


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

«29» декабря 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)**

**Многопроцессорные вычислительные системы**

**Группа научных специальностей 1.2 – «Компьютерные науки и информатика»,  
научная специальность 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и  
комплексы программ»**

**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.т.н, ст. науч. сотрудник ИАПУ ДВО РАН Д.И. Харитонов

**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 «Многопроцессорные вычислительные системы» предназначена для аспирантов, обучающихся по основной образовательной программе «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» 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 1.2 – «Компьютерные науки и информатика» и научной специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и учебный план подготовки аспирантов по научной специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

**Цель** – формирование теоретических знаний и практических навыков в области параллельных вычислительных архитектур и многопроцессорных систем. Самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

### **Задачи:**

1. Изучение особенностей архитектур современных вычислительных машин, систем и сетей и методов организации хранения, передачи и обработки информации для них.

2. Изучение принципов работы современных процессорных элементов, элементов памяти вычислительной системы, методов организации межпроцессорных и межмашинных соединений.

3. Совершенствование практических навыков работы на многопроцессорных вычислительных системах.

4. Изучение архитектур современных операционных систем и распределенных вычислительных систем.

**Интерактивные формы обучения** составляют 18 часов и включают в себя практические занятия в форме мини-конференций с докладами и их обсуждением. Такая форма занятий позволяет развить способность к систематизации и обоснованию изученного материала, умение донести до аудитории основные положения.

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

Универсальные компетенции:

– УК-1 Способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

Общепрофессиональные компетенции:

– ОПК-1 Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области информационно-коммуникационных технологий.

– ОПК-2 Владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.

– ОПК-4 Готовность организовать работу исследовательского коллектива в области информатики и вычислительной техники.

– ОПК-5 Способность объективно оценивать результаты исследований и разработок, выполненных другими специалистами в других научных учреждениях.

Профессиональные компетенции:

– ПК-1 способность разрабатывать и применять методы повышения эффективности и надёжности процессов обработки, передачи и накопления данных в вычислительных машинах, комплексах и компьютерных сетях.

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

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

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения.

#### Знать:

- основные архитектуры многопроцессорных вычислительных систем, средства поддержки параллельных вычислений, методы и инструментальные средства управления программным обеспечением многопроцессорных вычислительных систем;
- основные системные методы проведения теоретических и эмпирических исследований в области информатики и вычислительной техники;
- методологию оценивания результатов исследований, современный уровень исследований в российских и международных научных учреждениях по информационно-вычислительной технике;
- архитектуру современных операционных и распределенных систем, методы передачи данных в информационно-вычислительных сетях и распределенных вычислительных системах.

#### Уметь:

- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.
- анализировать, сравнивать и обосновывать разрабатываемые методов накопления и обработки информации с результатами, полученными другими специалистами и в других научных учреждениях;
- применять современные информационные технологии поиска и анализа информации, для получения данных помогающих принимать решения;

- анализировать требования, определять характеристики и архитектурные принципы построения многопроцессорных систем, давать оценку эффективности использования многопроцессорных вычислительных систем для заданных прикладных задач.

Владеть:

- методами оценки сложности информации и прогнозирования проблем, возникающих при ее обработке и хранении.

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

### **Раздел 1. Введение в параллельные вычислительные системы (4 часа)**

Цели и задачи параллельной обработки данных. Необходимость и актуальность параллельных вычислений. Различия между многозадачным, параллельным и распределенным режимами выполнения программ. Закон Амдала. Закон Мура и его интерпретации. Гипотеза Минского. Способы построения многопроцессорных вычислительных систем. Краткая история развития высокопроизводительных вычислений. Примеры параллельных вычислительных систем. Рейтинги ведущих суперкомпьютеров: мировой TOP500, СНГ TOP50.

Классификация вычислительных систем (ВС) по способу организации параллельной обработки. Понятия мультипроцессора, мультикомпьютера, вычислительного кластера. Особенности организации параллельных вычислений в системах с общей памятью. Особенности организации параллельных вычислений в системах с распределенной памятью посредством передачи сообщений. Понятие кластера и кластерной архитектуры. Классификация кластерных вычислительных систем. Основные критерии оценки кластерных систем. Типичный набор программно-аппаратного обеспечения кластеров. Особенности запуска задач на кластерах. Системы управления заданиями. Интегрированные наборы кластерного программного обеспечения.

## Раздел 2. Вычислительные машины, системы и сети (10 часов)

Архитектура процессора современных вычислительных машин. Командный и арифметический конвейеры, параллельное выполнение независимых команд, векторные команды. Специализированные процессоры. Машины, обеспечивающие выполнение вычислений, управляемых потоком данных, Организация ввода-вывода, каналы и процессоры ввода-вывода, устройства сопряжения с объектами.

Архитектура памяти, требования к ней. Иерархия памяти. Способы увеличения быстродействия памяти. Конвейеризация основной памяти (расслоение памяти). Кэш-память. Кэш-память с прямым распределением. Полностью ассоциативная кэш-память. Стратегия обновления основной памяти: сквозная запись (write-through) и отложенная запись (write-back). Стратегии замещения: LRU, LRA и произвольное (случайное) замещение. Виртуальная память. Страничная и сегментная организация виртуальной памяти.

Понятие архитектуры системы команд микропроцессора. Сравнительная характеристика системы команд микропроцессоров CISC и RISC-архитектуры и связанные с этим особенности их программирования. Планирование загрузки конвейера в RISC-микропроцессорах на этапе компиляции. Система команд процессоров с очень длинным командным словом (VLIW Very Long Instruction Word). Задача выбора параллельно выдаваемых для выполнения операций, выполняемая на этапе компиляции. Основные принципы и характеристики RISC-архитектуры. Современные тенденции развития RISC-идеологии. Архитектура современного RISC-процессора.

Основные принципы построения высокопроизводительных ВС. Основные типы архитектур, характеристики и примеры. Однопроцессорные векторные ВС. Многопроцессорные векторные ВС. SMP-архитектура. Кластерные ВС. MPP-архитектуры. Архитектура современных PVP-

процессоров. Об измерении производительности ВС вообще и супер-ЭВМ в частности. Универсальный критерий производительности векторных ВС.

### **Раздел 3. Информационно-вычислительные сети (6 часов)**

Назначение, архитектура и принципы построения информационно-вычислительных сетей (ИВС). Локальные и глобальные ИВС, технические и программные средства объединения различных сетей. Особенности архитектуры локальных сетей. Распределенная обработка информации в ИВС. Компьютерные сети. Определение вычислительной сети. Локальные и распределенные сети. Состав и особенности функционирования локальных вычислительных сетей (ЛВС).

Способы передачи данных. Способы передачи данных по каналам связи. Коммутация каналов, сообщений, пакетов. Аналоговые и цифровые каналы, методы модуляции и цифрового кодирования. Синхронная и асинхронная передача данных.

Эталонная модель сети. Семиуровневая модель OSI/ISO, функции уровней, декомпозиция канального и физического уровней, процесс формирования кадра. Протокол и межуровневый интерфейс, наиболее распространенные семейства протоколов (TCP/IP).

Управление сетью и сетевое оборудование. Способы управления в сетях, централизованное и децентрализованное управление. Сетевое оборудование: рабочие станции, серверы, сетевые адаптеры, модемы, повторители, концентраторы, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы и шлюзы. Назначение и функции сетевых устройств.

Передающие среды. Классификация сред, кабельные и беспроводные системы. Витая пара, коаксиальный и оптоволоконный кабели. Радио, микроволновые, спутниковые, лазерные и инфракрасные каналы связи, их назначение и параметры.

Базовые сетевые топологии. Произвольная, иерархическая, звездообразная, кольцевая, шинная и сотовая топологии, их достоинства и недостатки. Методы доступа к средам передачи данных. Методы доступа и



их классификация. Вставка регистра, тактированный, маркерный, ALOHA, CSMA, CSMA/CD и CSMA/CA методы.

Сетевые протоколы. Основы построения сетевых протоколов. Протокол HDLC. Типы станций, режимы передачи данных, типы и формат кадров, виды команд. Примеры диаграмм, отражающих передачу данных с использованием протокола HDLC.

Топология сети Интернет. Технология клиент-сервер. Функция серверов Интернет. Протокол TCP/IP. Адресация в Интернет. Пакетная передача данных. Аппаратура и способы подключения к Интернет. Выбор провайдера. Защита и фильтрация информации, блокировка доступа к определенным ресурсам. Прикладные протоколы Интернет: telnet, ftp, gopher, http, почта и другие. Клиентские интерфейсы и основные принципы работы с ними. Создание WWW-страниц. Понятие гипертекста и язык HTML. Графика и мультимедиа. Обзор соответствующих редакторов. Поиск информации в Интернет. Типы ресурсов Интернет и доступ к ним. Поиск информации в Интернет. Язык запросов.

#### **Раздел 4. Операционные системы (10 часов)**

Принципы организации функционирования ЭВМ. Схемы взаимосвязи пользователей и ЭВМ. Режим деления времени. Режим реального времени. Концепция расширенной машины. Расширение функций аппаратных средств путем создания программных модулей. Назначение операционной системы. Понятие управляющего процесса. Системные процессы. Пользовательские процессы. Иерархическая структура операционной системы. Синхронизация процессов в ЭВМ. Управление памятью. Управление процессорами. Управление устройствами. Управление информацией. Программный интерфейс пользователя с аппаратурой. Взаимосвязи программного и аппаратного уровней описания ЭВМ. Системные программы. Обработка прерываний. Требования к системным управляющим программам. Размещение системных управляющих программ.

Системные библиотеки. Генерация операционной среды. Процесс генерации операционной среды и его стадии. Команды операционной системы.

Управление потоками заданий в мультипрограммных операционных средах. Языковые средства пользователей ЭВМ. Назначение языков управления заданиями. Состав операторов языка управления заданиями. Обработка потоков заданий в ЭВМ. Входные и выходные очереди заданий. Понятия входных и выходных классов. Приоритеты заданий. Функции планировщика заданий. Формирование входных очередей. Выборка заданий из очередей. Запуск пункта задания. Формирование выходных очередей. Управляющие блоки и таблицы системы управления заданиями. Функции главного планировщика. Создание процесса главного планировщика.

Организация мультипрограммных процессов ЭВМ. Принципы мультипрограммной обработки данных. Создание процессов. Взаимодействие процессов. Критические участки. Средства синхронизации процессов. Семафорные операции. Примеры их реализации. Организация последовательного использования ресурсов. Способы предотвращения тупиковых ситуаций.

Обработка прерываний и управление ресурсами. Структура данных для процессов и ресурсов. Управляющие блоки и таблицы для управления процессами. Основные операции над процессами и ресурсами. Структура данных для процессов и ресурсов. Управляющие блоки и таблицы для управления процессами. Основные операции над процессами и ресурсами. Организация планировщиков процессов. Методы планирования процессов. Программные средства комплексирования ЭВМ и мультипроцессорных систем.

Параллельные процессы, схемы порождения и управления. Организация взаимодействия между параллельными и асинхронными процессами: обмен сообщениями, организация почтовых ящиков. Критические участки, примитивы взаимного исключения процессов, семафоры Дейкстры и их

расширения. Проблема тупиков при асинхронном выполнении процессов, алгоритмы обнаружения и предотвращения тупиков.

Операционные средства управления процессами при их реализации на параллельных и распределенных вычислительных системах и сетях: стандарты и программные средства PVM, MPI, OpenMP, POSIX .

Управление информацией в ЭВМ. Файловые системы. Уровни управления наборами данных. Логический уровень. Базисный уровень наборов данных. Методы доступа. Процедуры доступа к наборам данных. Файловые справочники. Управление доступом. Обеспечение независимости программ обработки от данных. Блоки управления данными. Процедуры открытия и закрытия наборов данных.

Синхронизация процессов, ввода-вывода и обработки данных. Буферизация данных. Объединение буферов в пулы при вводе-выводе. Способы управления буферами. Режимы пересылки данных. Простая и обменная буферизация. Физический уровень управления данными. Процедура запуска операций ввода-вывода. Функции супервизора ввода-вывода. Обработка прерываний ввода-вывода.

Оптимизация многозадачной работы компьютеров. Операционные системы Windows, Unix, Linux. Особенности организации, предоставляемые услуги пользовательского взаимодействия.

## **Раздел 5. Распределенные вычислительные системы (6 часов)**

История развития распределенных вычислений (РВС). Первое поколение систем распределенных вычислений. Второе поколение систем распределенных вычислений. Современные РВС. Модель «Клиент-Сервер». Типы клиент-серверной архитектуры. Объектные распределенные системы. Вызов удаленных процедур. Организация связи с использованием удаленных объектов. CORBA. Агентные технологии. Понятие программного агента. Мультиагентные системы. Безопасность в системах мобильных агентов. Компонентные системы. Основы компонентных программных систем. Концепция JavaBeans. Сервис-ориентированная архитектура. Концепция

COA. Связанность программных систем. Принципы построения COA. Подход COA. Веб-сервисы. Веб-сервисы первого поколения. Стандарт WSDL. Стандарт SOAP. Второе поколение стандартов веб-сервисов. Адресация и WS-Addressing. Состояние веб-сервисов и WSRF.

Технологии одноранговых сетей. Основы технологии одноранговых сетей. Алгоритмы работы P2P сетей. Применение технологий P2P. Достоинства и недостатки P2P. Технологии Грид. Архитектура Грид. Стандарты Грид. Система Globus. Система UNICORE. Параметрические модели производительности Грид. Облачные вычисления. Определение облачных вычислений. Многослойная архитектура облачных приложений. Компоненты облачных приложений. Достоинства и недостатки облачных вычислений. Классификация облаков. Наиболее распространенные облачные платформы. Сравнение Грид и Облачных вычислений.

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

### **Практические занятия (18 часов)**

**Все практические занятия (18 часов) проводятся в интерактивной форме на учебном вычислительном кластере**

#### **Занятие 1. Основы работы на многопроцессорной вычислительной системе (4 часа)**

Получение доступа к многопроцессорной вычислительной системе. Освоение командного и файлового интерфейса доступа к вычислительной системе. Основы работы в операционной системе GNU/Linux: работа с файлами и папками. Изучение структуры файловой системы.

Изучение средств компиляции программ и подготовки программ к запуску. Создание параллельной программы, пригодной к запуску

#### **Занятие 2. Система управления заданиями многопроцессорной вычислительной системы (4 часа)**

Изучение системы управления заданиями: менеджер ресурсов и планировщик. Освоение основных команд управления: подготовка паспорта

задания, постановка задания в очередь, снятие задания из очереди, просмотр свободных ресурсов, просмотр состояния очереди, просмотр информации о задании.

Автоматизация запуска заданий: подготовка сценариев компиляции и запуска заданий. Анализ файлов вывода и файлов ошибки после выполнения задания.

### **Занятие 3. Запуск многопроцессных и многопоточных заданий (6 часов)**

Изучение особенностей запуска заданий, требующих для своего выполнения более одного вычислительного узла. Запуск заданий, состоящих из иерархии процессов и потоков. Изучение прохождения многостадийных вычислительных заданий. Построение графов зависимостей заданий и запуск групповых заданий.

### **Занятие 4. Запуск заданий на узлах с сопроцессорами (4 часа)**

Подготовка и запуск заданий, требующих для своего выполнения графических или иных сопроцессоров. Особенности выделения ресурсов при запуске заданий на сопроцессорах.

## **III. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

### **ВОПРОСЫ К ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМУ ЗАЧЕТУ**

1. Основные законы параллельных вычислений (Амдала, Мура, Минского). Пиковая и реальная производительность вычислительных систем. Рейтинги TOP50 и TOP500.

2. Классификация и способы построения многопроцессорных вычислительных систем.

3. МВС с общей и распределенной памятью. Кластерные системы: архитектура и классификация.

4. Основной набор программного обеспечения вычислительного кластера.

5. Архитектура современного процессора. CISC, RISC и VLIW системы.
6. Архитектура памяти вычислительной машины (кэш, виртуальная память, UMA/NUMA-системы).
7. Архитектура и принципы построения информационно-вычислительных сетей (среды передачи, коммутация каналов, пакетов, сообщений).
8. Эталонная модель сети (уровни, назначение, примеры).
9. Базовые сетевые топологии и протоколы.
10. Архитектура операционной системы (управление процессами, памятью и внешними устройствами).
11. Управление потоками заданий в мультипрограммных операционных средах.
12. Распределенных систем (поколения и архитектуры).
13. Объектные распределенные системы. Вызов удаленных процедур. Понятие программного агента. Мультиагентные системы.
14. GRID-технологии и облачные вычисления: методы и подходы.

#### **IV. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

##### **Основная литература**

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. – СПб.: Питер, 2013. – 816 с.: ил.
2. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.: ил.
3. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многоядерных многопроцессорных систем. Учебное пособие – Нижний Новгород; Изд-во ННГУ им. Н.И.Лобачевского, 2010 — 420 с.: ил. Доступ: <http://window.edu.ru/resource/858/79858>. - ЭБС "Единое окно доступа к образовательным ресурсам".

## Дополнительная литература

1. Шпаковский Г.И. Реализация параллельных вычислений: кластеры, много-ядерные процессоры, грид, квантовые компьютеры. – Минск, БГУ, 2010 г., 155 с. 3. Доступ: <http://window.edu.ru/resource/944/769443>. - ЭБС "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"

2. Дубинин В.Н., Зинкин С.А. Сетевые модели распределенных систем обработки, хранения и передачи данных: монография. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2013. – 452 с. 3. Доступ: <http://window.edu.ru/resource/803/798031>. - ЭБС "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"

3. Баденко В.Л. Высокопроизводительные вычисления: учеб. пособие – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. –180 с. 3. Доступ: <http://window.edu.ru/resource/669/766692>. - ЭБС "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"

4. Паттерсон Д., Хеннесси Дж. Архитектура компьютера и проектирование компьютерных систем. Классика Computers Science. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 784 с.: ил.