

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Институт информационных технологий, математики и механики
Передовая инженерная школа «Современные системы связи, радиолокации и радионавигации»
Отделение «Проектирование и автоматизация производства изделий микроэлектроники»

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол
№12 09.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Методы и технологии суперкомпьютерных вычислений

Уровень высшего образования
магистратура

Направление подготовки
09.04.03 Прикладная информатика

Магистерская программа
Проектирование и автоматизация производства изделий микроэлектроники

Квалификация (степень)
Магистр

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2023

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к обязательной части

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.03 Методы и технологии суперкомпьютерных вычислений относится к части ООП направления подготовки 09.04.03 Прикладная информатика, формируемой участниками образовательных отношений.

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**	
УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1. Демонстрирует знание методов критического анализа проблемных ситуаций с позиций системного подхода.	Знать типы, принципы организации, фундаментальные положения, лежащие в основе современных высокопроизводительных систем и параллельных расчетов.	собеседование
	УК-1.2. Демонстрирует умение вырабатывать стратегию действий, направленных на разрешение проблемных ситуаций.	Уметь формулировать требования к алгоритмическому и программному обеспечению с учетом особенностей высокопроизводительных систем. Уметь использовать особенности вычислительных систем при построении параллельных расчетов.	собеседование
	УК-1.3. Демонстрирует наличие практического опыта применения системного подхода к анализу и разрешению конкретных проблемных ситуаций.	Владеет опытом организации параллельных расчетов и построения параллельных приложений для высокопроизводительных вычислительных систем.	задача
ПК-5. Способен планировать и организовывать аналитическую деятельность на всех этапах жизненного цикла ИС (ИИС).	ПК-5.1. Демонстрирует знание основных этапов жизненного цикла ИС (ИИС).	Знать систематику и принципы формализации высокопроизводительных комплексов, общие принципы организации параллельных вычислений в вычислительной системе; спецификации, стандарты, правила и рекомендации в области высокопроизводительных вычислений.	собеседование
	ПК-5.2. Демонстрирует умение планировать и	Уметь строить модели типовых и нетипичных параллельных систем и процес-	собеседование

	организовывать аналитическую деятельность на всех этапах жизненного цикла ИС (ИИС).	сов; уметь создавать и отлаживать параллельные коды; проводить эксперименты, оценивать результаты функционирования параллельных программ.	
	ПК-5.3. Имеет практический опыт планирования и организации аналитической деятельности.	Владеет опытом построения и адаптации параллельных приложений для конкретных вычислительных систем.	задача

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	6 ЗЕТ
Часов по учебному плану	216
в том числе	
контактная работа:	66
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	32
- текущий контроль (КСР)	2
самостоятельная работа	114
Промежуточная аттестация – экзамен	36

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	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 контактных часов	
Тема 1. Введение в проблематику параллельных вычислений	18	3	3		6	12
Тема 2. Архитектура и организация ЭВМ	20	4	4		8	12
Тема 3. Основные классы параллельных вычислительных систем	18	3	3		6	12
Тема 4. Топология вычислительной системы	20	4	4		8	12
Тема 5. Модели вычислительных систем, алгоритмов и процессов	18	3	3		6	12
Тема 6. Распараллеливание последовательных программ	20	4	4		8	12
Тема 7. Синтез алгоритмов для параллельных вычислительных систем	18	3	3		6	12

Тема 8. Простейшие параллельные алгоритмы	20	4	4		8	12
Тема 9. Прикладные задачи и параллельные методы их решения	26	4	4		8	18
Текущий контроль (КСР)	2				2	
Итого	216	32	32		64	114

ТЕМА 1. ВВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМАТИКУ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ. Важность проблемы супервычислений. Причина развития вычислительных систем. Большие задачи. Класс GRAND CHALLENGES. Примеры задач. Методы повышения быстродействия. Оценка производительности компьютеров. Расчет производительности в LINPACK. Рейтинги суперкомпьютеров. Производительность реальных систем. Понятие архитектуры вычислительной системы. Понятия ЭВМ и ВС. Термин «архитектура системы». Архитектура как набор взаимодействующих компонентов. Архитектура как интерфейс между уровнями физической системы. Многоуровневая компьютерная организация. Параллельные вычисления и способы достижения параллелизма. Понятие алгоритма и программы. Формы параллелизма. Ярусно-параллельная форма программы. Мелкозернистый (скалярный) параллелизм. Крупнозернистый параллелизм и его виды. Векторный параллелизм. Параллелизм независимых ветвей. Параллелизм вариантов. Проблемы использования параллельных вычислительных систем. Потери производительности для организации параллелизма. Существование последовательных вычислений. Зависимость эффективности параллелизма от учета характерных свойств параллельных систем. Сбалансированная работа процессоров. Эффективность переработки последовательных программ для параллельных систем. Проблематика параллельных вычислений и совокупность суперкомпьютерных знаний.

ТЕМА 2. АРХИТЕКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭВМ. Система команд. Уровень физических устройств и цифровой логический уровень. Аппаратная платформа компьютера. Организация аппаратной платформы. Микроархитектура. Микрокод. Архитектура системы команд. Центральный процессор и память. Гарвардская архитектура. Архитектура фон Неймана. Процесс последовательной обработки данных. Скорость выполнения команд процессором. Эволюция микропроцессорных архитектур. Закон Мура и поколения ЭВМ. Аккумулятор. Стек. Регистр. Стековая и Регистровая архитектуры. CISC. RISC. Суперскалярность. VLIW. Технологии ускорения вычислений. Конвейер команд. Внеочередное исполнение. Переименование регистров. Предсказание ветвлений. Кэш. Предвыборка данных. Гиперпоточность и многоядерность. Современные тенденции в архитектуре и технологиях. Архитектура EPIC. Предпосылки дальнейшего развития. Закон Гроша. Критический порог, технические ограничения. Следствия.

ТЕМА 3. ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. Архитектуры вычислительных систем. Фон-неймановские и Не-фон-неймановские архитектуры. Системы с общей и распределенной памятью. Систематика по параллельной обработке данных. SISD компьютеры, SIMD компьютеры, MISD компьютеры, MIMD компьютеры. Систематика по организации общей памяти. Мультипроцессоры. Мультикомпьютеры. Оперативная память. Чередуемая память. Разделяемая память. Распределенная память. Связь между элементами параллельных вычислительных систем. Мультипроцессоры. Способы построения общей памяти. Архитектуры на однородном доступ к памяти (UMA). Проблема однозначности содержимого кэшей. Синхронизация взаимодействия потоков команд. Симметричная мультипроцессорная архитектура (SMP). Массивно-параллельная архитектура (MPP). Гибридные архитектуры на неоднородном доступом к памяти (NUMA). Архитектуры COMA, CC-NUMA, NCC-NUMA. Архитектуры на распределенной общей памяти (DSM). Арифметические ускорители. Мультикомпьютеры. Архитектура многопроцессорных систем с распределенной памятью (NORMA). Массивно-параллельные системы (MPP). Кластеры (clusters). Метакомпьютеры.

ТЕМА 4. ТОПОЛОГИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ. Коммуникационная среда. Структурная схема и компоненты. Сетевые адаптеры. Коммуникационные сети. Сетевые коммутаторы. Топологии коммуникационных сетей. Понятие топологи. Сети с фиксированной топологией. Основные характеристики коммуникационных сетей. Производительность, Латентность. Пропускная способность. Масштабируемость. Общая характеристика механизмов передачи данных. Алгоритмы маршрутизации. Методы передачи данных. Анализ трудоемкости операций передачи данных. Пример. Передача данных между двумя процессорами сети. Планирование задач с учетом топологии вычислительной системы. Система управления заданиями. Постановка задачи планирования. Метод быстрого заполнения для линейной топологии и технология перехода к произвольной топологии. Задача минимизации ширины гра-

фа. Быстрый алгоритм Катхилла-Макки. Задача оптимального отображения. Задачи оптимального отображения виртуальной топологии на физическую/логическую топологию вычислительной системы. Задачи оптимального отображения параллельных процессов на архитектуру многопроцессорной вычислительной системы. Сложность задач. Задача Балансировки загрузки. Многоуровневый графовый алгоритм балансировки загрузки. Отображение процессов с регулярной структурой на типовые архитектуры мультимикомпьютеров. Примеры. Отображение кольца процессов на гиперкуб. Отображение решетки процессов на гиперкуб.

ТЕМА 5. МОДЕЛИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, АЛГОРИТМОВ И ПРОЦЕССОВ. Модели вычислительных систем и параллельные формы алгоритмов. Граф алгоритма и его свойства. Проблема отображения. Модель сетей передачи данных между процессорами. Модели параллельных вычислений. Представление алгоритма в виде диаграммы расписаний. Характеристики вычислительных процессов. Простое и конвейерное функциональное устройство. Загруженность. Производительность. Ускорение. Система устройств. Влияние связей между устройствами. Законы Амдала и следствия. Закон Густавсона-Барсиса. Производительность конвейерных систем. Масштабируемость параллельных вычислений. Верхняя граница времени выполнения параллельного алгоритма. Факторы, влияющие на производительность и способы ее повышения.

ТЕМА 6. РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ. Степени параллелизма. Статическое и динамическое распараллеливание последовательных программ. Методы увеличения параллелизма. Размер базовых блоков и его увеличение. Метод увеличения параллелизма Фишера. Распараллеливание ациклических участков. Построение графа зависимостей по данным. Построение ярусно-параллельной формы программы. Составление по ярусно-параллельной форме параллельной программы. Отображение полученной программы на архитектуру используемой параллельной вычислительной системы. Особенности распараллеливания выражений. Алгоритм автоматического распараллеливания арифметических выражений. Распараллеливание циклических фрагментов программ. Метод параллелизации пипедов. Метод гиперплоскостей. Метод пирамид. Особенности распараллеливания циклов на системах с распределенной памятью.

ТЕМА 7. СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. Разработка параллельной программы. Построение модели программы. Анализ модели и выявление параллелизма. Разделение вычислений (декомпозиция) на независимые части. Выделение информационных зависимостей. Масштабирование набора подзадач. Распределение подзадач между процессорами. Оценки эффективности распараллеливания. Приемы и методы декомпозиции вычислений. Декомпозиция по данным. Прием дублирования данных. Геометрическое распараллеливание. Распараллеливание без дробления геометрии. Функциональный параллелизм. Распараллеливание по физическим процессам. Алгоритмический параллелизм. Конвейерный параллелизм. «Беспорядочный» параллелизм. Реструктуризация данных. Релаксационные алгоритмы. Алгоритмы с синхронизацией итераций. Самопроизводящиеся задачи. Эффективность распараллеливания программы. Масштабирование задачи. Коэффициент эффективности. Ускорение счета. Использование временных засечек, профилирование. Сложности организации параллельного счета. Проблемы балансировки и перебалансировки. Многофрагментный счет. Отображение сетки обмена сообщениями на параллельную ЭВМ. Проблема параллельного ввода-вывода.

ТЕМА 8. ПРОСТЕЙШИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ. Конвейер. Вычисление суммы последовательности числовых значений. Геометрический параллелизм. Умножение матрицы на вектор. Перемножение матриц.

ТЕМА 9. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ. Решение СЛАУ методом Гаусса. Проблема заполнения и минимизация ленты матрицы.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (экзамен).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Для самоконтроля у студента имеется возможность изучения материала в дистанционном управляемом курсе (требуется авторизация): <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=4383>

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Методы и технологии суперкомпьютерных вычислений» включает выполнение заданий под контролем преподавателя, решение домашних заданий и подготовку к экзамену.

Тематика самостоятельной работы

В рамках темы 1 – теоретическая часть. Многоуровневая компьютерная организация. Параллельные вычисления и способы достижения параллелизма. Понятие алгоритма и программы. Формы параллелизма. Ярусно-параллельная форма программы. Мелкозернистый (скалярный) параллелизм. Крупнозернистый параллелизм и его виды. Векторный параллелизм. Параллелизм независимых ветвей. Параллелизм вариантов. Проблемы использования параллельных вычислительных систем. Потери производительности для организации параллелизма. Существование последовательных вычислений. Зависимость эффективности параллелизма от учета характерных свойств параллельных систем. Сбалансированная работа процессоров. Эффективность переработки последовательных программ для параллельных систем. Проблематика параллельных вычислений и совокупность суперкомпьютерных знаний.

В рамках темы 2 – теоретическая часть. Гарвардская архитектура. Архитектура фон Неймана. Процесс последовательной обработки данных. Скорость выполнения команд процессором. Эволюция микропроцессорных архитектур. Закон Мура и поколения ЭВМ. Аккумулятор. Стек. Регистр. Стековая и Регистровая архитектуры. CISC. RISC. Суперскалярность. VLIW. Технологии ускорения вычислений. Конвейер команд. Внеочередное исполнение. Переименование регистров. Предсказание ветвлений. Кэш. Предвыборка данных. Гиперпоточность и многоядерность. Современные тенденции в архитектуре и технологиях. Архитектура EPIC. Предпосылки дальнейшего развития. Закон Гроша. Критический порог, технические ограничения. Следствия.

В рамках темы 3 – теоретическая часть. Мультипроцессоры. Способы построения общей памяти. Архитектуры на однородном доступ к памяти (UMA). Проблема однозначности содержимого кэшей. Синхронизация взаимодействия потоков команд. Симметричная мультипроцессорная архитектура (SMP). Массивно-параллельная архитектура (MPP). Гибридные архитектуры на неоднородном доступ к памяти (NUMA). Архитектуры COMA, CC-NUMA, NCC-NUMA. Архитектуры на распределенной общей памяти (DSM). Арифметические ускорители. Мультикомпьютеры. Архитектура многопроцессорных систем с распределенной памятью (NORMA). Массивно-параллельные системы (MPP). Кластеры (clusters). Метакомпьютеры.

В рамках темы 4 – теоретическая часть. Общая характеристика механизмов передачи данных. Алгоритмы маршрутизации. Методы передачи данных. Анализ трудоемкости операций передачи данных. Пример. Передача данных между двумя процессорами сети. Планирование задач с учетом топологии вычислительной системы. Система управления заданиями. Постановка задачи планирования. Метод быстрого заполнения для линейной топологии и технология перехода к произвольной топологии. Задача минимизации ширины графа. Быстрый алгоритм Катхилла-Макки. Задача оптимального отображения. Задачи оптимального отображения виртуальной топологии на физическую/логическую топологию вычислительной системы. Задачи оптимального отображения параллельных процессов на архитектуру многопроцессорной вычислительной системы. Сложность задач. Задача Балансировки загрузки. Многоуровневый графовый алгоритм балансировки загрузки. Отображение процессов с регулярной структурой на типовые архитектуры мультикомпьютеров. Примеры. Отображение кольца процессов на гиперкуб. Отображение решетки процессов на гиперкуб.

В рамках темы 5 – теоретическая часть. Характеристики вычислительных процессов. Простое и конвейерное функциональное устройство. Загруженность. Производительность. Ускорение. Система устройств. Влияние связей между устройствами. Законы Амдала и следствия. Закон Густавсона-Барсиса. Производительность конвейерных систем. Масштабируемость параллельных вычислений. Верхняя граница времени выполнения параллельного алгоритма. Факторы, влияющие на производительность и способы ее повышения.

В рамках темы 6 – теоретическая часть. Построение ярусно-параллельной формы программы. Составление по ярусно-параллельной форме параллельной программы. Отображение полученной программы на архитектуру используемой параллельной вычислительной системы. Особенности распараллеливания выражений. Алгоритм автоматического распараллеливания арифметических выражений. Рас-

параллеливание циклических фрагментов программ. Метод параллелепипедов. Метод гиперплоскостей. Метод пирамид. Особенности распараллеливания циклов на системах с распределенной памятью.

В рамках темы 7 – теоретическая часть. Геометрическое распараллеливание. Распараллеливание без дробления геометрии. Функциональный параллелизм. Распараллеливание по физическим процессам. Алгоритмический параллелизм. Конвейерный параллелизм. «Беспорядочный» параллелизм. Реструктуризация данных. Релаксационные алгоритмы. Алгоритмы с синхронизацией итераций. Самопроизводящиеся задачи. Эффективность распараллеливания программы. Масштабирование задачи. Коэффициент эффективности. Ускорение счета. Использование временных засечек, профилирование. Сложности организации параллельного счета. Проблемы балансировки и перебалансировки. Многофрагментный счет. Отображение сетки обмена сообщениями на параллельную ЭВМ. Проблема параллельного ввода-вывода.

В рамках темы 8 – теоретическая часть. Геометрический параллелизм. Умножение матрицы на вектор. Перемножение матриц.

В рамках темы 9 – теоретическая часть. Проблема заполнения и минимизация ленты матрицы.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2. Образовательные материалы для самостоятельной работы студентов доступны из следующих источников:

1. А.С. Антонов. Введение в параллельные вычисления. Методическое пособие. <http://hpc.ssau.ru/files/doc/antonov-02.pdf>
2. Материалы к курсу «Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование» <http://www.hpcc.unn.ru/mskurs/RUS/HTML/cs338pprmaterials.htm>
3. Введение в методы параллельного программирования. Бесплатный курс для самообразования на официальном сайте Интуит.ру. <http://www.intuit.ru/studies/courses/1021/284/info>
4. Архитектура параллельных вычислительных систем. Бесплатный курс для самообразования на официальном сайте Интуит.ру. <http://www.intuit.ru/studies/courses/80/80/info>
5. Теория и практика параллельных вычислений. Бесплатный курс для самообразования на официальном сайте Интуит.ру. <http://www.intuit.ru/studies/courses/1156/190/info>

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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	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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки

	от ответа						
<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 владения материалом. 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	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	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Понятие архитектуры вычислительной системы, параллельные вычисления и способы достижения параллелизма.	УК-1
2. Система команд. Многоуровневая организация. Микроархитектура. Микрокод. Архитектура системы команд.	УК-1
3. Центральный процессор и память. Гарвардская архитектура. Архитектура фон Неймана. Процесс последовательной обработки данных. Скорость выполнения команд процессором.	УК-1
4. Эволюция микропроцессорных архитектур. Закон Мура и поколения ЭВМ. Аккумулятор. Стек. Регистр. Стековая и Регистровая архитектуры. CISC. RISC. Суперскалярность. VLIW.	УК-1
5. Технологии ускорения вычислений. Конвейер команд. Внеочередное исполнение. Переименование регистров.	УК-1
6. Технологии ускорения вычислений. Предсказание ветвлений. Кэш. Предвыборка данных. Гиперпоточность и многоядерность.	УК-1
7. Современные тенденции в архитектуре и технологиях. Архитектура EPIC.	УК-1
8. Предпосылки развития ВС. Закон Гроша. Критический порог, технические ограничения. Следствия.	УК-1
9. Архитектуры вычислительных систем. Фон-неймановские и Не-фон-неймановские архитектуры. Системы с общей и распределенной памятью.	УК-1
10. Систематика по параллельной обработке данных. SISD компьютеры, SIMD компьютеры, MISD компьютеры, MIMD компьютеры.	УК-1
11. Систематика по организации общей памяти. Мультипроцессоры. Мультикомпьютеры.	УК-1
12. Оперативная память. Чередуемая память. Разделяемая память. Распределенная память. Связь между элементами параллельных вычислительных систем.	УК-1
13. Мультипроцессоры. Способы построения общей памяти. Архитектуры на однородном доступ к памяти (UMA). Проблема однозначности содержимого кэшей. Синхронизация взаимодействия потоков команд.	УК-1
14. Мультипроцессоры. Симметричная мультипроцессорная архитектура (SMP).	УК-1
15. Мультипроцессоры. Массивно-параллельная архитектура (MPP).	УК-1
16. Мультипроцессоры. Гибридные архитектуры на неоднородном доступом к памяти (NUMA). Архитектуры COMA, CC-NUMA, NCC-NUMA.	УК-1
17. Мультикомпьютеры. Архитектура многопроцессорных систем с распределенной памятью (NORMA). Массивно-параллельные системы (MPP). Кластеры (clusters). Метакомпьютеры.	УК-1
18. Коммуникационная среда. Структурная схема и компоненты. Сетевые адаптеры. Коммуникационные сети. Сетевые коммутаторы.	УК-1
19. Топологии коммуникационных сетей. Понятие топологии. Сети с фиксированной топологией.	УК-1
20. Основные характеристики коммуникационных сетей. Производительность, Латентность. Пропускная способность. Масштабируемость.	УК-1
21. Общая характеристика механизмов передачи данных. Алгоритмы маршрутизации. Методы передачи данных. Анализ трудоемкости операций передачи данных.	УК-1
22. Планирование задач с учетом топологии вычислительной системы. Система управления заданиями. Постановка задачи планирования. Метод быстрого заполнения для линейной топологии и технология перехода к произвольной топологии.	УК-1

23. Задача оптимального отображения. Задачи оптимального отображения виртуальной топологии на физическую/логическую топологию вычислительной системы. Задачи оптимального отображения параллельных процессов на архитектуру многопроцессорной вычислительной системы. Сложность задач.	УК-1
24. Задача балансировки загрузки. Многоуровневый графовый алгоритм балансировки загрузки.	УК-1
25. Отображение процессов с регулярной структурой на типовые архитектуры мультимпьютеров. Отображение кольца процессов на гиперкуб. Отображение решетки процессов на гиперкуб.	УК-1
26. Модели вычислительных систем и параллельные формы алгоритмов. Граф алгоритма и его свойства. Проблема отображения. Модель сетей передачи данных между процессорами.	УК-1
27. Модели параллельных вычислений. Представление алгоритма в виде диаграммы расписаний.	УК-1
28. Характеристики вычислительных процессов. Простое и конвейерное функциональное устройство. Загруженность. Производительность. Ускорение. Система устройств. Влияние связей между устройствами.	УК-1
29. Законы Амдала и следствия. Закон Густавсона-Барсиса. Производительность конвейерных систем. Масштабируемость параллельных вычислений. Верхняя граница времени выполнения параллельного алгоритма. Факторы, влияющие на производительность и способы ее повышения.	УК-1
30. Степени параллелизма. Статическое и динамическое распараллеливание последовательных программ.	ПК-5
31. Методы увеличения параллелизма. Размер базовых блоков и его увеличение. Метод увеличения параллелизма Фишера.	ПК-5
32. Распараллеливание ациклических участков. Построение графа зависимостей по данным. Построение ярусно-параллельной формы, составление и отображение параллельной программы на архитектуру вычислительной системы.	ПК-5
33. Особенности распараллеливания выражений. Алгоритм автоматического распараллеливания арифметических выражений.	ПК-5
34. Распараллеливание циклических фрагментов программ. Метод параллелепипедов. Особенности распараллеливания циклов на системах с распределенной памятью.	ПК-5
35. Распараллеливание циклических фрагментов программ. Метод гиперплоскостей. Особенности распараллеливания циклов на системах с распределенной памятью.	ПК-5
36. Распараллеливание циклических фрагментов программ. Метод пирамид. Особенности распараллеливания циклов на системах с распределенной памятью.	ПК-5
37. Цикл и основные этапы разработки параллельной программы.	ПК-5
38. Приемы и методы декомпозиции вычислений. Декомпозиция по данным. Прием дублирования данных. Функциональный параллелизм.	ПК-5
39. Приемы и методы декомпозиции вычислений. Геометрическое распараллеливание. Распараллеливание без дробления геометрии. Алгоритмический параллелизм. Конвейерный параллелизм.	ПК-5
40. Приемы и методы декомпозиции вычислений. «Беспорядочный» параллелизм. Реструктуризация данных. Релаксационные алгоритмы. Алгоритмы с синхронизацией итераций. Самопроизводящиеся задачи.	ПК-5
41. Эффективность распараллеливания программы. Масштабирование задачи. Коэффициент эффективности. Ускорение счета.	ПК-5
42. Эффективность распараллеливания программы. Использование временных засечек, профилирование. Сложности организации параллельного счета.	ПК-5
43. Эффективность распараллеливания программы. Проблемы балансировки и перебалансировки. Многофрагментный счет. Отображение сетки обмена сообщениями на параллельную ЭВМ. Проблема параллельного ввода-вывода.	ПК-5

5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции

Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции УК-1

1. ПОДГОТОВКА ДОКЛАДА И ВЫСТУПЛЕНИЕ НА СЕМИНАРЕ. Студент получает тему из области высокопроизводительных вычислений, готовит доклад и 15-минутное выступление на семинаре. Примеры тем: архитектура EPIC, файловые системы высокопроизводительных систем, архитектура многоядерных процессоров, организация кэша центрального процессора и т.п.
2. АНАЛИЗ ТРУДОЕМКОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ. По заданной структуре вычислительной сети (топология, сетевые устройства, пропускные способности, латентность, вычислители) и заданной виртуальной топологии требуется рассчитать «стоимость» передачи: от одного процессора до другого, от одного процессора всем остальным процессорам, от всех процессоров всем процессорам сети.

Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-5

3. РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ АЛГОРИТМА. По последовательному алгоритму (в качестве примера, алгоритм работы клеточного автомата «Жизнь») требуется построить параллельную программу. Построить оценки параллельной реализации.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература

Малявко А. А. Параллельное программирование на основе технологий openmp, cuda, opencl, mpi : учебное пособие / А. А. Малявко. - 3-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2022. - 135 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/492127> (дата обращения: 14.08.2022). - ISBN 978-5-534-14116-0 : 439.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт".

Постоянная ссылка на документ:

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=817156&idb=0>

б) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. А.С. Антонов. Введение в параллельные вычисления. Методическое пособие. <http://hpc.ssau.ru/files/doc/antonov-02.pdf>
2. Материалы к курсу «Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование» <http://www.hpcc.unn.ru/mskurs/RUS/HTML/cs338pprmaterials.htm>
3. Введение в методы параллельного программирования. Бесплатный курс для самообразования на официальном сайте Интуит.ру. <http://www.intuit.ru/studies/courses/1021/284/info>
4. Архитектура параллельных вычислительных систем. Бесплатный курс для самообразования на официальном сайте Интуит.ру. <http://www.intuit.ru/studies/courses/80/80/info>
5. Теория и практика параллельных вычислений. Бесплатный курс для самообразования на официальном сайте Интуит.ру. <http://www.intuit.ru/studies/courses/1156/190/info>
6. Операционные системы семейства Microsoft Windows, лицензия по подписке Microsoft Imagine.
7. Браузер Google Chrome, предоставляется бесплатно на условиях лицензионных соглашений на программное обеспечение с открытым исходным кодом
8. Среда разработки семейства Microsoft Visual Studio, лицензия по подписке Microsoft Imagine

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и семинарского типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Специальное образовательное пространство «Учебно-лабораторный интерактивный комплекс "Суперкомпьютерное моделирование, проектирование и автоматизация производства из-

делий микроэлектроники", для проведения лабораторных и практических занятий, предусмотренных программой, оснащенное

- высокопроизводительной вычислительной системой: программно-аппаратным комплексом «Логос» (коммерческая лицензия);
- учебный класс с 15 персональными компьютерами с установленным специализированным прикладным программным обеспечением: программный комплекс инженерного назначения Логос (академическая лицензия);
- сетевым оборудованием для доступа к высокопроизводительному ПАК «Логос»;
- офисное и мультимедийное оборудование, включая оборудование для представления презентаций и организации видеоконференцсвязи, специализированная мебель.

Специальное образовательное пространство «Инженерный анализ, моделирование и проектирование электронных устройств и двух учебных классов, для проведения лабораторных, практических занятий и самостоятельной работы, предусмотренных программой, оснащенное

- 2 учебных класса по 9 персональных компьютеров с установленным специализированным прикладным программным обеспечением (академические лицензии): ПО Логос Аэро-Гидро, ПО Логос-Прочность, ПО Логос-Препост, ПО Логос-Платформа;
- сетевым оборудованием для обеспечения инженерных расчетов с рабочих мест на удаленных высокопроизводительных ресурсах, каналом доступа к высокопроизводительным вычислительным системам: вычислительный центр РФЯЦ-ВНИИЭФ, суперкомпьютер «Лобачевский»;
- офисное и мультимедийное оборудование, включая оборудование для представления презентаций и организации видеоконференцсвязи, специализированная мебель.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 09.04.03 Прикладная информатика.

Автор д.т.н., профессор Н.В. Старостин

Рецензент д.т.н., профессор Ю.С. Федосенко

Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор М.Х. Прилуцкий

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

19.10.2022 года, протокол № 2