

УДК 378.1 : 681.3

СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОРОНЕЖСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

С. Д. Кургалин, С. В. Борзунов

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 20 июня 2018 г.

Аннотация: рассмотрены ключевые вопросы о роли суперкомпьютерных технологий в процессе подготовки кадров в современной высшей школе.

Ключевые слова: высшее образование, образовательный процесс, информационно-коммуникационные технологии, суперкомпьютерные технологии, высокопроизводительные вычисления.

Abstract: this article contains of common questions of the supercomputer technology and its function in the education process in the modern higher education.

Key words: higher education, educational process, information and communications technologies, supercomputer technologies, high performance computing.

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) прочно вошли в жизнь высшей школы. Трудно представить себе подготовку специалистов не только в области естественных, но и гуманитарных наук без применения ИКТ. В нашей стране формируется цифровая экономика, тесно связанная с развитием ИКТ. Ставится задача совершенствования системы образования, чтобы обеспечить цифровую экономику, науку и технику компетентными кадрами.

Одними из бурно развивающихся в последнее время направлений ИКТ являются суперкомпьютерные технологии (СКТ), основанные на использовании самых мощных современных компьютеров. Суперкомпьютеры применяются для решения важнейших задач национальной безопасности, промышленности, науки и техники, используются в ядерной физике и технологиях, для машинного обучения, поиска возможных связей между генами и онкологическими заболеваниями, создания новых лекарств, моделирования Большого взрыва и др. Наличие в крупном университете высокопроизводительной вычислительной системы – суперкомпьютера – и использование суперкомпьютерных технологий становятся в настоящее время непременным условием обеспечения необходимого уровня научных исследований фундаментального и прикладного характера, а также поддержки учебного процесса для высококачественной подготовки выпускников, востребованных на рынке труда. Отметим, что лидером

среди суперкомпьютеров России является «Ломоносов-2» МГУ им. М. В. Ломоносова с производительностью 2,5 петафлопс (1 петафлопс – 10^{15} операций в секунду), второй и третий по мощности суперкомпьютеры находятся в Гидрометцентре России и в МГУ – 1,3 и 0,9 петафлопс соответственно. В Объединенном Институте Ядерных Исследований (Дубна) только что установлен суперкомпьютер на 0,5 петафлопс, в Сколковском институте науки и технологий в ближайшее время будет запущен суперкомпьютер на 1,5 петафлопс. В США анонсирован суперкомпьютер Summit на ≈ 200 петафлопс, который превзойдет в два раза самый мощный в настоящее время китайский суперкомпьютер Sunway TaihuLight (93 петафлопс). Он способен за одну секунду обработать столько информации, сколько ежесекундных операций все население Земли провело бы за 300 дней.

Суперкомпьютерный консорциум университетов России, в который входит и Воронежский государственный университет (ВГУ), в своем решении в конце 2017 г. отметил: необходимы квалифицированные кадры, владеющие не только базовыми, но и расширенными компетенциями в области суперкомпьютерных и Грид-технологий для развития и применения основных сквозных цифровых технологий, которые входят в рамки программы «Цифровая экономика РФ»; знания, умения и навыки в области таких технологий сегодня являются необходимыми условиями для эффективного решения имеющихся вызовов и угроз развития цифровой экономики. Был также предложен проект создания системы научно-образовательных

центров СКТ, включающий в себя разработку учебно-методического обеспечения СКТ-образования и специализированного программного обеспечения, реализацию образовательных программ подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров, развитие интеграции фундаментальных и прикладных исследований и образования в области СКТ, расширение международного сотрудничества и популяризацию знаний в этой области [1]. Внедрение суперкомпьютеров в практику высшей школы переводит подготовку специалистов на новый уровень, а их возможности по высокоскоростной обработке огромных объемов информации открывают новые перспективы в научно-исследовательской деятельности и управлении [1–3].

Суперкомпьютерные технологии в Воронежском государственном университете начали создаваться в 2002 г., когда на кафедре цифровых технологий факультета компьютерных наук (ФКН) был установлен первый в регионе 20-процессорный высокопроизводительный компьютерный кластер с пиковой производительностью 28 гигафлопс [4]. Это было очень большим достижением, так как в то время кластер по своим параметрам входил в Top50 лучших кластерных установок России и СНГ, находясь в его середине. На его основе был сформирован региональный учебно-научный образовательный комплекс [5], отмеченный дипломом на Всероссийском конкурсе научно-технических разработок. Была разработана система защиты удаленного доступа к его ресурсам [6]. С этого времени на ФКН непрерывно ведется подготовка студентов и повышение квалификации в области суперкомпьютерных технологий [7]. В рамках выполнения курсовых и дипломных работ был создан комплекс параллельных программ для моделирования физических, химических и др. процессов, в том числе создавались параллельные алгоритмы для квантово-механических и ядерно-физических расчетов [8; 9], велась подготовка в области нанотехнологий с применением СКТ. Одновременно проводились работы по освоению Грид-технологий, по включению кластера в сеть Грид, по подготовке студентов в этом направлении, были разработаны методы использования компьютерного кластера в дистанционном обучении [9]. Кластер постоянно совершенствовался и на основании достигнутого уровня суперкомпьютерных технологий ВГУ был принят в состав Суперкомпьютерного консорциума университетов России (в 2010 г.), а позднее – в состав Национальной Суперкомпьютерной Технологической Платформы. На базе этого кластера, полученного опыта его применения и развития

СКТ в 2011 г. был создан Суперкомпьютерный центр (СКЦ). В 2017 г. в СКЦ был установлен новый суперкомпьютер с пиковой производительностью 39 терафлопс, занимающий по своим параметрам достойное место среди суперкомпьютеров лучших университетов России.

Суперкомпьютерные технологии активно применяются на ФКН для подготовки бакалавров и магистров по направлениям «Математика и компьютерные науки» и «Информационные системы и технологии». На уровне бакалавриата (направление «Математика и компьютерные науки») читается потоковый курс «Параллельное программирование», а также факультативный курс «Технологии параллельных вычислений». Для магистрантов направления «Математика и компьютерные науки» проводятся курсы «Параллельные и GRID-технологии», «Параллельные вычисления на графических процессорах». В рабочем учебном плане бакалавров, обучающихся по направлению «Информационные системы и технологии», есть дисциплина по выбору «Параллельные алгоритмы обработки данных». Специально разработанный лабораторный практикум по курсу «Параллельное программирование» предполагает выполнение обучающимися 6–7 лабораторных работ в течение семестра. Методические материалы к этому практикуму на Международной конференции-конкурсе «Инновационные информационно-педагогические технологии в системе ИТ-образования» (МГУ, Москва, 2017 г.) были удостоены диплома лауреата.

Основные цели курсов, связанных с суперкомпьютерными технологиями: представить нынешнее состояние и главные направления развития высокопроизводительных вычислительных систем; дать обзор средств параллельного программирования; рассмотреть методы параллельного программирования с помощью интерфейса передачи сообщений; изучить модели функционирования параллельных программ; получить практические навыки применения технологий распределенных вычислений и обработки данных. Реализация указанных целей обеспечит формирование необходимых профессиональных компетенций выпускника вуза.

С учетом того, что будущие специалисты в области ИКТ должны иметь компетенции, связанные с применением суперкомпьютеров, в 2016–2018 гг. преподавателями кафедры цифровых технологий ФКН был создан цикл учебных пособий, состоящий из трех книг [10–12], ориентированный на совершенствование практики преподавания и использования СКТ. Он формирует целостный подход к начальной и углубленной подготовке ба-

калавров, магистров и аспирантов, а также к повышению квалификации в области СКТ. Главная цель пособий состоит в том, чтобы оказать обучающимся всестороннюю помощь в приобретении как теоретических знаний, так и практических умений и навыков для решения задач разного уровня сложности. Цикл учебных пособий [10–12], которые применяются наряду с популярными учебниками [13–15], создавался с целью обеспечить непрерывность подготовки бакалавр → магистрант → аспирант с повышением ее уровня на каждом этапе. Это достигается [10–12] путем особого отбора и специального расположения учебного материала, сформированного в течение длительного (с 2002 г.) преподавания СКТ на ФКН, и применения высокопроизводительных компьютерных кластеров в ВГУ. Пособия могут быть использованы для разных методик обучения, как универсальных, так и специальных, например, личностно-ориентированных, отражающих особенности состава групп обучающихся, находящихся в аудитории, в компьютерном классе, при разном соотношении обучения с преподавателем и самостоятельной работы, для повышения квалификации [16]. В них использован подход «от простого к сложному», поэтому их можно применять для систем непрерывного образования и при реализации концепции «Образование в течение всей жизни» (Lifelong Learning) с переходом от низкого уровня подготовки обучающихся к более высокому.

В суперкомпьютерных технологиях используется параллельная обработка потоков информации, поэтому освоение параллельного программирования – важная часть овладения СКТ. Интересный вопрос – изучение параллельного программирования в школе. Если бы в вузы приходили абитуриенты, освоившие основы параллельного программирования, то это сразу позволило бы повысить уровень суперкомпьютерной подготовки, усилив ее на первых курсах и более активно развивая на последующих. Следовательно, уже назрела потребность в создании системы непрерывного обучения параллельному программированию. Нужно отметить, что в передовых школах подготовка по параллельному программированию уже начинается [17–19].

Мы предлагаем создать систему сквозного (непрерывного) обучения суперкомпьютерным технологиям школа-вуз. В Воронеже, как и в других городах, есть школы, где обучение информатике проводится на достаточно высоком уровне. Они могут стать опытными площадками для отработки «школьной» части этой системы. На ФКН ВГУ уже создана «вузовская» часть этой системы: группа

студентов начиная с первого курса участвует в работах в СКЦ, включена в процесс реального освоения суперкомпьютерных технологий. Обучающиеся решают практические задачи с помощью группового метода исследования в составе небольших рабочих групп под руководством преподавателей. Вовлечение студентов в научно-исследовательские проекты позволяет решить проблему перехода от теоретической подготовки в университете к получению обучающимися компетенций, востребованных в производственной деятельности. Студенты направляются на суперкомпьютерные конференции, публикуют статьи в сборниках студенческих научных работ, выступают с докладами. Остается теперь объединить усилия школьных учителей и преподавателей вуза для формирования целостной системы обучения, обеспечить их тесное взаимодействие, согласовать учебные планы и программы. Конечно, сегодня нам нужны специальные методики для непрерывного обучения технологиям параллельного программирования. В школе не обязательно изучать «реальное» параллельное программирование, в том числе соответствующие языки и технологии типа OpenMP или MPI [20], разве что только в специальных классах, а направить главные усилия на понимание принципов параллелизма, освоение нужных понятий с учетом того, что в окружающем мире существует множество различных параллельных систем. Есть интересные идеи, которые можно попробовать применить при обучении суперкомпьютерным технологиям. Так, традиционно в курсах ИКТ сначала учат последовательному программированию, а уже затем – распараллеливанию последовательных алгоритмов. Желательно провести такой эксперимент в реальном учебном процессе и проанализировать его результат: сразу же учить параллельному программированию, при этом последовательный алгоритм рассматривать как простейший вариант или часть параллельного алгоритма, не связанный с другими частями или алгоритмами.

Неотъемлемым компонентом учебного процесса в ВГУ должна стать ориентация студентов и аспирантов на использование высокопроизводительных вычислений в их научно-исследовательской деятельности. Ресурсы СКЦ в настоящее время используются в ВГУ для решения важных проблем в области физики, химии, биологии, медицины и техники. Среди исследований такого рода можно выделить изучение атомных процессов, индуцированных полем интенсивного лазерного излучения; анализ геометрических характеристик и частот колебаний молекул в сильном лазерном поле; исследование генерации высоких гармоник

оптического излучения, вызванного ионизацией атомов короткими лазерными импульсами; расчет статических электрических дипольных поляризуемостей и расчет деформации молекул лазерным излучением; моделирование адсорбции водорода на поверхности металлов; изучение динамических характеристик макромолекул линейного и звездобразного строения в расплаве методом молекулярной динамики; суперкомпьютерное моделирование пространственной и электронной структуры наносистем; моделирование в микрофотонике (фотонная зонная структура, плотности электромагнитных состояний в фотонно-кристаллических системах); моделирование колебательных мод и упругих характеристик в наномеханике; квантово-химическое моделирование переноса ионов в ионообменных мембранах; моделирование искусственных нейрноподобных структур для создания систем искусственного интеллекта, реализация методов моделирования формирования углеродных наноструктур в плазме.

В течение более 16 лет в ВГУ развиваются суперкомпьютерные технологии – интереснейшая и актуальная часть ИКТ, есть ряд достижений в их разработке и применении. Наш университет, имея компьютерную технику большой вычислительной мощности, находится в привилегированном положении по сравнению со многими другими вузами. Он может создавать, развивать и использовать суперкомпьютерные технологии в учебном процессе для подготовки современных специалистов самого высокого уровня, для повышения квалификации и переподготовки в области ИКТ работников всех сфер и направлений деятельности, для проведения исследований на переднем крае науки и техники, для разработки управленческих решений, требующих высокоскоростной обработки сверхбольших объемов информации. Нет сомнения в том, что в дальнейшем роль суперкомпьютерных технологий будет быстро возрастать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие системы суперкомпьютерного образования в России : текущие результаты и перспективы / Вл. В. Воеводин, В. П. Гергель, Л. Б. Соколинский [и др.] // Информационные технологии. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2012. – № 4 (1). – С. 268–274.
2. *Абрамов С. М.* Суперкомпьютерные технологии России : объективные потребности и реальные возможности / С. М. Абрамов // Параллельные вычислительные технологии (ПАВТ'2010) : труды междунар. науч. конф. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – С. 5–17.
3. *Болдырев Ю. Я.* Суперкомпьютерные технологии как современное воплощение междисциплинарного подхода в научно-образовательной деятельности / Ю. Я. Болдырев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Вып.: Информатика. Телекоммуникации. Управление. – СПб.: СПбГПУ, 2010. – № 4. – С. 99–106.
4. *Кургалин С. Д.* Высокопроизводительный вычислительный кластер Воронежского государственного университета / С. Д. Кургалин, В. С. Александров, С. В. Побежимов // Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах : материалы 2-го Междунар. науч.-практ. семинара. – Н. Новгород, 2002. – С. 174–176.
5. *Запругаев С. А.* Создание регионального учебно-научного образовательного комплекса на основе высокопроизводительного компьютерного кластера / С. А. Запругаев, С. Д. Кургалин // Всероссийский форум «Образовательная среда – 2005. Образовательная среда сегодня и завтра» : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. – М., 2005. – С. 309–310.
6. *Кургалин С. Д.* Система защиты удаленного доступа к ресурсам высокопроизводительного компьютерного кластера / С. Д. Кургалин, А. Н. Кураков, В. В. Расхожев // Телематика'2006 : труды XIII Всерос. науч.-метод. конф. – СПб., 2006. – Т. 1. – С. 207–208.
7. *Кургалин С. Д.* Технологии высокопроизводительных параллельных вычислений в научных исследованиях и учебном процессе вуза / С. Д. Кургалин // Известия ОрелГТУ. Сер.: Информационные системы и технологии. – 2004. – № 2(3). – С. 115–119.
8. *Кургалин С. Д.* Моделирование спектров многочастичных ядерных состояний на параллельном компьютерном кластере / С. Д. Кургалин, Ю. М. Чувильский // Параллельные вычисления и задачи управления : труды Второй Междунар. конф. – М., 2004. – С. 226–227.
9. *Кургалин С. Д.* Технологии высокопроизводительных параллельных вычислений для научных исследований в области ядерной физики и в дистанционном обучении / С. Д. Кургалин // Распределенные вычисления и Грид-технологии в науке и образовании : труды Междунар. конф. – Дубна, 2004. – С. 155–160.
10. *Борзунов С. В.* Практикум по параллельному программированию / С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин, А. В. Флегель. – СПб. : БХВ, 2017. – 236 с.
11. *Борзунов С. В.* Параллельное программирование : задачи и решения / С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018. – 113 с.
12. *Борзунов С. В.* Практикум по параллельному программированию / С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин, М. В. Куцов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016. – 79 с.

13. Кургалин С. Д. Повышение квалификации кадров в Воронежском университете / С. Д. Кургалин // Высшее образование в России. – 2008. – № 1. – С. 122–125.

14. Воеводин В. В. Параллельное программирование / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.

15. Гергель В. П. Высокопроизводительные вычисления для многоядерных многопроцессорных систем / В. П. Гергель. – М. : Изд-во МГУ, 2010. – 544 с.

16. Немнюгин С. А. Параллельное программирование на основе многопроцессорных вычислительных систем / С. А. Немнюгин, О. Л. Стесик. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 400 с.

17. Босова Л. Л. Параллельные алгоритмы в начальной и основной школе / Л. Л. Босова // Информатика в школе. – 2015. – № 2. – С. 24–27.

18. Киселева Е. Ю. Потенциал суперкомпьютерной тематики в проектно-исследовательской деятельности учащихся / Е. Ю. Киселева // Информатика в школе. – 2015. – № 2. – С. 20–23.

19. Еремин Е. А. Исполнитель для изучения в курсе информатики основ параллельных вычислений / Е. А. Еремин // Информатика в школе. – 2018. – № 2. – С. 30–40.

20. Абрамян М. Э. Параллельное программирование на основе технологии MPI 2.0 : учебник / М. Э. Абрамян. – Ростов н/Д. ; Таганрог : Изд-во ЮФУ, 2018. – 357 с.

Воронежский государственный университет

Кургалин С. Д., доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой цифровых технологий факультета компьютерных наук

E-mail: kurgalin@bk.ru

Тел.: 8 (473) 220-83-84

Борзунов С. В., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры цифровых технологий факультета компьютерных наук

E-mail: sborzunov@gmail.com

Тел.: 8 (473) 220-83-84

Voronezh State University

Kurgalin S. D., Dr. Habil. in Physics and Mathematics, Professor, Head of the Digital Technologies Department, Faculty of Computer Science

E-mail: kurgalin@bk.ru

Tel.: 8 (473) 220-83-84

Borzunov S. V., PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Digital Technologies Department, Faculty of Computer Science

E-mail: sborzunov@gmail.com

Tel.: 8 (473) 220-83-84