К ПРОБЛЕМЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМ ВЫЧИСЛЕНИЯМ

А.Н.Тихонов, А.К.Скуратов, В.Г.Домрачев, И.В.Ретинская

ГНИИ ИТТ «Информика»

Современная наука и техника не могут обойтись без суперкомпьютерных технологий. Только с их использованием можно оставаться в ряду развитых в технологическом отношении стран, поскольку без параллельных вычислений нет альтернативы в возможности получения значимых для человечества новых научных и технических результатов. Лишь на их основе возможны серьезные достижения в космонавтике и авиации, биологии и медицине, обеспечение экологической безопасности, создание новых материалов и изделий микроэлектроники и многое другое.

Поэтому не случайно США, Япония и другие индустриальные страны мира уделяют развитию параллельных вычислений приоритетное внимание, считая это важнейшей государственной проблемой. Ее решение ведется в нескольких аспектах – создание усилиями многих фирм развитого парка высокопроизводительных суперкомпьютеров и программного обеспечения, организация инфраструктуры удаленного быстродействующего доступа. Каждые полтора года происходит утраивание производительности суперкомпьютеров, среднее время жизни одного суперкомпьютера составляет всего четыре года.

В нашей стране развитию параллельных вычислений также уделяется большое внимание. Однако необходимость привлечения для этого огромных финансовых ресурсов заставляет специалистов идти несколько иными путями в решении этой проблемы. Наряду с традиционным вариантом, когда ставка делается на суперкомпьютеры, в том числе и отечественной разработки, например МВС 1000, создаются кластерные системы на основе персональных компьютеров и рабочих станций. Это направление становится особенно привлекательным из-за меньших финансовых затрат, но имеет большие особенности в плане ограничения универсальности создаваемых вычислительных ресурсов. Здесь важное значение приобретает необходимость обеспечения удаленного доступа к ресурсам, поскольку это не только увеличивает число пользователей, но и создает большие возможности для кооперации.

В связи с этим, наряду с организацией Межведомственного суперкомпьютерного центра и развитием базы суперкомпьютеров в академических научно-исследовательских институтах, огромное значение приобрело созда-

ние сети центров высокопроизводительных вычислений в рамках ФЦП «Интеграция». Каждый центр строится на принципе кооперации университетов и институтов РАН в каком-либо регионе страны. На первых этапах организации центров основное внимание было уделено созданию вычислительных мощностей и сетевых связей. Это процесс сложный и долголетний. Фактически закладывается лишь основа таких центров. Далее они должны постоянно совершенствоваться, поскольку как вычислительные среды, так и средства телекоммуникаций развиваются энергичными темпами. Более того, необходимо и расширение географии центров.

В сложившейся ситуации, когда существует огромное число требующих решения фундаментальных и прикладных научных задач и идет весьма энергичное (по нашим меркам и при наших масштабах финансирования) создание вычислительных и телекоммуникационных ресурсов, остро встала проблема подготовки кадров для проведения параллельных вычислений. Прежде чем перейти к сути проблемы, рассмотрим кратко этапы ее постановки и решения.

В явном виде проблема была наиболее зримо инициирована на Международной научно-методической конференции «Телематика-2000» 29 мая – 1 июня 2000 года. Здесь были учтены предложения ряда вузов и НИИ РАН, опыт передовых университетов, уже занимающихся подготовкой таких специалистов в рамках различных специальностей, решение Координационного совета по использованию высокопроизводительных вычислений и информационных ресурсов в сфере образования, предложения Государственного НИИ информационных технологий и телекоммуникаций «Информика».

Новый импульс необходимости решения проблемы был дан на рабочем совещании «Использование супер-ЭВМ в процессе интеграции высшего образования и научных исследований», проведенном 12-18 июня 2000 года в г.Ростове-на-Дону ГНИИ ИТТ «Информика» и Ростовским государственным университетом.

В июле 2000 года распоряжением заместителя министра образования РФ Б.А.Виноградова была создана экспертная комиссия по подготовке специалистов в области высокопроизводительных вычислений под председательством директора ГНИИ ИТТ «Информика» А.Н.Тихонова.

Для конструктивной работы экспертной комиссии была организована рабочая группа, включающая ведущих специалистов по проблеме из разных городов страны, под председательством академика А.С.Бугаева. Работа комиссии и рабочей группы проходила в ГНИИ ИТТ «Информика».

Принципом работы комиссии была гласность и стремление привлечь к участию все заинтересованные вузы и НИИ РАН. Был составлен перечень вопросов по существу проблемы подготовки специалистов по высокопроизво-

дительным вычислениям, который был разослан всем участникам работ в области параллельных вычислений по ФЦП «Интеграция», а также по адресам проявляющих в этом направлении активность университетов и НИИ. Одновременно информация была выставлена на сервере ГНИИ ИТТ «Информика» с приглашением проявлять инициативу всем желающим.

Поступившие предложения были проанализированы, обобщены и в сконцентрированном виде доложены научно-техническому совещанию «Создание телекоммуникационной среды высокопроизводительных технологий в регионах России: состояние, проблемы» (и одновременно Координационному совету по использованию высокопроизводительных вычислений и информационных ресурсов в сфере образования под председательством заместителя министра образования РФ Б.А.Виноградова), которое состоялось 24-26 сентября 2000 года в Уфимском государственном авиационном техническом университете (докладчик В.Г.Домрачев). В принятом решении рекомендовано следовать стратегии подготовки специалистов по параллельным вычислениям в рамках новых специализаций пока без открытия дополнительных специальностей.

На заключительном этапе работы как интегральный результат рассмотрения всех представленных материалов и высказанных предложений была конкретизирована стратегия подготовки специалистов по высокопроизводительным вычислениям и определены конкретные специализации, в рамках которых целесообразно готовить специалистов. Результаты конкретизации были еще раз апробированы при проведении круглого стола на тему: «Подготовка специалистов по высокопроизводительным вычислениям» (ведущие А.К.Скуратов и И.В.Ретинская) на Всероссийской научной конференции «Высокопроизводительные вычисления и их приложения» в Черноголовке 30 октября 2000 года.

На последнем этапе работы необходимо особо отметить конструктивное участие академиков В.П.Мясникова, А.С.Бугаева, специалистов Московского, Санкт-Петербургского, Пензенского, Уральского государственных университетов, Санкт-Петербургского института высокопроизводительных вычислений и баз данных, Уфимского государственного авиационного технического университета, Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (при участии кафедры в Межведомственном суперкомпьютерном центре) и Государственного научно-исследовательского института информационных технологий и телекоммуникаций «Информика».

Основные положения стратегии подготовки специалистов в области высокопроизводительных вычислений сводятся к следующему:

- отдавая дань уважения тем университетам, которые уже ведут подготовку вышеназванных специалистов в соответствии с потребностями

своего региона и возможностями преподавательского корпуса в рамках удобных им специальностей, необходимо введение в такую подготовку организационных начал, построенных на коллективном мнении ведущих специалистов страны;

- учитывая, что в настоящее время потребности в специалистах по высокопроизводительным вычислениям не носят массового характера, но одновременно прослеживается тенденция значительного расширения объема таких вычислений, например за счет построения кластеров, организационные начала на текущий момент должны носить рекомендательный характер; после апробации предложений на практике и прояснения ситуации с потребностью в специалистах их статус должен быть повышен;
- подготовка специалистов должна быть организована в следующих направлениях – вузовское (университетское) образование, обучение в аспирантуре, повышение квалификации дипломированных и недипломированных специалистов, то есть охватывать общеизвестные этапы появления и функционирования специалиста;
- подготовку специалистов по высокопроизводительным вычислениям – выпускников вузов целесообразно осуществлять поэтапно; в настоящее время – в рамках существующих специальностей с введением новых специализаций; на втором этапе – как в рамках новых введенных специальностей, так и в рамках специализаций;
- должна быть организована подготовка и переподготовка с обязательной аттестацией преподавателей по дисциплинам высокопроизводительных вычислений с тем, чтобы исключить обучение на непрофессиональном уровне;
- необходимо иметь в стране координационно-аналитический центр по основным аспектам подготовки специалистов в области высокопроизводительных вычислений, обладающий всей информацией по проблеме, разрабатывающий предложения по ее решению и выполняющий различные текущие функции, например по сбору и предоставлению учебно-методических материалов; центр должен оптимизировать интересы НИИ РАН и университетов и не должен быть в структуре какого-либо конкретного вуза;
- целесообразно открытие кафедр по высокопроизводительным вычислениям в ограниченном числе ведущих университетов страны;
- проблема подготовки специалистов по высокопроизводительным вычислениям должна регулярно обсуждаться на конференциях и совещаниях в силу динамичности развития ситуации; необходимы изучение и учет зарубежного опыта подготовки таких специалистов.

Ниже излагаются практические пути подготовки специалистов по высокопроизводительным вычислениям в настоящее время.

В рамках вузовского обучения целесообразно вести подготовку специалистов по трем специализациям:

- специализация «Высокопроизводительные вычислительные технологии и системы» в специальности 220100 «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети» направления 654600 «Информатика и вычислительная техника»; готовящиеся специалисты ориентируются на знания вычислительных средств и телекоммуникаций для параллельных вычислений;
- специализация «Математическое и программное обеспечение высокопроизводительных вычислительных систем» специальности 010200 «Прикладная математика и информатика»; будущие специалисты ориентируются на особенности математического и программного обеспечения параллельных вычислений;
- специализация «Вычислительные высокопроизводительные системы и параллельные вычисления»; эта специализация может находиться в рамках различных специальностей и ориентирована на подготовку специалистов по этим специальностям со знаниями в области алгоритмизации и программирования с акцентом на параллельные вычисления.

По первой специализации «Высокопроизводительные вычислительные технологии и системы» образовательным стандартом и учебным планом на специальность отведено 510 часов. Предлагается следующий учебный план специализации .

№ п/п	Наименование дисциплин	Всего часов			ПРИМЕРНОЕ распределение по семестрам (указать крестиком)										Форма итогового контроля (экзамен / зачет)
		Трудоемкость	Из них												
			Аудиторные	Самостоятельная работа											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Аппаратные средства высокопроизводительных вычислительных систем	170	136	34									х		Экзамен
2	Параллельное программирование в многопроцессорных вычислительных системах	170	136	34									х		Экзамен
3	Технологии и языки параллельного программирования.	170	136	34									х		Экзамен

Ниже приводятся предлагаемые рабочие программы дисциплин специализации.

Аппаратные средства высокопроизводительных вычислительных систем

Аудиторные занятия – 136 часов, самостоятельная работа – 34 часа.
Форма итогового контроля – экзамен.

Введение. Способы оценки производительности ВС.

Архитектура вычислительных систем. Создание многопроцессорных вычислительных систем (МВС) как основной путь повышения производительности ВС.

Проблемы выполнения сети связи процессоров в МВС. Организация когерентности многоуровневой иерархической памяти. Принципы построения коммуникационных сред. Примеры построения коммуникационных сред на основе масштабируемого когерентного интерфейса SCI, коммуникационные среды MYRINET, Raceway, коннектор шин PCI, коммуникационные среды на базе транспьютероподобных процессоров, телекоммуникационные технологии.

Математические основы, способы организации и особенности проектирования высокопроизводительных процессоров: ассоциативные, конвейерные, матричные, клеточные и комбинаторные процессоры, однородные и неоднородные процессорные матрицы, коммуникационные процессоры, процессоры баз данных, потоковые процессоры, нейронные процессоры и процессоры с многозначной (нечеткой) логикой.

Коммутаторы для МВС. Простые коммутаторы: алгоритмы арбитража, особенности реализации шин. Составные коммутаторы: коммутатор Клоза, Баньян-сети. Распределенные составные коммутаторы, графы межмодульных связей Convex Exemplar SPP1000, МВС-100 и МВС-1000.

Кластеры и массово-параллельные системы различных производителей. Требования к компонентам МВС. Примеры реализации МВС:

- SMP Power Challenge фирмы Silicon Graphics, семейство SUN Ultra Enterprise фирмы SUN, семейство массово-параллельных ВС МВС-100 и МВС-1000;

- ВС с распределенной памятью фирм SEQUENT и DATA GENERAL, Современные кластеры DIGITAL. Современные суперкомпьютеры – Cray T3E-900. Надежность и отказоустойчивость МВС.

Параллельное программирование в многопроцессорных вычислительных системах

Аудиторные занятия – 136 часов, самостоятельная работа – 34 часа.
Форма итогового контроля – экзамен.

Развитие параллельного программирования.

Организация параллельных вычислений. Масштабирование и переносимость: проблемы перехода от последовательных программ к параллельным. Проблемы организации параллельных вычислений.

Параллельные и распределенные базы данных. Мотивация создания параллельных и распределенных баз данных. Виды параллельной обработки в базах данных. Параллельное выполнение операций.

Стандарт интерфейса передачи сообщений MPI. Базовые понятия, управление группой. Процедуры парных межпроцессорных обменов. Коллективные взаимодействия процессов.

Стандарт Open MP. Основные положения стандарта, управляющие структуры, синхронизация, библиотека времени исполнения.

Операционная система КОСМОС как пример системы для параллельного программирования.

Технологии и языки параллельного программирования

Аудиторные занятия – 136 часов, самостоятельная работа – 34 часа.

Форма итогового контроля – экзамен.

Проблема распараллеливания вычислительных алгоритмов.

Распределение ресурсов многопроцессорной ВС различным задачам.

Программные средства порождения процессов. Процессы и критические секции. Синхронизация процессов и совместное использование ресурсов.

Синхронизирующие примитивы. Синхронизация процессов посредством семафоров. Условные критические интервалы.

Мониторы. Работа в режиме удаленного доступа.

Дедлоки и защита от них.

По второй специализации «Математическое и программное обеспечение высокопроизводительных вычислительных систем» образовательным стандартом и учебным планом отведено 1428 часов. Предлагается следующий учебный план специализации.

№ п/п	Наименование дисциплин	Всего часов			П Р И М Е Р Н О Е распределение по семестрам (указать крестиком)										Форма итогового контроля (экзамен / зачет)
		Трудоемкость	Из них												
			Аудиторные	Самостоятельная работа											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Архитектуры высокопроизводительных компьютерных систем	204	120	84					x	x					Экзамен
2	Алгоритмы и языки параллельного и векторного программирования	204	120	84					x	x					Экзамен, курсовая работа
3	Операционные системы и системное программирование для суперкомпьютеров	204	120	84						x	x				Экзамен, курсовая работа
4	Высокопроизводительные технологии в интегрированных интеллектуальных системах	204	120	84							x				Зачет, курсовая работа
5	Средства телекоммуникации	124	72	52									x		Зачет
6	Высокопроизводительные системы управления базами данных	90	52	38									x		Зачет, курсовая работа
7	Кластерные системы	72	44	28								x			Зачет

№ п/п	Наименование дисциплин	Всего часов			ПРИМЕРНОЕ распределение по семестрам (указать крестиком)										Форма итогового контроля (экзамен / зачет)
		Трудоемкость	Из них												
			Аудиторные	Самостоятельная работа											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Архитектуры высокопроизводительных компьютерных систем	204	120	84					x	x					Экзамен
2	Алгоритмы и языки параллельного и векторного программирования	204	120	84					x	x					Экзамен, курсовая работа
3	Операционные системы и системное программирование для суперкомпьютеров	204	120	84						x	x				Экзамен, курсовая работа
8	Средства мультимедиа, научной визуализации и виртуальной реальности	102	60	42								x			Зачет, курсовая работа
9	Прикладное программирование в высокопроизводительных вычислительных системах	156	90	66								x	x		Экзамен, курсовая работа
10	Планирование вычислительного эксперимента на суперкомпьютерах	68	42	26									x		Зачет, курсовая работа

№ п/п	Наименование дисциплин	Всего часов			ПРИМЕРНОЕ распределение по семестрам (указать крестиком)										Форма итогового контроля (экзамен / зачет)
		Трудоемкость	Из них												
			Аудиторные	Самостоятельная работа											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Архитектуры высокопроизводительных компьютерных систем	204	120	84					x	x					Экзамен
2	Алгоритмы и языки параллельного и векторного программирования	204	120	84					x	x					Экзамен, курсовая работа
3	Операционные системы и системное программирование для суперкомпьютеров	204	120	84						x	x				Экзамен, курсовая работа
		1428													

Предлагаемые рабочие программы дисциплин этой специализации приводятся ниже.

Архитектуры высокопроизводительных компьютерных систем

Аудиторные занятия – 120 часов, самостоятельная работа – 84 часа.

Модель компьютера фон Неймана. Ограничения на производительность вычислительных систем, необходимость параллелизма.

Классификации компьютерных архитектур, признаки классификации. Архитектуры NUMA, cc-NUMA, Numa flex, SMP, MPP, PVP и кластерных систем. Топологии MPP систем. Устройство компьютера. Взаимодействие с периферией.

Коммуникационные среды (SCI, Myrinet, Raceway, MC и др.).

Общие принципы построения параллельных систем. Параллельность внутри процессора: конвейерный способ обработки. Ускорение при параллельных вычислениях, учет времени коммуникаций, закон Амдаля.

Архитектуры процессоров: CISC и RISC процессоры, суперскалярные, конвейерные, векторные и др.

Коммутаторы вычислительных систем. SMP, массивно-параллельные, кластерные, векторные и пр. Системы различных производителей (SGI, Cray, SUN, HP/Convex, Compaq, Hitachi, Fujitsu, NEC и др.).

Надежность и производительность суперкомпьютерных систем. Система и общие принципы измерения производительности, единицы измерения производительности. Стандартные тестовые пакеты.

Компьютерные сети: принципы построения, аппаратные средства. Типы сетевых соединений, протоколы сетей. Интернет: протоколы, структура, службы. Организация единого компьютерного ресурса.

Альтернативные модели компьютеров. Нечеткие и нейропроцессоры. Нейросетевые вычислительные системы.

Алгоритмы и языки параллельного и векторного программирования

Аудиторные занятия – 120 часов, самостоятельная работа – 84 часа.

Развитие параллельного программирования. Организация эффективных параллельных вычислений. Векторизация. Парадигма векторных операций (SIMD). Эффективность векторных вычислений. Параллельные и распределенные базы данных.

Программные средства организации параллельных приложений. Стандарт интерфейса передачи сообщений MPI. Стандарт OpenMP. Парадигма программирования методом обмена сообщениями (PVM, MPI/MPICH). Системы с общей памятью, расширение MPI в системах с общей памятью, модель взаимодействующих процессов UNIX IPC. Сравнение различных программных средств.

Операционные системы и системное программирование для суперкомпьютеров

Аудиторные занятия – 120 часов, самостоятельная работа – 84 часа.

ОС как интерфейс между пользователем и аппаратными средствами. Командный и графический интерфейс.

Задачи, которые должна решать ОС (доступ к периферийным устройствам, управление одновременными процессами и т.п.).

Различие операционных систем. Однозадачные системы. Системы разделения времени. Многозадачные системы. Многопользовательские системы.

Квантование времени, понятие приоритетности процесса. Временные характеристики процесса (время CPU, пользовательское и системное время).

Реальное время. Обзор рынка операционных систем (MS-Windows, OS/2, UNIX, VAX/VMS и т.п.). Операционные системы реального времени. Требования к ОСРВ. Различие между понятиями ОС и операционной среды. Типы операционных сред (Windows 3.11, Parix, MPI, PVM и т.п.).

Операционная система UNIX (файловая система, программы-оболочки, основные команды, редакторы, X-Window и т.д.)

Системное администрирование в UNIX (работа с пользователями, резервное хранение данных, организация безопасной работы).

Администрирование сети (TCP/IP, DNS, SLIP/PPP). Использование Интернет.

Высокопроизводительные технологии в интегрированных интеллектуальных системах

Аудиторные занятия – 120 часов, самостоятельная работа – 84 часа.

Концептуальные основы разработки интегрированных интеллектуальных систем (ИС). Архитектуры и классификация. Вычислительные платформы.

Интегрированные системы знаний в ИС параллельного действия. Приобретение и формализация знаний. Модели представления знаний и механизмы вывода. Стратегия и методы поиска решений. Анализ альтернатив и принятие решений.

Принципы организации и функционирования ИС реального времени (РВ). Измерительная компонента, интеллектуальный датчик. Интеллектуальный интерфейс, когнитивная графика, средства мультимедиа и виртуальной реальности в ИС РВ.

Концепция "мягких вычислений" в ИС РВ. Нечеткий логический базис, искусственные нейронные сети и генетические алгоритмы в моделях формирования знаний и механизме логического вывода. Распознавание и прогноз поведения динамических систем.

Распознавание образов на базе высокопроизводительных платформ.

Общая концепция многоагентных систем (МАС). Реализация принципа распределенного интеллекта в МАС. Архитектура и классификация МАС. Технология мобильных агентов. Накопление и формирование знаний. Сценарии знаний, логический вывод и принятие решений. Организация кооперативной работы интеллектуальных агентов. Обучение МАС. Интеллектуальные агенты РВ.

Средства телекоммуникации

Аудиторные занятия – 72 часа, самостоятельная работа – 52 часа.

Необходимость компьютерных сетей. Коммуникационные среды (Ethernet, Apple Talk, FDDI и т.п.). Сетевые протоколы. Модель OSI. TCP/IP (четырехуровневая модель, IP-адресация, подсети, маршрутизация, DNS), NetBIOS (WINS, DHCP и т.п.).

Безопасность в компьютерных сетях (брандмауэры и т.п.).

Коммуникационные среды высокопроизводительных систем (SCI, Myrinet, ServerNet, Quadrics и др.).

Интернет. Топология сети. Программные средства. Поисковые системы.

Интеграция информационной и телекоммуникационной технологии. Парадигма программирования многоагентных систем (МАС). Принципы распределенности, открытости и кооперативной работы. Языки программирования МАС.

Организация кооперативной работы интеллектуальных агентов в среде с распределенным интеллектом. Применение МАС в работе глобальной сети Интернет, организации дистанционного обучения и т.п.

Высокопроизводительные системы управления базами данных

Аудиторные занятия – 52 часа, самостоятельная работа – 38 часов.

Высокопроизводительные системы управления базами данных – определение и характеристики. Характеристики СУБД и их значения, позволяющие отнести систему к категории высокопроизводительных систем.

Технологии, применяемые для достижения высокой производительности.

Классификация конкретных СУБД относительно принадлежности к высокопроизводительным (DB2, Oracle, ADABAS, Sybase, Informix, Raima Database Manager++, Microsoft SQL Server 95, Advantage Database Server, Adaptive Server Enterprise, Pervasive, SQL 2000, Cache' (InterSystems), Informix XPS и Oracle Parallel Server).

Необходимая аппаратная реализация сервера.

Кластерные системы

Аудиторные занятия – 44 часа, самостоятельная работа – 28 часов.

История кластерных систем. Проект Beowulf. Современный уровень развития кластерных архитектур.

Кластеры и фермы процессоров.

Принципы программирования в кластерных системах. Системы передачи сообщений, общая память.

Системы пакетной обработки (DQS, Codine, PBS, Condor, Dynamite и др.). Параллельные языки и средства программирования.

Средства мультимедиа, научной визуализации и виртуальной реальности

Аудиторные занятия – 60 часов, самостоятельная работа – 42 часа.

Парадигма мультимедийных технологий.

Основы компьютерного дизайна. Цветоделение. Визуальные эффекты компьютерной графики.

Основы компьютерной анимации. 3D MAX, Maya и другие программные средства. Стандарт OpenGL.

Роль визуализации в научных исследованиях. AVS, TechPlot. Когнитивные визуальные образы.

Аппаратные графические средства для персонального компьютера. Акселераторы, средства ввода и обработки графической информации.

Высокопроизводительные графические системы и средства виртуальной реальности. Аппаратные и программные средства (SGI Onyx2, SGI Octane, SGI O2 и др.).

WEB-технологии. Программирование Интернет-приложений. Язык Java как платформонезависимое средство создания приложений.

Прикладное программирование в высокопроизводительных вычислительных системах

Аудиторные занятия – 90 часов, самостоятельная работа – 66 часов.

Программное обеспечение для векторно-параллельных систем. Компиляторы, отладчики, профайлеры. Пакеты прикладных программ. NAG, Linpack, Eispack, IMSL и др.

Оптимизация прикладных программ. Скалярная, векторная, параллельная оптимизация. Методика оптимизации программ, программирование эффективных конструкций. Ограничения, накладываемые на оптимизацию.

Особенности применения численных методов на векторно-параллельных системах. Различные методы построения конечно-разностных схем. Проблемы устойчивости. Способы построения итерационных алгоритмов для решения существенно нелинейных дифференциальных уравнений. Методы построения расчетных сеток.

Многосеточные методы (ММ). Компоненты ММ. Применение ММ к решению нелинейных задач. Использование ММ для решения нестационарных задач. Анизотропные и параболические проблемы. Параллельные аспекты программной реализации, параллельный ММ и схемы релаксации, проблемы на грубых сетках.

Решения задач математической физики на векторно-параллельных системах. Особенности численных реализаций сложных задач математической физики.

CAD/CAM/CAE и геоинформационные системы на суперкомпьютерах. Обзор промышленных компьютерных пакетов, реализованных на векторно-параллельных системах.

Методы и средства программирования высокопроизводительных интеллектуальных систем (ИС). ИС реального времени. Инструментальные средства и языки программирования ИС. Моделирование в ИС реального времени. Прикладные ИС с параллельной архитектурой.

Планирование вычислительного эксперимента на суперкомпьютерах

Аудиторные занятия – 42 часа, самостоятельная работа – 26 часов.

Теория планирования эксперимента. Планы эксперимента, оптимальные планы, критерии оптимальности. Разные типы моделей (регрессионные, факторные и др.) и соответствующих им планов. Планирование экстремальных, отсеивающих и дискриминирующих экспериментов.

Планирование вычислительного эксперимента. Практические приемы составления оптимальных планов. Выбор наилучших условий вычислительного эксперимента, учет особенностей архитектуры вычислительной платформы. Постановка вычислительного эксперимента на гетерогенном вычислительном кластере. Распределенные вычисления. Способы и программные средства комплексирования удаленных вычислительных систем для решения конкретной задачи.

Планирование вычислительного эксперимента в интеллектуальных системах реального времени. Проверка адекватности моделей.

По третьей специализации «Вычислительные высокопроизводительные системы и параллельные вычисления» однозначный учебный план и тем более рабочие программы представить невозможно. Это связано с тем, что таких специализаций может быть много, поскольку много предметных областей и, соответственно, специальностей, и кроме того, у заказчиков специалистов разные интересы. Это достаточно емкий вопрос, требующий отдельной проработки в будущем. Видимо, нужно разные специальности объединить в группы и для каждой группы составлять свой учебный план.

В качестве удачного примера реализации такой специализации может служить приводимый ниже учебный план, действующий в Уральском государственном университете. Он соответствует взаимным интересам ИММ УрО РАН и УрГУ и отражает следующую тематику научных исследований, на которую ориентируются будущие специалисты:

- разработка теории вычислительных алгоритмов, системных и программных средств параллельных вычислительных архитектур,
- построение распараллеливающихся алгоритмов для задач конфликтного управления при дефиците информации, построение областей достижимости управляемых систем и множеств разрешимости,
- построение параллельных алгоритмов наилучшей аппроксимации функций многих переменных, разработка алгоритмов сжатия информации,
- разработка высокопроизводительных алгоритмов решения задач линейной алгебры и математического программирования,
- разработка параллельных алгоритмов и программных комплексов для решения задач высокоточной навигации и управления с использованием методов обработки изображений и анализа пространственных сцен, обработка космической информации высокого разрешения,
- анализ больших массивов данных о глобальных изменениях окружающей среды для экологического и других прогнозов,
- разработка и реализация на многопроцессорных системах программных комплексов для моделирования глобальных процессов, динамики катастрофических природных явлений.

Еще раз подчеркнем, что рекомендуемые названия, учебные планы и программы дисциплин специализаций являются рекомендательными, поскольку принятие всех решений по специализациям является компетенцией конкретного университета при условии непротиворечивости образовательному стандарту действующей специальности. Вместе с тем отметим, что представленные здесь рекомендации являются коллективным мнением ведущих специалистов страны в рассматриваемой области.

Профессиональная переподготовка научных и педагогических кадров в области высокопроизводительных вычислений характеризуется в настоящее время следующими особенностями:

- Составить один или даже несколько вариантов учебных планов переподготовки специалистов с ориентацией на параллельные вычисления и рассчитанных на весьма ограниченное время обучения практически невозможно, так как существует большое число предметных областей, обилие научных задач даже в одной предметной области, разный уровень подготовки абитуриентов, различные возможности аппаратных и программных средств и т.п.
- Возможностями профессиональной переподготовки кадров при значительном числе НИИ и вузов, имеющих отношение к параллельным вычислениям, обладают лишь немногие из них из-за ограниченной оснащенности и трудностей с педагогическими кадрами.

- Не всегда есть возможность у обучаемых на значительный срок оторваться от текущей работы, а методы и средства удаленного обучения зачастую недоступны или мало эффективны.
- Недостаточно информации о предложениях и потребностях при проведении переподготовки кадров.

В связи с этим организацию профессиональной переподготовки научных и педагогических кадров в настоящее время можно осуществить лишь с оговорками на приведенные выше обстоятельства и силами небольшого числа ведущих университетов. Для серьезного решения этой достаточно емкой научно-организационной задачи необходимы значительные усилия. При этом важной составной частью решения этой проблемной задачи может стать проработка вопроса использования технологий удаленного доступа.

В качестве иллюстрации реального осуществления профессиональной переподготовки научных и педагогических кадров в области методов высокопроизводительных вычислений и их применения в практике научных исследований может служить опыт Санкт-Петербургского государственного университета. Ниже приведены два варианта действующих учебных планов.

ВАРИАНТ 1

Категория слушателей: специалисты естественнонаучных направлений, не имеющие специальной подготовки в области программирования; преподаватели программирования и информатики для специалистов в области физики, химии, биологии.

Срок обучения: 512 часов аудиторных занятий.

Режим занятий: 2-3 раза в неделю, 12-20 учебных часов в неделю.

Учебный план

№ п/п	Наименование учебных дисциплин	Всего часов	В том числе		Форма контроля
			Лекции	Практические	
	ОБЩИЕ КУРСЫ				
1	Архитектура параллельных ЭВМ	32	32		Экзамен
2	Параллельные алгоритмы	48	48		Экзамен
3	Основы практической работы в ОС Unix	40	8	32	Зачет
4	Основы программирования	64		64	Зачет
5	Введение в средства параллельного программирования	64	52	12	Экзамен

№ п/п	Наименование учебных дисциплин	Всего часов	В том числе		Форма контроля
			Лекции	Практические	
6	Вспомогательные средства программирования для параллельных систем	32	12	20	Зачет
7	Российские и зарубежные суперкомпьютерные центры (структура и правила доступа к ресурсам)	16	12	4	Зачет
ИТОГО аудиторных занятий		296	164	132	
	КУРСЫ ПО ВЫБОРУ				
1	Программирование с использованием PVM	120	24	96	Зачет
2	Программирование в стандарте MPI	120	24	96	Зачет
3	Программирование в системе PARIX	96	16	80	Зачет
4	Параллельные расширения стандартных языков	96	16	80	Зачет
ИТОГО аудиторных занятий		432	80	352	
ВЫПУСКНАЯ РАБОТА (самостоятельно)		100			Защита на ГАК

ВАРИАНТ 2

Категория слушателей: специалисты естественнонаучных направлений – физики, химики, биологи, не имеющие специальной подготовки в области программирования.

Срок обучения: 110 аудиторных часов.

Режим занятий: 2-3 раза в неделю, 6-8 учебных часов в неделю.

Учебный план

№ п/п	Наименование учебных дисциплин	Всего часов	В том числе		Форма контроля
			Лекции	Практические	
1	Архитектура параллельных ЭВМ	8	8		Зачет
2	Основы практической работы в ОС Unix	10		10	Зачет
3	Основы программирования	16		16	Зачет
4	Программирование с использованием PVM	28	4	24	Зачет
5	Программирование в стандарте MPI	28	4	24	Зачет
6	Программирование на HPF	20	4	16	Зачет
ИТОГО аудиторных занятий		110	20	90	
ВЫПУСКНАЯ РАБОТА (самостоятельно)		20			Защита на ГАК

Важное значение в формировании корпуса высококвалифицированных специалистов в области высокопроизводительных вычислений должна играть аспирантура. Здесь выделим два аспекта.

Первый аспект – необходимо аспирантам многих научных специальностей, способным в своей профессиональной деятельности пользоваться методами параллельных вычислений, и прежде всего аспирантам групп специальностей 05.13, предоставить для изучения общеобразовательную дисциплину по супер-ЭВМ и параллельной обработке данных. Программа такой дисциплины приводится ниже.

Современные супер-ЭВМ и параллельная обработка данных
(30 часов лекций)

1. Введение в предмет – 2 часа

Введение, примеры современных супер-ЭВМ, примеры модельных задач с большой вычислительной сложностью; параллелизм/конвейерность, история появления параллелизма в архитектуре компьютеров, классы современных ВС; обозначение круга проблем в использовании параллельных ВС; закон Амдаля, его следствия, поправки к закону, суперлинейное ускорение программ.

2. Современные параллельные вычислительные системы - 8 часов

Примеры вычислительных систем (особенности архитектуры, как достигается пиковая производительность, что мешает достичь пиковой производительности):

- компьютеры с общей памятью (SMP-архитектура);
- векторно-конвейерные компьютеры;
- компьютеры с массовым параллелизмом, вычислительные кластеры. Топология коммуникационных сетей (решетка, 2D-3D-тор, МВС, гиперкуб и т.д.), типы коммутаторов (полный, бабочка), латентность и пропускная способности сети; масштабируемость компьютеров; балансировка вычислительной нагрузки;
- потоковые, матричные, VLIW и суперскалярные компьютеры;
- иерархия памяти в вычислительных системах.

3. Производительность параллельных компьютеров – 2 часа

Понятия пиковой и реальной производительности, эффективности работы и загруженности ВС; методы измерения производительности параллельных компьютеров: тесты нижнего уровня, SPEC, LINPACK, NPB, приложения.

4. Системы и средства параллельного программирования – 8 часов

Модели параллельных программ, масштабируемость программ, портабельность параллельных программ. Подходы к созданию параллельных программ: автоматическое распараллеливание программ, распараллеливание на основе директив компилятора, расширения существующих языков, языки параллельного программирования, системы с явной передачей сообщений, языки однократного присваивания, библиотеки параллельных программ, предметно-ориентированные пакеты для решения класса задач:

- MPI
- Open_MP
- Linda
- SISAL/HOPMA
- Occam
- High Performance Fortran.

Синхронизация параллельных процессов (тупики, разделяемые ресурсы, недетерминированность поведения параллельных процессов, семафоры, критические секции, барьеры, замки, события, atomic update).

5. Основы теории анализа структуры программ и алгоритмов – 6 часов

Графовые модели программ.

Основы теории графов алгоритмов, возможность статического построения информационной истории для класса программ, разновидности параллелизма: конечный/массовый, координатный/скошенный; эквивалентные преобразования программ, элементарные преобразования циклов; оценивание параллельной сложности программ и алгоритмов.

6. Отображение проблем вычислительной математики на архитектуру параллельных ВС – 2 часа

Влияние выбора метода на производительность, влияние формы записи алгоритма на производительность, влияние выбора структур данных на производительность.

Оптимизация прикладных программ по всей вертикали: анализ конфигурации компьютера, анализ системного и прикладного ПО, анализ структуры программ, анализ алгоритмического подхода.

7. Метакомпьютинг и концепция Grid – 2 часа

Второй аспект – для аспирантов по научным специальностям группы 05.13 необходимо ввести дополнение к программе кандидатского экзамена по специальности. Вариант такого дополнения представляется ниже.

Дополнение к программе кандидатского экзамена по научным специальностям группы 05.13

Параллелизм и конвейерность, параллелизм в архитектуре компьютеров, классы современных ВС; закон Амдала, суперлинейное ускорение программ; компьютеры с общей памятью (SMP-архитектура), векторно-конвейерные компьютеры, компьютеры с массовым параллелизмом, вычислительные кластеры; коммуникационные сети; латентность и пропускная способность сети; масштабируемость компьютеров; потоковые, матричные, VLIW и суперскалярные компьютеры; метакомпьютинг; пиковая и реальная производительность компьютеров; методы измерения производительности параллельных компьютеров.

Модели параллельных программ, масштабируемость программ, портабельность параллельных программ; подходы к созданию параллельных программ: автоматическое распараллеливание программ, распараллеливание на основе директив компилятора, расширения существующих языков, языки параллельного программирования, системы с явной передачей сообщений, языки однократного присваивания, библиотеки параллельных программ, предметно-ориентированные пакеты для решения класса задач.

Синхронизация параллельных процессов, разделяемые ресурсы, тупики, семафоры, критические секции, барьеры, замки, события.

Графовые модели программ; статический и динамический анализ программ; эквивалентные преобразования программ, элементарные преобразования циклов; оценивание параллельной сложности программ и алгоритмов; влияние выбора метода на производительность, влияние формы записи алгоритма на производительность, влияние выбора структур данных на производительность.

Рекомендации по аспирантской подготовке в области параллельных вычислений подготовлены на основе опыта МГУ (В.В.Воеводин).

Изложенное выше можно рассматривать как базовый результат в организации подготовки специалистов по высокопроизводительным вычислениям в стране. Дальнейшие усилия, по мнению экспертной комиссии, целесообразно направить на решение следующих задач:

- мониторинг развертывания в стране подготовки специалистов по высокопроизводительным вычислениям,

• анализ потребности в специалистах в разных регионах, создание системы их трудоустройства по целевым заказам,

• разработка предложений по учебным планам и рабочим программам подготовки бакалавров и магистров,

• выявление мнения институтов РАН и предприятий промышленности по содержанию учебных планов и рабочих программ для подготовки названных специалистов,

• перманентная коррекция разработанных планов и программ, учитывая быстроту развития отрасли,

• постепенный переход от специализаций к специальностям и специализациям,

• создание централизованной базы данных по учебно-методическим материалам в области высокопроизводительных вычислений и разработка принципов кооперации специалистов, занятых этими проблемами, а также защиты их авторских прав,

• разработка электронных средств обучения с удаленным доступом,

• организация сайта по проблеме подготовки рассматриваемых специалистов,

• организация подготовки и аттестации высокопрофессионального, в том числе элитного преподавательского корпуса,

• создание базы преподавателей по результатам сертификации, значительное усиление возможностей удаленного доступа при решении всех аспектов проблемы,

• изучение международного опыта в подготовке специалистов в области высокопроизводительных вычислений,

• создание в структуре ГНИИ ИТТ «Информика» координационно-аналитического центра по основным аспектам подготовки специалистов в области высокопроизводительных вычислений в стране.

Разработанные предложения представлены экспертной комиссией в Минобразования РФ.

Выражаем благодарность всем специалистам, принявшим конструктивное участие в подготовке материалов.