

## **ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

**В.Ю. Петров, Н.А. Шевелев, В.Я. Модорский**

Пермский государственный технический университет

### **РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ НА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ПГТУ**

Высокопроизводительный вычислительный комплекс (ВБК) ПГТУ вступил в строй в рамках реализации приоритетного национального проекта «Образование» и инновационной образовательной программы Пермского государственного технического университета в 2008 году. На момент пуска кластер занял 13-е место в рейтинге самых мощных суперкомпьютеров СНГ ТОП-50. Пермский ВБК имеет производительность 4,096 TFlops и включает 64 вычислительных узла, 128 четырехядерных процессоров AMD Opteron «Barselona-3» с объемом системы хранения информации 12 Тбайт и объемом оперативной памяти 512 Гб. При построении кластера компанией «DATA Технологии» (г. Москва) была реализована разноплатформенность и применены программируемые ускорители Celoxica, позволяющие поднять производительность вычислений на определенном классе задач при достаточной квалификации пользователей на 1–2 порядка по сравнению с центральным процессором. Отметим, что на момент пуска это был первый в мире кластер на процессорах AMD «Барселона-3». Особое внимание было уделено использованию технологий AMD, обеспечивающих максимальное соотношение «производительность/энергопотребление».

Машинный зал ВБК оснащен современным оборудованием для поддержания безотказности и корректного автоматического завершения работы всех приложений в аварийных ситуациях. Помещения под кластер выделены с перспективой увеличения вычислительной мощности.

С момента пуска в эксплуатацию прошло два года. Можно подвести первые итоги, провести анализ проблем, возникших в процессе освоения и эксплуатации уникальной техники, обозначить планы на будущее.

Работа с кластером разворачивалась по двум направлениям. С одной стороны, для пользователей было приобретено современное лицензионное программное обеспечение, автоматически распараллеливающее процесс расчета и позволяющее работать с многопроцессорным комплексом без специальных знаний в области распределенных вычислений. Это пакеты инженерного анализа, «тяжелый САПР», такие как ANSYS, ABAQUS, LS Dyna, Star CD, Flow Vision и др. Эти пакеты позволяют проводить уникальные междисциплинарные расчеты для сложных технических объектов. При этом решалась задача широкого привлечения инженеров-расчетчиков и исследователей к работе на кластере. С этой же целью для исключения известного психологического барьера, первоначально возникающего при использовании суперкомпьютеров, было принято решение о работе с инженерными пакетами на привычной платформе от Microsoft – Windows Compute Cluster Server. Некоторое снижение производительности позволяет преодолеть покупка операционной системы Windows HPC Server 2008. С другой стороны, для пользователей, разрабатывающих собственные параллельные приложения, были созданы условия для работы в специализированной среде Visual Studio Professional 2008. Создание виртуальных машин позволило преодолеть конфликты «тяжелых пакетов» и «экспериментаторов-программистов». Таким образом, особое внимание было уделено созданию условий, позволяющих превратить пермский ВБК в центр коллективного пользования. Активная реализация этой идеи позволила за короткий срок создать свыше ста удаленных точек для работы на кластере. Каждому пользователю при регистрации выдаются индивидуальные пароли и логины для реализации защищенного VPN-соединения.

Приобретение уникального и дорогостоящего оборудования позволило вывести теоретическую часть исследовательских проектов на совершенно новый уровень. Использование много-

процессорной техники повысило качество подготовки аспирантов, докторантов, научных работников, преподавателей, специалистов предприятий и организаций, выпускников по направлениям аэрокосмического профиля, информационных технологий, прикладной математики и информатики и др. Активные пользователи кластера защитили за это время несколько кандидатских и докторскую диссертации.

Вместе с тем для развития идей многопроцессорных расчетов, привлечения новых пользователей, преодоления имеющей место некоторой «изолированности» этой области знаний были предприняты активные шаги по организации системы обучения распределенным вычислениям. Утверждено свыше десятка программ дополнительного профессионального образования, в том числе «Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование», «Эксплуатация высокопроизводительных вычислительных систем и многопроцессорных программных комплексов», программы для освоения распределенных вычислений при проведении прочностных расчетов и решения задач вычислительной гидро- и газодинамики, связанных задач аэротермоупругости и обработки трехмерных изображений. Объем программ от 72 до 500 часов. По результатам обучения слушателям выдается документ государственного образца.

На первых этапах было организовано обучение профессорско-преподавательского состава, аспирантов и докторантов ПГТУ, затем – студентов. В рамках дополнительного образования обучение прошли около 200 слушателей. Часть выпускников активно включается в решение задач, проблематика которых продиктована требованиями промышленных предприятий Пермского региона. В чтении лекций и проведении практических занятий со слушателями приняли участие специалисты Нижегородского государственного университета им. Н.Н. Лобачевского (г. Н. Новгород), Саровского инженерного центра (г. Саров), ОАО «Авиадвигатель» (г. Пермь), таких специализированных организаций, как «DATA Технологии» (г. Москва), «Тесис» (г. Москва, г. Н. Новгород), «Делкам-Урал» (г. Екатеринбург) и др. Пермские специа-

листы прошли обучение по программе повышения квалификации по приоритетным направлениям профессорско-преподавательского состава вузов, находящихся в ведении Федерального агентства по образованию, «Высокопроизводительные вычисления» (ННГУ, г. Н. Новгород). При этом специалисты ПГТУ активно развивали контакты с такими ведущими центрами распределенных вычислений в России, как НИВЦ МГУ, ННГУ им. Лобачевского, ЮФУ, ЮУрГУ, УГАТУ и др. О результатах работ в области распределенных вычислений специалисты ПГТУ неоднократно докладывали на научных конференциях, таких как научная конференция «Численные методы, параллельные вычисления и информационные технологии» (ИВМ РАН, НИВЦ МГУ, г. Москва, 13 февраля 2008 г.), семинар «Высокопроизводительные вычисления и параллельное программирование» (Intel и Microsoft, г. Москва, 26 марта 2008 г.), VI открытая Всероссийская конференция «Преподавание информационных технологий в Российской Федерации» (ННГУ, г. Нижний Новгород, 12–13 мая 2008 г.), совещание по результатам реализации инновационных образовательных программ ПНПО в части формирования актуальных компетенций в области информационно-коммуникационных технологий, в том числе с использованием установленных суперкомпьютеров, и развитие межвузовского взаимодействия (ННГУ, г. Нижний Новгород, 5 сентября 2008 г.), всероссийская научно-техническая конференция «Ракетно-космические двигательные установки» (МГТУ имени Н.Э. Баумана, г. Москва, 16–17 октября 2008 г.), всероссийская конференция «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» для студентов, аспирантов и молодых ученых Российской Федерации (ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, 11–12 марта 2009 г.), международная научно-практическая конференция «Инженерные системы–2008» (компания «Тесис» и РУДН, г. Москва, 6–9 апреля 2008 г.), всероссийская суперкомпьютерная конференция «Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность» (г. Новороссийск, 21–26 сентября

2009 г.), XI Международный семинар «Супервычисления и математическое моделирование» (ВНИИЭФ, г. Саров, 5–9 октября 2009 г.) и др.

После запуска кластера, с 2008 года, успешно функционирует секция «Системы автоматизированного проектирования и высокопроизводительные вычислительные комплексы» в рамках ежегодной всероссийской научно-технической конференции «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации» (ПГТУ, Пермь, 2008, 2009). В работе секции принимают участие специалисты из г. Москвы, Санкт-Петербурга, Н. Новгорода, Екатеринбурга, Челябинска, Уфы, Сарова и, конечно, Перми.

Приоритетными направлениями использования ВВК в Пермском крае являются следующие. Без применения передовых информационных технологий немыслимо ускоренное проектирование современных газотурбинных двигателей и энергетических установок на пермских предприятиях ОАО «Авиадвигатель» и «Протон-ПМ». Разработка конкурентоспособной продукции предполагает большой объем инженерных и научных расчетов по направлениям гидро- и газодинамики, прочности и акустики. Проведение вычислительного эксперимента на суперкомпьютере призвано сократить количество дорогостоящих стендовых испытаний. ОАО «Авиадвигатель» выступил с финансированием научно-образовательного комплекса «Распределенные вычисления». Разработка нанотехнологий и композитных материалов совместно с предприятиями «Уральский НИИ композиционных материалов», «НИИ полимерных материалов», ГП «Возрождение», ОАО «Новомет» и других эффективна на основе создания и развития математических моделей сложных объектов. В частности, совместно с ОАО «НПК Уралвагонзавод» развернуты работы по проектированию элементов конструкций подвижного состава железных дорог из нанокompозитов. При этом появляется возможность снизить объем порожних перевозок и сократить расходы на капитальный ремонт вагонов-хопперов. Для финансирования производства уникальной продукции обратились с заявкой в Роснано.

Совместно с ОАО «Уралкалий», ОАО «Сильвинит» и ГП «Возрождение» в ПГТУ решается актуальная задача обеспечения работоспособности и износоустойчивости оборудования шахт и обогатительных фабрик по производству калийных удобрений на основе решения связанных задач гидрогазодинамики и напряженно-деформированного состояния конструкций при динамических нагрузках с учетом износа. Оптимизация этих задач на базе математического трехмерного моделирования проведена на Пермском кластере.

На основе математического моделирования эффективно использование ВВК для постоянного мониторинга окружающей среды, контроля переноса выбросов предприятий в окружающей среде в режиме реального времени и в масштабах региона. На ВВК ПГТУ по заказам предприятий проводятся вычислительные эксперименты по моделированию газогидродинамических процессов в каналах переменного сечения газоходов, выступающих в роли очистных сооружений для промышленных отходов.

Большой объем вычислительных экспериментов проводится для моделирования аэродинамики и внутрикамерных газодинамических процессов в двигателях летательных аппаратов. Решается ряд задач, связанных с работой подвижных элементов конструкций в потоке жидкости.

Активная работа ведется по вычислительному моделированию поведения строительных конструкций, предупреждению осадки фундаментов и возникновения трещин.

В сотрудничестве с пермскими вузами – Государственным университетом, медицинской, фармацевтической и сельскохозяйственной академиями реализуется возможность проведения многомерных вычислительных экспериментов применительно к задачам медицины, водоочистки, сохранения и переработки сельхозпродукции, деревозаготовительного и деревообрабатывающего комплексов, актуальным для Пермского края. В частности, решаются задачи моделирования процессов, связанных с оценкой проницаемости межклеточного пространства живых

тканей с учетом динамического напряженно-деформированного состояния мышц и кровотока. Этот класс задач важен для создания эффективных лекарственных препаратов и методик лечения тяжелых заболеваний. Создано уникальное программное обеспечение «Тороскопия» для автоматизированного формирования методики проведения операций на легких с учетом многофакторного анализа и экспертных оценок.

Назрела необходимость решения на пермском ВВК задач эффективного моделирования и прогнозирования распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети Перми и Пермского края, связанных с повышением безопасности дорожного движения. Работы по транспортному планированию и развитию городской транспортной системы, в том числе строительству мостов, путепроводов, маршрутной сети пассажирского транспорта планируются совместно с Правительством Пермского края и администрацией г. Перми.

В последнее время в связи с заказами предприятий появились новые задачи для кластера. Речь идет о создании и анализе моделей, описывающих колебательные режимы при эксплуатации газоперекачивающих агрегатов с учетом существующих технологических погрешностей изготовления. Кроме того, в рамках реализации совместного проекта ПГТУ и ОАО «Протон-ПМ» по созданию высокотехнологичного производства для испытания газотурбинных установок мощностью до 40 МВт на многоцелевом адаптивном экологичном стенде с общим объемом финансирования 600 млн руб. на кластере ПГТУ развернуты работы по исследованию кавитационных эффектов технологического оборудования и анализу газогидродинамических процессов и напряженно-деформированного состояния конструкций в связанной постановке.

Принципиально новые возможности суперкомпьютер обеспечивает и в организации учебного процесса в университете. Вычислительные мощности кластера, доступные как в пакетном режиме, так и в режиме удаленного доступа, удобны для

пользователей университета при организации самообразования, контроле качества обучения, проведении научных и инженерных расчетов, требующих больших вычислительных ресурсов. Организован процесс обучения магистрантов. Регулярно, примерно раз в неделю, в режиме телемоста, проводятся трансляции лекций по параллельным вычислениям ведущих преподавателей из г. Москвы, С.-Петербурга, Н. Новгорода для слушателей из ПГТУ.

Перспективным направлением развития будет создание виртуальной сети, объединяющей несколько суперкомпьютеров для решения задач более высокого уровня. Работы в данном направлении продолжаются по программе «Университетский кластер». Появляется возможность ускоренной реализации межрегионального стратегического проекта «Белкомур», включающего северные территории в единый транспортный поток России.

Пермский государственный технический университет вошел в Суперкомпьютерный консорциум университетов России. Пермскому государственному техническому университету присвоена категория Национального исследовательского университета России. В связи с этим можно ожидать нового подъема эффективности реализации высокопроизводительных вычислений на кластере ПГТУ для фундаментальных и прикладных научных исследований и нужд промышленных предприятий Пермского региона.

**В.П. Матвеев, А.Г. Масич, Г.Ф. Масич**

Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь

## **РЕГИОНАЛЬНАЯ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СЕТЬ УРО РАН – ФУНДАМЕНТ КИБЕРИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Эволюция R&E-коммуникаций.** Отработанные технологии построения сетей привели в середине 90-х годов к коммерциализации Интернета и стремительному техническому подъему. В этот период по всему миру прокладывалось оптоволокно со скоростью более 8000 км/час (70 миллионов км в 1999 году !)