

**С.Г. Мулярчик**, д.т.н., профессор, декан факультета радиофизики и электроники БГУ, заведующий кафедрой информатики,  
**Г.И. Шпаковский**, к.т.н., доцент кафедры информатики факультета радиофизики и электроники БГУ,  
**Н.В. Серикова**, старший преподаватель кафедры информатики факультета радиофизики и электроники БГУ,  
**А.Е. Верхотуров**, аспирант кафедры информатики факультета радиофизики и электроники БГУ,  
**В.А. Чудовский**, к.т.н., доцент кафедры информатики факультета радиофизики и электроники БГУ

## **Подготовка специалистов по профилю «Параллельные вычисления» на факультете радиофизики и электроники Белгосуниверситета**

В последние годы широкое распространение получили вычислительные кластеры. *Кластер* – это суперкомпьютер, построенный на основе общедоступных компонентов: процессоров, коммутаторов, системного обеспечения. Существует два типа кластеров, совместимых по программному обеспечению, но отличающихся по способу технической реализации: кластеры типа *Beowulf* [1] и монолитные кластеры.

*Кластеры типа Beowulf* – это локальная сеть ПЭВМ плюс специальное системное обеспечение, бесплатно получаемое из Интернет. Такие суперкомпьютеры доступны даже небольшим организациям.

*Монолитные кластеры* – это совокупность большого количества процессоров, которые размещены в едином конструктиве и соединены быстродействующим коммутатором. Примером таких кластеров являются суперкомпьютеры СКИФ, разработанные в рамках программы Союзного государства Беларусь – Россия [2]. В январе 2005 года в НАН РБ вступил в строй Республиканский суперкомпьютерный центр, оснащенный несколькими суперкомпьютерами СКИФ. Один из них К-1000 обладает быстродействием 2.5 Тфлопса и входит

в первую сотню известного списка самых быстрых машин мира top 500 и является самым мощным в СНГ.

Наличие суперкомпьютерного центра, множества кластеров типа Veowulf создает аппаратную основу для параллельного решения задач большой размерности в интересах науки, народного хозяйства, обороны, но требует большого количества специалистов в области параллельных вычислений, в частности, параллельных программистов.

В России суперкомпьютеры используются давно, поэтому суперкомпьютерным образованием занимаются крупнейшие вузы, факультеты, кафедры, учебные центры и пр. В частности, кафедры по высокопроизводительным вычислениям созданы в университетах Новосибирска, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Кемерово. Особенно большой размах суперкомпьютерное обучение получило в МГУ им. М.В. Ломоносова с его мощным учебно-научным суперкомпьютерным центром [3].

В Республике Беларусь законченная система подготовки специалистов по параллельным вычислениям еще не сложилась. Некоторые элементы такой подготовки существуют на разных факультетах в Белорусском государственном университете, Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники, Гомельском государственном университете, других вузах и Национальной Академии Наук Республики Беларусь. В настоящей статье излагается опыт кафедры информатики факультета радиофизики и электроники БГУ.

Лекции по архитектуре параллельных ЭВМ на факультете читаются с 1973 года. В 1988 году на кафедре появились транспьютеры [4], а в 1998 году был установлен кластер типа Veowulf. Все это в конечном счете позволило создать на кафедре информатики учебно-научный комплекс по профилю «Параллельные вычисления». Основой для создания такого комплекса стал состав курсов, читаемых на кафедре в рамках специализации «Вычислительная радиофизика»: технология программирования, теория алгоритмов, методы математического моделирования, микропроцессоры, информационные сети и многое другое. Особенно важны для рассматриваемого комплекса курсы по численным методам и методам вычислительного эксперимента [5, 6]. Специализация по параллельным вычислениям проводится на 4-м и 5-м курсах.

В комплекс входят следующие элементы:

- Аппаратная база, состоящая из транспьютерного оборудования и кластера на базе локальной сети ПЭВМ.

- Три лекционных спецкурса и лабораторные практикумы.
- Бакалавриат, магистратура, аспирантура.
- Ежегодная школа для студентов всех курсов факультета.
- Сайт комплекса «Параллельные вычисления».

**Аппаратная база.** На кафедре имеется 6 транспьютеров T800, коммуникатор для них и соответствующее программное обеспечение. Транспьютеры размещены на платах, которые вставляются в ПЭВМ. ПЭВМ здесь используются как интерфейс между пользователем и транспьютерными платами. По техническим характеристикам транспьютеры уступают современным микропроцессорам, но благодаря коммуникатору, архитектуре и малым размерам (транспьютер размещается на одном кристалле) являются классическим средством для изучения многопроцессорных систем.

Используемый для обучения и проведения научных исследований кластер типа Beowulf построен на базе локальной сети Fast Ethernet с коммутатором и содержит до 15 ПЭВМ. ПЭВМ используют ОС Windows NT, работают на частоте 1 ГГц и имеют оперативную память объемом 512 Мбайт. Языками программирования являются С, С++, Фортран 90. Для выполнения операций межпроцессорного обмена эти языки расширяются библиотекой функций обмена под названием MPI (Message Passing Interface) [10], которая включает около 200 функций. Для интерпретации этих функций на этапе исполнения параллельной программы используется бесплатный пакет MPICH, который устанавливается в каждой ПЭВМ. Для MPI в Интернет есть много руководств, пособий и библиотек приложений.

В сети кластера студенты могут независимо создавать, отлаживать и запускать индивидуальные программы, находясь на разных стадиях этого процесса. Например, часть студентов может находиться в режиме отладки на одиночном компьютере, а другая – в режиме выполнения программы на ряде компьютеров сети.

**Лекционные курсы.** Имеется три спецкурса, которые читаются для студентов старших курсов. К ним относятся:

- **Курс «Архитектура высокопроизводительных ЭВМ»** (лекции – 34 часа, лабораторные работы – 12 часов, 4-й курс) освещает архитектуру параллельных ЭВМ (аппаратные сред-

ства, системы программирования, функционирование). В курсе рассматриваются следующие укрупненные темы: архитектура векторных ЭВМ (конвейерные ЭВМ и процессорные матрицы); архитектура многопроцессорных ЭВМ (с разделяемой и индивидуальной памятью); суперскалярные и VLIW микропроцессоры; языки параллельного программирования и средства автоматического распараллеливания; средства программирования для вычислительных кластеров. По программе лекций изданы книги [7, 8, 9], часть из них с грифом Министерства образования Республики Беларусь. Имеется электронный вариант лекций, регулярно обновляемый.

Выполняются две лабораторные работы: разработка программного комплекса для автоматического распараллеливания арифметических выражений и планирования вычислений; программирование векторных задач, их отладка и оценка ускорения на программной модели векторной ЭВМ. По лабораторным работам разработаны два методических пособия.

• **Курс «Параллельные алгоритмы»** (лекции – 16 часов, лабораторные работы – 12 часов, 4-й курс) является необходимым этапом для следующего курса по параллельному программированию. Курс предназначен для изучения методов построения параллельных алгоритмов численного анализа, комбинаторики, нейронных сетей, генетических алгоритмов и др.

Лабораторные работы состоят в разработке параллельных алгоритмов различного назначения и изучении их качества на основе специально созданного аппарата оценки их масштабируемости.

В настоящее время спецкурс находится в состоянии разработки.

• **Курс «Параллельное программирование»** (лекции – 34 часа, лабораторные работы – 36 часов) является завершающим и освещает следующие темы: общая характеристика языковых средств параллельного программирования; конфигурирование и организация параллельных вычислений на компьютерной сети; программирование для многопроцессорных систем в стандарте MPI; коллективные взаимодействия процессов в стандарте MPI; организация групп; создание виртуальной топологии в стандарте MPI; профилирование.

По курсу опубликованы книги [10, 11], имеется электронный вариант лекций и два методических руководства по ла-

бораторным работам. Лабораторные работы выполняются на транспьютерной сети и кластере Beowulf.

Общий объем руководств по лабораторным работам всего комплекса – около 10 п.л.

**Школа для студентов всех курсов факультета.** Ежегодно во втором семестре проводится школа «Параллельное программирование» для студентов всех курсов факультета РФЭ. В школе занимается 20-30 человек. Занятия в основном нацелены на приобретение практических навыков параллельного программирования и отладки задач по следующим темам: основы MPI; методы запуска программ; написание, отладка, профилирование учебных программ; выполнение курсовых, дипломных и научно-исследовательских работ на кластере. Объем занятий примерно 50 часов для каждого слушателя.

**Сайт комплекса.** По тематике комплекса создан сайт [12], на котором размещена информация по всем вопросам создания, настройки и использования кластеров, построенных преимущественно на базе локальных сетей. На кластере также размещены электронные варианты книг, пособий и другой информации по тематике высокопроизводительных ЭВМ. Сайт активно посещается.

Сотрудники кафедры принимали участие в выполнении работ по программе «СКИФ», раздел «Подготовка и переподготовка кадров».

Основная трудность в развитии обучения студентов по профилю «Параллельные вычисления» состоит в том, что спрос на параллельных программистов еще не установился, поэтому студенты переключаются на обучение по тематике, гарантирующей получение рабочего места. Но спрос на параллельных программистов скоро появится, поэтому суперкомпьютерную подготовку надо развивать сейчас. Этому помогло бы целевое финансирование на проведение НИР, что позволит создать профессиональную среду для привлечения и обучения студентов.

### **Список использованных источников**

1. Кластер Beowulf – <http://www.parallel.ru/computers/reviews/beowulf.html>
2. Сайт <http://www.skif.bas-net.by>
3. Сайт НИВЦ МГУ – <http://www.parallel.ru>.

4. Краснов С.А. Транспьютеры, транспьютерные вычислительные системы и ОККАМ. В сб.: Вычислительные процессы и системы / Под ред. Г.И. Марчука. Вып. 7. – М.: Наука, 1990. – С. 3-93.
5. Мулярчик С.Г. Численные методы. – Мн.: БГУ, 2001. – 127 с.
6. Мулярчик С.Г. Вычислительная электроника. – Мн.: БГУ, 2003. – 148 с.
7. Шпаковский Г.И. Архитектура параллельных ЭВМ: Учеб.пособие для вузов. – Мн.: Университетское, 1989. – 192 с.
8. Шпаковский Г.И. Параллельные микропроцессоры для цифровой обработки сигналов и медиа данных. – Мн.: БГУ, 2000. – 196 с.
9. Шпаковский Г.И. Организация параллельных ЭВМ и суперскалярных процессоров: Учеб. пособие. – Мн.: Белгосуниверситет, 1996. – 284 с.
10. Шпаковский Г.И., Серикова Н.В. Программирование для многопроцессорных систем в стандарте MPI. – Мн.: БГУ, 2002. – 323 с.
11. Шпаковский Г.И., Верхотуров А.Е., Серикова Н.В. Руководство по работе на вычислительном кластере. Учеб. пособие. – Мн.: БГУ, 2005. – 185 с.
12. Сайт <http://www.cluster.bsu.by> (Белгосуниверситет, Минск).

