и основы параллельной обработки данных (2 час.)**

Классификация ЭВМ Флинна, МВС с общей (разделяемой) и распределенной (индивидуальной) памятью, сетевые топологии. Эффективность параллельных программ и законы Амдала. Модели параллельного программирования и обзор программных средств разработки.

## **Раздел 2. Основы параллельного программирования с использованием OpenMP (2 час.)**

Принципиальная схема программирования. Основные правила применения директив OpenMP для описания данных и организации параллельных вычислений. Видимость данных и корректность доступа к данным. Методы распараллеливания циклов и контроля распределения работы между процессорами. Способы балансировки работы процессоров. Загрузка, синхронизация и балансировка параллельных потоков в OpenMP. Переменные окружения. Организация передачи данных. Блокировки в OpenMP. Отладка программ в OpenMP. Настройка и ускорение программ в OpenMP. Средства автоматизированного распараллеливания программ.

## **Раздел 3. Основы параллельного программирования GPU с использованием CUDA (4 час.)**

Гибридная модель вычислений. Архитектура графического процессора (GPU). Программная модель CUDA. Понятие потока, блока, сети блоков. Функция как параллельный код на GPU. Иерархия памяти на GPU. Регистры и локальная память. Глобальная память. Шаблон работы с глобальной памятью. CUDA-потоки. Объединение запросов. Массивы с выравниванием. Разделяемая память. Шаблон работы с разделяемой памятью. Оптимизация работы с разделяемой памятью. Статические переменные. Константная память ПО. Тектурная память.

#### **Раздел 4. Основы параллельного программирования с использованием операций библиотеки функций MPI (2 час.)**

Основы работы в ОС Linux. Программирование операций межточечных взаимодействий в MPI. Коллективные операции в MPI. Распределенные операции в MPI.

#### **Раздел 5. Алгоритмы и разработка параллельных программ (8 час.)**

Алгоритмы и разработка параллельных программ суммирования и численного интегрирования. Алгоритмы и разработка параллельных программ для векторно-матричных операций. Алгоритмы и разработка параллельных программ численного решения дифференциальных уравнений. Алгоритмы и разработка параллельных программ для численных методов решения задач безусловной оптимизации.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия (36 час.)**

#### **Занятие 1. Способы оценки и измерения эффективности параллельных программ (4 час.).**

Количественные методы и подходы к формальной оценке эффективности параллельных программ (общий обзор). Методы оценки эффективности в абсолютных шкалах. Методы оценки эффективности в относительных шкалах. Сопоставительные и сравнительные оценки эффективности. Особенности и параметры функции определения числа процессов в области связи. Особенности и параметры функции определения номера процесса. Особенности и параметры функции отсчета времени.

#### **Занятие 2. Основы работы в ОС Linux (4 час.).**

Особенности операционной системы. Связи с ОС Unix. Ядро системы.

Основные команды и параметры системы. Запуск и контроль исполняемых задач и процессов.

### **Занятие 3. Практические аспекты программирования операций межточечных взаимодействий в MPI (4 час.).**

1. Практические особенности работы функции инициализации MPI\_Init.

2. Практические особенности работы функции завершения MPI\_Finalize.

3. Практические особенности работы функции определения числа процессов в области связи MPI\_Comm\_size

4. Практические особенности работы функции передачи сообщения MPI\_Send.

5. Практические особенности работы функции приема сообщения MPI\_Recv.

### **Занятие 4. Практические аспекты программирования коллективных операций в MPI (4 час.).**

1. Практические особенности работы функции рассылки информации (MPI\_Bcast).

2. Практические особенности работы функции сборки распределенного по процессам массива (MPI\_Gather, MPI\_Gatherv).

3. Практические особенности работы функции сборки распределенного массива с его рассылкой (MPI\_Allgather, MPI\_Allgatherv).

4. Практические особенности работы функции разбиения массива и рассылки его фрагментов (MPI\_Scatter, MPI\_Scatterv).

5. Практические особенности работы прочих функций коллективных операций (MPI\_Alltoall, MPI\_Alltoallv).

**Занятие 5. Практические аспекты программирования распределенных операций в MPI (2 час.).**

1. Практические особенности работы функции редукции с сохранением результата в адресном пространстве одного процесса (MPI\_Reduce).

2. Практические особенности работы функции редукции с сохранением результата в адресном пространстве всех процессов (MPI\_Allreduce).

**Занятие 6. Алгоритмы и разработка параллельных программ суммирования и численного интегрирования (4 час.).**

**Занятие 7. Алгоритмы и разработка параллельных программ для векторно-матричных операций (4 час.).**

**Занятие 8. Алгоритмы и разработка параллельных программ для численных методов решения дифференциальных уравнений (5 час.).**

**Занятие 9. Алгоритмы и разработка параллельных программ для численных методов решения задач безусловной оптимизации (5 час.).**

**III. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА  
ВОПРОСЫ К ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМУ ЗАЧЕТУ**

1. МВС с общей (разделяемой) памятью.
2. МВС с распределенной (индивидуальной) памятью.
3. Сетевые топологии.
4. Эффективность параллельных программ.
5. Законы Амдала.
6. Модели и средства программирования систем с общей памятью.
7. Модели и средства программирования систем с распределенной памятью.



8. Основы работы с инструментальными средствами операционной системы Linux.
9. Операции межпроцессорного обмена в библиотеке MPI.
10. Коллективные операции в библиотеке MPI.
11. Распределенные операции в библиотеке MPI.
12. Алгоритмы и разработка параллельных программ суммирования и численного интегрирования.
13. Алгоритмы и разработка параллельных программ для векторно-матричных операций.
14. Алгоритмы и разработка параллельных программ численного решения дифференциальных уравнений.
15. Алгоритмы и разработка параллельных программ для численных методов решения задач безусловной оптимизации.

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Федотов И.Е. Модели параллельного программирования [Электронный ресурс]/ Федотов И.Е. - Электрон. текстовые данные. - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2012. - 384 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20877>.

2. Богачев К.Ю. Основы параллельного программирования [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Богачев К.Ю. - Электрон. текстовые данные. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 342 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20702>.

3. Алексеев А.А. Основы параллельного программирования с использованием Visual Studio 2010 [Электронный ресурс]/ Алексеев А.А. - Электрон. текстовые данные. - М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2013. - 138 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16714>.

## Дополнительная литература

1. Антонов А.С. Введение в параллельные вычисления. Методическое пособие. - М.: Изд-во МГУ, 2002. - 70 с. URL: <http://window.edu.ru/resource/980/23980>.
2. Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии MPI. Учебное пособие. - М.: Изд-во МГУ, 2004. - 71 с. URL: <http://window.edu.ru/resource/979/23979>.
3. Гергель В.П., Фурсов В.А. Лекции по параллельным вычислениям: Учебное пособие. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 164 с. URL: <http://window.edu.ru/resource/552/72552>.
4. Сальников А.М. Ярошенко Е.А. Гребенник О.С. Спиридонов С.В. Введение в параллельные вычисления. Основы программирования на языке Си с использованием интерфейса MPI. – М. : Институт проблем управления РАН, 2010. – 123 с.
5. Шпаковский Г.И. Параллельное программирование и аппаратура. - Минск: БГУ, 2012. - 184 с. URL: <http://window.edu.ru/resource/944/76944>.
6. Баркалов К.А. Методы параллельных вычислений: методическое пособие. - Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2011. - 124 с. URL: <http://window.edu.ru/resource/852/79852>.
7. Баканов В.М. Параллельные вычисления: Учебное пособие. - М.: МГУПИ, 2006. - 124 с. URL: <http://window.edu.ru/resource/184/58184>.

## Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

### «Интернет»

1. Букатов А.А., Дацюк В.Н., Жегуло А.И. Многопроцессорные системы и параллельное программирование / РГГУ. - Ростов, 2003. URL: <http://rsusu1.rnd.runnet.ru/tutor/method/index.html>.

2. Богданов А.В., Станкова Е.Н., Мареев В.В., Корхов В.В. Архитектуры и топологии МВС / Интернет-университет информационных технологий. - М., 2004. URL: <http://www.intuit.ru/department/hardware/atmcs/>.
3. Воеводин Вл.В. Параллельная обработка данных / НИВЦ МГУ. URL: <http://www.parallel.ru/vvv/>.
4. Высокопроизводительные вычисления на кластерах : Учебн. пособие / Под ред. А.В. Старченко. - Томск: Изд-во Том. ун-та, 2008. URL: <http://skif.tsu.ru/lit/parallel.pdf>.
5. Гергель В.П. Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование / НижГу. - Нижний Новгород. URL: <http://www.software.unn.ac.ru/ccam/?doc=14>.
6. Немнюгин С.А. Средства программирования для многопроцессорных вычислительных систем / СПбГУ. - СПб., 2007. URL: <http://www.phys.spbu.ru/library/studentlectures/nemnugin/nemnugin>.
7. Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности / Под редакцией: академика В.А. Садовниченко, академика Г.И. Савина, чл.-корр. РАН Вл.В. Воеводина. - М.: Издательство Московского университета, 2009. URL: [http://hpc-russia.ru/book\\_ready.html](http://hpc-russia.ru/book_ready.html).
8. Шпаковский Г.И. и др. Применение технологии MPI в GRID. - Мн.: БГУ, 2008. URL: <http://www.cluster.bsu.by/download/ShakovskiLectArchHPC.pdf>.
9. Шпаковский Г.И., Серикова Н.В. Программирование для многопроцессорных систем в стандарте MPI. - Минск : БГУ, 2002. URL: [http://www.cluster.bsu.by/download/book\\_PDF.pdf](http://www.cluster.bsu.by/download/book_PDF.pdf).
10. Bertsekas D.P., Tsitsiklis J.N. Parallel and Distributed Computation : Numerical Methods. Athena Scientific, 1997. URL: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/3719>.