

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Проект комиссии Президента по модернизации и техническому развитию экономики
России «Создание системы подготовки высококвалифицированных кадров в области
суперкомпьютерных технологий и специализированного программного обеспечения»

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

УТВЕРЖДАЮ
Председатель экспертного совета
системы НОЦ СКТ, член-корр. РАН
В.В. Воеводин

_____ 201__ г.
" ____ " _____

Программа дисциплины

**«ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ
ВЫЧИСЛЕНИЙ»**

«010400 «Прикладная математика и информатика»

Разработчик: д.т.н. Баденко В.Л.
Рецензент: д.т.н., профессор Болдырев Ю.Я.

Москва

Учебно-методический план курса лекций

«ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ»

БАДЕНКО В.Л.

1. Аннотация курса

Дисциплина «Инструментальные средства высокопроизводительных вычислений» разработана в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению «Прикладная математика и информатика» (магистры, профессиональный цикл).

Дисциплина «Инструментальные средства высокопроизводительных вычислений» изучается в 11 семестре, являясь вариативной (профильной) компонентой профессионального цикла. Для освоения данной дисциплины требуется изучение дисциплин: «Математика», «Вычислительная математика», «Функциональный анализ». Дисциплина необходима для дальнейшего карьерного роста.

Длительность курса 68 часов. В конце первого семестра сдается экзамен. Отвечает за курс кафедра "Математическое и программное обеспечение высокопроизводительных вычислений". Автор программы д.т.н. Баденко Владимир Львович. Лектор 2011/12 учебного года профессор кафедры "Математическое и программное обеспечение высокопроизводительных вычислений" д.т.н. Баденко В.Л. При чтении лекций используются компьютерные презентации.

2. Место дисциплины в учебном плане.

В результате изучения курса «Инструментальные средства высокопроизводительных вычислений» студент должен:

знать

- методы проектирования аппаратных и программных средств параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- фундаментальные концепции и профессиональные результаты, системные методологии в области параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- современное состояние и принципиальные возможности языков и систем программирования для параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- методы декомпозиции, агрегирования и координации задач для реализации параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- методы формального описания процессов в высокопроизводительных вычислительных системах;

уметь

- планировать, организовывать и проводить научные исследования в области параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- использовать новые знания и применять их в области параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем
- использовать типовые программные продукты, ориентированные на решение научных, проектных и технологических задач в области параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- использовать современные теории, методы, системы и средства прикладной математики и информационных технологий для решения научно-исследовательских и прикладных задач;
- изучать большие системы современными методами высокопроизводительных вычислительных технологий,
- применение современных суперкомпьютеров в проводимых исследованиях;

- проектировать параллельные и высокопроизводительные вычислительные системы;
- правильно выбирать методы синтеза параллельные и высокопроизводительные вычислительные систем, включая методы исчисления взаимодействующих систем Робина Милнера;

владеть

- типовыми программными продуктами, ориентированными на решение научных, проектных и технологических задач в области параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- методами проектирования параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- методами построения математических моделей параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем, анализа их свойств, синтеза систем с требуемыми свойствами;
- технологиями научно-исследовательской и научно-педагогической деятельности;
- методиками сбора, переработки и представления научно-технических материалов по результатам исследований к опубликованию в печати, а также в виде обзоров, рефератов, отчетов, докладов и лекций.

3. Содержание дисциплины.

Перечень разделов курса (в том числе перечень тем семинарских занятий, при наличии описание практикума, коллоквиума).

В курсе всего 8 тем.

Тема 1. Основные понятия о высокопроизводительных вычислениях. Рассматриваются параллельные компьютеры и супер-ЭВМ, история высокопроизводительных суперкомпьютеров, две модели программирования: последовательная и параллельная. Лабораторного практикума по данной теме не предусмотрено

Тема 2. Архитектура суперкомпьютеров. Рассматривается классификация вычислительных систем, основные концепции архитектуры высокопроизводительных вычислительных систем, кластеры рабочих станций, метакомпьютинг и GRID-технологии, облачные вычисления. В ходе лабораторного практикума изучаются операционные системы для организации высокопроизводительных вычислений, формируется вычислительный кластер.

Тема 3. Оценка высокопроизводительных систем. Рассматриваются издержки и выигрыш при реализации параллельных вычислений, затраты на распараллеливание программы, показатели эффективности параллельного алгоритма, тест Linpack. В ходе лабораторного практикума вычисляются показатели разрабатываемого студентами алгоритмов.

Тема 4. Современные технологии высокопроизводительных вычислений. Рассматриваются рейтинги Top500 и Top50, задачи, решаемые методами распараллеливания, производство суперкомпьютеров в России, суперкомпьютеры фирмы IBM и Cray. Лабораторного практикума по данной теме не предусмотрено.

Тема 5. Программирование для высокопроизводительных вычислений. Рассматриваются классы задач, которые можно эффективно векторизовать и распараллелить, парадигмы программирования, методология проектирования параллельных алгоритмов. средства распараллеливания в трансляторах и параллельные библиотеки, использование векторных операций и функций в языках программирования, концепция передачи сообщений. В ходе лабораторного практикума студенты самостоятельно выбирают среду для реализации параллельного алгоритма и исследуют работы такого алгоритма на ранее сформированном кластере.

Тема 6. Параллельное программирование на основе MPI. Рассматриваются преимущества программирования на MPI, основные понятия и определения, базовые функции MPI и пример программы на MPI. В ходе лабораторного практикума студен-

ты решают тестовые задачи с помощью средств MPI.

Тема 7. Программирование с параллельными данными. Рассматриваются концепция параллельных данных, операции с параллельными данными и технология OpenMP. Лабораторного практикума по данной теме не предусмотрено.

Тема 8. Исчисление взаимодействующих систем. Рассматривается исчисление взаимодействующих систем Робина Милнера и перспективы его практического применения. Лабораторного практикума по данной теме не предусмотрено.

Цель изучения дисциплины – освоение основных методов высокопроизводительных вычислений, развитие способностей к формированию инструментальных средств для высокопроизводительных вычислений. Дать представление студентам о моделировании параллельных и высокопроизводительных вычислительных систем, предназначенных для решения задач из различных областей науки, техники и управления, а также привить практические навыки создания и эксплуатации таких вычислительных систем. Изучаются современные технологии, используемых в высокопроизводительных вычислениях, а также архитектура современных суперкомпьютеров, соответствующие технологий и средства программирования для них. В учебный курс также включены начальные сведения об исчислении взаимодействующих систем Робина Милнера. Предусматривается получение теоретических знаний и практических навыков по организации кластерных вычислений.

4. Перечень разделов курса.

Тема 1. Основные понятие о высокопроизводительных вычислениях.

Параллельные компьютеры и супер-ЭВМ Важность высокопроизводительных вычислений Методы увеличения производительности История высокопроизводительных суперкомпьютеров

Две модели программирования: последовательная и параллельная. Две парадигмы параллельного программирования. Параллелизм данных. Параллелизм задач

Тема 2. Архитектура суперкомпьютеров.

Классификация вычислительных систем Флинна. SISD компьютеры. SIMD компьютеры. MISD компьютеры. MIMD компьютеры. Классификация многопроцессорных вычислительных систем. Основные концепции архитектуры высокопроизводительных вычислительных систем. Конвейер. Суперскалярные процессоры. Векторная обработка данных. Процессоры для параллельных компьютеров. Оперативная память. Чередуемая память. Разделяемая память. Распределенная память. Связь между элементами параллельных вычислительных систем. Симметричные мультипроцессорные системы. Векторно-конвейерные суперкомпьютеры. Кластеры рабочих станций. Архитектура конкретных вычислительных систем. Метакомпьютинг и GRID-технологии Облачные вычисления.

Тема 3. Оценка высокопроизводительных систем.

Численный эксперимент и параллельная форма алгоритма. Издержки и выигрыш при реализации параллельных и векторных вычислений. Трудовые затраты на распараллеливание или векторизацию программы. Способы векторизации и распараллеливания программ. Схемы параллельного выполнения алгоритма. Показатели эффективности параллельного алгоритма. Оценка достижимого параллелизма. Предельное быстроедействие векторных программ. Дополнительные затраты на организацию векторных вычислений во время работы программы. Закон Амдала. Тест Linpack.

Тема 4. Современные технологии высокопроизводительных вычислений

Рейтинг суперкомпьютеров Top500. Рейтинг для стран СНГ Top50. Примеры применения суперкомпьютеров в России. Задачи, решаемые методами распараллеливания. Обработка массивов. Одномерные массивы. Двумерные массивы. Вычисления в узлах сеток и решеток. Инженерные и научные задачи. Алгоритмы для высокопроизводительных вычислений. Решение систем дифференциальных уравнений. Сортировка и поиск. Производство суперкомпьютеров в России. Суперкомпьютеры фирмы IBM.

Суперкомпьютеры фирмы Cray.

Тема 5. Программирование для высокопроизводительных вычислений

Классы задач, которые можно эффективно векторизовать и распараллелить. Две парадигмы программирования. Методология проектирования параллельных алгоритмов. Различие и сходство между распараллеливанием и векторизацией программ. Сходство алгоритмов - параллелизм данных. Различие алгоритмов - параллелизм действий. Декомпозиция для выделения параллелизма. Три части программы - параллельная, последовательная и обмен данными. Синхронизация процессов, равномерность загрузки процессов. Средства распараллеливания в трансляторах и параллельные библиотеки. Применение разных языков программирования. Векторные ЭВМ и векторные программы. Две части программ - скалярная и векторная. Ограниченное число векторных регистров Ограничения на используемые операторы в векторизуемых циклах. Использование векторных операций и функций в языках программирования. Параллельные ЭВМ и параллельные программы. Концепция передачи сообщений. Передача сообщений.

Тема 6. Параллельное программирование на основе MPI

Преимущества программирования на MPI. Основные понятия и определения. Базовые функции MPI. Пример программы на MPI. Коллективные операции передачи данных.

Тема 7. Программирование с параллельными данными

Концепция параллельных данных. Операции с параллельными данными. Технология OpenMP.

Тема 8. Исчисление взаимодействующих систем

Исчисление взаимодействующих систем и высокопроизводительные вычисления. Математические конструкции исчисления Робина Милнера. Поведение процессов. Синхронизация процессов. Комбинирование процессов. Формальное определение исчисления Робина Милнера. Перспективы практического применения.

5. Тематический план курса.

Распределение часов курса по темам и видам работ представлено в таблице 1

Таблица 1

№ п/п	Наименование тем и разделов	Лекции	Лаб. практ	Всего
1	Основные понятия о высокопроизводительных вычислениях	2		2
2	Архитектура суперкомпьютеров для высокопроизводительных вычислений	4	8	12
3	Оценка высокопроизводительных систем	2	2	4
4	Современные технологии высокопроизводительных вычислений	6		6
5	Программирование для высокопроизводительных вычислений	6	12	16
6	Параллельное программирование на основе MPI.	6	12	20
7	Программирования с параллельными данными	4		4
8	Исчисление взаимодействующих систем	4		4
	Итого	34	34	68

6. Литература и Web-источники

Основная литература

1. *Богачев К. Ю.* Основы параллельного программирования / К. Ю. Богачев. – М. : Бином, 2010. – 344 с.
2. *Воеводин В. В.* Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб. : БХВ–Петербург, 2004. – 608 с.
3. *Гергель В. П.* Теория и практика параллельных вычислений / В. П. Гергель. – М. : Бином, 2007. – 424 с.
4. *Milner R.* Calculus of Communicating Systems, Lecture Notes in Computer Science № 92 / R. Milner. – NY : Springer Verlag, 1982. – 260 с.

Дополнительная литература

5. *Антонов А. С.* Параллельное программирование с использованием технологии MPI: учеб. пособие / А. С. Антонов. – М. : Изд–во МГУ, 2004. – 71 с.
6. *Антонов А. С.* Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: учеб. пособие / А. С. Антонов. – М. : Изд–во МГУ, 2009. – 77 с.
7. *Воеводин Вл. В.* Вычислительное дело и кластерные системы / Вл. В. Воеводин С. А. Жуматий. – М. : Изд–во МГУ, 2007. – 150 с.
8. *Демьянович Ю. К.* Теория распараллеливания и синхронизация: учеб. пособие / Ю. К. Демьянович, Т. О. Евдокимова. – СПб. : Изд–во СПбГУ, 2005. – 108 с.
9. *Лацис А. О.* Параллельная обработка данных: учеб. пособие / А. О. Лацис. — М. : Академия, 2010. – 336 с.
10. *Левин М. П.* Параллельное программирование с использованием OpenMP / М. П. Левин. – М. : Бином, 2008. – 120 с.
11. *Лупин С. А.* Технологии параллельного программирования / С. А. Лупин, М. А. Посыпкин. – М. : Инфра–М, 2008. – 208 с.
12. *Таненбаум Э. С.* Современные операционные системы / Э. С. Таненбаум. – М. : Питер, 2010. – 1115 с.