

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»  
МФТИ(ГУ)  
Кафедра «Математические основы управления»**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Проректор по учебной работе**

\_\_\_\_\_ **О.А.Горшков**  
«\_\_» \_\_\_\_\_ **2012 г.**

**РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА**

**по дисциплине: Системы параллельного программирования  
по направлению: 010900 «Прикладные математика и физика»  
профили подготовки: Математическое моделирование, вычислительные математика и физика; компьютерные технологии и интеллектуальный анализ данных  
кафедра системного программирования**

**курс: 1 (магистратура)**

**семестры: осенний**

**диф. зачет 1 семестр**

**экзамен нет**

**Трудоёмкость в зач. ед.: вариативная часть – 2 зач. ед.;**

**в т.ч.:**

**лекции: вариативная часть – 34 час.,**

**практические (семинарские) занятия: нет,**

**лабораторные занятия: 17 час.**

**мастер-классы, индивид. и групповые консультации: нет**

**самостоятельная работа: вариативная часть – 21 час.**

**курсовые работы: нет**

**подготовка к экзамену: нет**

**ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ 51**

**Программу составил: к.ф.-м.н., Аветисян А.И.**

**Программа обсуждена на заседании кафедры**

**« 15 » \_\_\_\_\_ июня \_\_\_\_\_ 2012 г.**

**Заведующий кафедрой**

**академик Иванников В. П.**

**Программа обсуждена и одобрена на методической комиссии факультета**

**" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2012 г.**

**Председатель методической комиссии ФУПМ**

**чл.-корр. РАН**

**Ю.А.Флеров**

## ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ

<b>Вариативная часть, в т.ч.:</b>	__2__ зач. ед.
Лекции	__34__ часов
Практические занятия	__нет__ часов
Лабораторные работы	__17__ часов
Индивидуальные занятия с преподавателем	__нет__ часов
Самостоятельные занятия	__21__ часов
<b>Итоговая аттестация</b>	<b>Диф. зачет – 9 семестр, экзамен – нет.</b>
<b>ВСЕГО</b>	<b>2 зач. ед. 72 часов</b>

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

*Цель курса* – Целью курса является формирование у студентов теоретических знаний и навыков разработки и отладки параллельных программ для различных современных архитектур.

*Задачами данного курса являются:*

- освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов и моделей) в области параллельного программирования;
- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков в области параллельного программирования;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных разработок в области параллельного программирования.

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП МАГИСТРАТУРЫ

*Дисциплина Системы параллельного программирования* \_ включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативным части цикла \_Б.2\_ кода УЦ ООП.

*Дисциплина Системы параллельного программирования* базируется на базовой части цикла Б.2 курса 1.

## КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

*Освоение дисциплины Системы параллельного программирования направлено на формирование следующих общекультурных и общепрофессиональных интегральных компетенций магистра:*

### *а) общекультурные (ОК):*

- способность анализировать научные проблемы и физические процессы, использовать на практике фундаментальные знания, полученные в области естественных и гуманитарных наук (ОК-1);
- способность осваивать новые проблематику, терминологию, методологию и овладевать научными знаниями, владеть навыками самостоятельного обучения (ОК-2);
- способность логически точно, аргументировано и ясно формулировать свою точку зрения, владеть навыками научной и общекультурной дискуссией (ОК-3);
- готовность к творческому взаимодействию с коллегами по работе и научным коллективом, способность и умение выстраивать межличностное взаимодействие, соблюдая уважение к товарищам и проявляя терпимость к иным точкам зрения (ОК-4);

### *б) профессиональные (ПК):*

- способность применять в своей профессиональной деятельности знания, полученные при изучении основ информатики и математики (ПК-1);
- способность понимать сущность задач, поставленных в ходе профессиональной деятельности, использовать соответствующий физико-математический аппарат для их описания и решения (ПК-3);
- способность использовать знания в области физических и математических дисциплин для дальнейшего освоения дисциплин в соответствии с профилем подготовки (ПК-4);
- способность работать с современным программным обеспечением, приборами и установками в избранной области (ПК-5);
- способность представлять результаты собственной деятельности с использованием современных средств, ориентируясь на потребности аудитории, в том числе в форме отчетов, презентаций, докладов (ПК-6);
- способность выполнения проектов и заданий по тематике разрабатываемой научной проблемы (ПК-7);
- способность применять теорию и методы математики и информатики для построения качественных и количественных моделей (ПК-8).

## 3. КОНКРЕТНЫЕ ЗНАНИЯ, УМЕНИЯ И НАВЫКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**В результате освоения дисциплины «Системы параллельного программирования» обучающийся должен:**

### **1. Знать:**

- фундаментальные понятия и основные законы параллельного программирования;
- современные проблемы соответствующих разделов системного программирования;
- основные трудности параллельного программирования, причины их возникновения и пути их преодоления;
- основные свойства соответствующего системного программного обеспечения;
- классы параллельных архитектур и особенности разработки параллельных программ для этих классов.

### **2. Уметь:**

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для разработки эффективных параллельных программ;

- оценивать корректность программы, ее масштабируемость;
- самостоятельно проектировать, реализовывать, отлаживать и сопровождать высокоэффективные параллельные программы.

### 3. Владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач параллельного программирования ( в том числе, сложных);
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов параллельного программирования;

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Структура дисциплины

#### Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам

№ темы и название	Количество часов
<b>1. Аппаратура</b>	6
<b>2. Модели параллельного программирования</b>	4
<b>3. Параллельное программирование в потоках</b>	24
<b>4. Параллельное программирование в процессах</b>	24
<b>5. Параллельное программирование с использованием ускорителей</b>	8
<b>6. Методы и средства отладки и настройки параллельных программ (обзор)</b>	6
<b>ВСЕГО (зач. ед.(часов))</b>	<b>72 (2 зач.ед.)</b>

### ВИД ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИИ:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	<b>Аппаратура</b>	4
2	<b>Модели параллельного программирования</b>	2
3	<b>Параллельное программирование в потоках</b>	10
4	<b>Параллельное программирование в процессах</b>	10
5	<b>Параллельное программирование с использованием ускорителей</b>	4
6	<b>Методы и средства отладки и настройки параллельных программ (обзор)</b>	4
<b>ВСЕГО (часов (зач. ед.))</b>		<b>34 час (1 зач.ед.)</b>

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Лабораторная работа №1. Разработка параллельной программы для многоядерного процессора с использованием компилятора GCC (включая реализацию прагм OpenMP).	8
2	Лабораторная работа №2. Разработка параллельной программы для кластера с использованием компилятора GCC и библиотеки MPI.	9
ВСЕГО (часов (зач. ед.))		17 час (1 зач.ед.)

## ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Самостоятельное изучение материала	10 час.
2	Подготовка к сдаче лабораторных работ	11 час.
3	Подготовка к дифференцированному зачету и экзамену	1 зач.ед.
ВСЕГО (часов (зач. единиц))		21 час. + 1 зач.ед.

## Содержание дисциплины

№ п/п	Название модулей	Разделы и темы лекционных занятий	Содержание	Объем	
				Аудиторная работа (зачетные единицы/часы)	Самостоятельная работа (зачетные единицы/часы)
1	<b>Модели параллельного программирования</b>	<b>Аппаратура.</b> Мультипроцессорные системы с общей памятью	Параллельность на всех уровнях: на уровне команд, на уровне потоков, на уровне процессов. Синхронная и асинхронная параллельность. Мультипроцессорные системы с общей памятью, в том числе особенности многоядерных процессоров. Общая архитектура и подходы к параллельному программированию. Проблемы, возникающие при организации доступа к общим ресурсам.	2	1
		<b>Аппаратура.</b> Системы с распределен-	Массивно-параллельные системы с распределенной памятью (кластеры, суперкомпью-	2	1

		ной памятью. Ускорители.	теры). Высокопроизводительные вычислительные системы с использованием ускорителей.		
2		<b>Модели параллельного программирования</b>	Характеристики параллельной программы: ускорение, масштабируемость, эффективность. Формулы Амдаля и Густафсона. Проблемы разработки и внедрения высокоуровневых языков. Программирование в потоках (модель OpenMP). Механизмы управления доступом к критическим ресурсам: активное ожидание, семафоры, мониторы. Программирование в процессах (модель MPI). Программирование на специализированных процессорах. Модель CUDA (и OpenCL).	2	2
3	<b>Параллельное программирование в потоках.</b>	Библиотека Pthreads	Библиотека Pthreads: управление потоками, управление мьютексами, управление условными переменными.	2	1
		Библиотека OpenMP:	Библиотека OpenMP: модель программирования, синтаксис, понятие параллельной области и режима ее выполнения. Директивы OpenMP. Параллельные циклы for/DO. Параметры директив. Директивы OpenMP. Параллельные секции, директива single. Параметры директив. Системные переменные и системные подпрограммы времени выполнения библиотеки OpenMP. Синхронизационные конструкции OpenMP: critical, atomic, barrier, master, ordered, flush. Ошибки, возникающие при программировании с общей памятью: состязание и взаимоблокировка. Приватизация.	8	5
3	<b>Параллельное программирование в процессах.</b>	Основные понятия библиотеки MPI	Программирование в терминах обмена сообщениями. Основные понятия библиотеки MPI: инициализация и выход, понятие коммуникатора, сообщение. Блокирующие коммуникации точка-точка: функции отправки и приема. Неблоки-	2	1

			рующие коммуникации точка-точка: функции отправки и приема, подпрограммы ожидания/проверки.		
		Параллельное программирование с использованием библиотеки MPI	Типы данных MPI (базовые и производные). Соответствие типов данных MPI и типов данных языков C и Fortran. Конструирование производных типов: непрерывно размещенный, векторный, структурный. Коллективные операции распределения данных в MPI: MPI_Bcast, MPI_Scatter, MPI_Gather, MPI_Allgather, MPI_Alltoall. Операции глобальной редукции: <b>minloc</b> и <b>maxloc</b> ; определенные пользователем. Односторонние коммуникации.	8	4
4	<b>Параллельное программирование с использованием ускорителей.</b>	<b>Параллельное программирование с использованием ускорителей.</b>	Возможности технологии программирования Cuda. Сравнительный анализ технологии Cuda и стандартов OpenCL, OpenACC.	4	4
5	Отладка и настройка параллельных программ (обзор)	Методы и средства отладки и настройки	Обзор современных методов и средств отладки и настройки параллельных программ	4	2

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

№ п/п	Вид занятия	Форма проведения занятий	Цель
1	лекция	изложение теоретического материала	получение теоретических знаний по дисциплине
2	лекция	изложение теоретического материала с помощью презентаций	повышение степени понимания материала
3	Лабораторная работа	Самостоятельная разработка и отладка простых параллельных приложений для различных классов архитектур	осознание связей между теорией и практикой, а также методов решения задач параллельного программирования
4	самостоятельная работа студента	подготовка к выполнению лабораторных работ, подготовка к зачету с оценкой	повышение степени понимания материала, освоение понятий, концепций, подходов, методов параллельного программирования

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

### Контрольно-измерительные материалы

- 1) Комплект компьютерных заданий для выполнения лабораторных работ.
- 2) **Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в 1-ом семестре.**

1. Особенности современных параллельных архитектур. Виды параллельности. Модели параллельного программирования. Характеристики параллельной программы: ускорение, масштабируемость, эффективность.
2. Мультипроцессорные системы с общей памятью. Общая архитектура и подходы к параллельному программированию. Проблемы, возникающие при организации доступа к общим ресурсам.
3. Механизмы управления доступом к критическим ресурсам: активное ожидание, семафоры, мониторы.
4. Библиотека Pthreads: управление потоками, управление мютексами, управление условными переменными.
5. Библиотека OpenMP: модель программирования, синтаксис, понятие параллельной области и режима ее выполнения.
6. Директивы OpenMP. Параллельные циклы for/DO. Параметры директив.
7. Директивы OpenMP. Параллельные секции, директива single. Параметры директив.
8. Системные переменные и системные подпрограммы времени выполнения библиотеки OpenMP.
9. Распараллеливание циклов. Зависимости по данным.
10. Синхронизационные конструкции OpenMP: critical, atomic, barrier, master, ordered, flush.
11. Ошибки, возникающие при программировании с общей памятью: состязание и взаимоблокировка.
12. Кластерные высокопроизводительные вычислительные системы: требования к архитектуре. Коммуникационное оборудование и аппаратно-программные платформы.
13. Модель вычислительной системы с распределенной памятью – LogGP.
14. Программирование в терминах обмена сообщениями. Основные понятия библиотеки MPI: инициализация и выход, понятие коммуникатора, сообщение.
15. Блокирующие коммуникации точка-точка: функции отправки и приема.
16. Неблокирующие коммуникации точка-точка: функции отправки и приема, подпрограммы ожидания/проверки.
17. Типы данных MPI (базовые и производные). Соответствие типов данных MPI и типов данных языков C и Fortran. Конструирование производных типов: непрерывно размещенный, векторный, структурный.
18. Коллективные операции распределения данных в MPI: MPI\_Bcast, MPI\_Scatter, MPI\_Gather, MPI\_Allgather, MPI\_Alltoall. Операции глобальной редукции: **minloc** и **maxloc**; определенные пользователем.
19. Односторонние коммуникации.
20. Основные конструкции технологии Cuda.
21. Сравнительный анализ стандартов OpenCL и OpenACC.
22. Средства отладки и настройки параллельных программ.

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:** компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система)

**Необходимое программное обеспечение:** компилятор GCC, поддерживающий прагмы OpenMP, OpenMPI 1.4.5.

**Обеспечение самостоятельной работы:** Доступ к высокопроизводительным серверам и кластерам через технологическую платформу UniHUB <http://www.unihub.ru>

### Обеспечение образовательного процесса лабораторным оборудованием

Тема	Название лабораторной работы	Часы
Самостоятельная разработка и отладка простых параллельных приложений для различных классов архитектур. Параллельное программирование в потоках.	<b>Лабораторная работа №1.</b> Разработка параллельной программы для многоядерного процессора: используется компилятор GCC (включая реализацию прагм OpenMP)	8
Самостоятельная разработка и отладка простых параллельных приложений для различных классов архитектур. Параллельное программирование в процессах.	<b>Лабораторная работа №2.</b> Разработка параллельной программы для кластера: используется компилятор GCC и библиотека MPI.	9

**8. НАИМЕНОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ТЕМ КУРСОВЫХ РАБОТ** –учебным планом НЕ ПРЕДУСМОТРЕНЫ

**9. ТЕМАТИКА И ФОРМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ** –учебным планом НЕ ПРЕДУСМОТРЕНЫ

**10. ТЕМАТИКА ИТОГОВЫХ РАБОТ** –учебным планом НЕ ПРЕДУСМОТРЕНЫ

**11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### Основная литература.

1. *Ananth Grama, Anshul Gupta, George Karypis, Vipin Kumar.* Introduction to Parallel Computing, 2nd Edition. Addison-Wesley, Hardcover, 2nd edition, Published January 2003, 636 pages, int\_par\_comp2, ISBN 0201648652.

#### Дополнительная литература.

1. *David E. Culler, Jaswinder Pal Singh, Anoop Gupta.* Parallel Computer Architecture: A Hardware/Software Approach. Morgan Kaufmann Publishers, 1998, 1025 pages, ISBN 1558603433.

2. Peter S. Pacheco. PARALLEL programming with MPI. Morgan Kaufmann Publishers, 1997, 420 pages, ISBN-13: 978-1-55860-339-4.

#### Пособия и методические указания.

1. О.И. Самоваров, А.И. Аветисян, А.В. Николаев, А.О. Гетьман. Технология использования вычислительной кластерной системы МФТИ-60 для численного моделирования.

Программу составил: к.ф.-м.н., доцент Аветисян А.И.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.