

УДК 519.6

## СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ РОЛЬ В НАУКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© 2011 г. *Р.Н. Ахметов<sup>1</sup>, В.В. Безлепкин<sup>2</sup>, В.Б. Бетелин<sup>3</sup>, Д.Х. Валеев<sup>4</sup>, Д.Л. Зверев<sup>5</sup>,  
В.Е. Костюков<sup>6</sup>, М.А. Погосян<sup>7</sup>, В.С. Рачук<sup>8</sup>, С.Б. Рыжов<sup>9</sup>, Г.Г. Сайдов<sup>10</sup>*

<sup>1</sup>Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ-ПРОГРЕСС», Самара

<sup>2</sup>ОАО «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Атомэнергопроект», Санкт-Петербург

<sup>3</sup>НИИ системных исследований РАН, Москва

<sup>4</sup>ОАО «КАМАЗ», Набережные Челны

<sup>5</sup>ОАО «ОКБМ Африкантов», Нижний Новгород

<sup>6</sup>Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров

<sup>7</sup>ОАО «Авиационная холдинговая компания «Сухой», Москва

<sup>8</sup>ОАО «Конструкторское бюро ХимАвтоматики», Воронеж

<sup>9</sup>ОАО «Опытное конструкторское бюро «Гидропресс», Подольск

<sup>10</sup>Федеральное казенное предприятие «Научно-исследовательский центр ракетно-космической промышленности», Пересвет

staff@vniief.ru

*Поступила в редакцию 15.06.2011*

Представлены ключевые компоненты суперкомпьютерных технологий: отечественное программное обеспечение для имитационного моделирования, которое основано на новых методах, ориентированных на полное использование ресурсов мощных высокопроизводительных вычислительных систем; базовый ряд уникальных по своим характеристикам супер-ЭВМ разработки и производства ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ»; прикладное программное обеспечение; организации доступа к ресурсам Вычислительного Центра ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ» в режиме удаленного доступа предприятиям промышленности. Приведены примеры внедрения суперкомпьютерных технологий в ведущие отрасли промышленности (авиастроение, атомная энергетика, автомобилестроение, ракетно-космическая отрасль) для проектирования и разработки новых образцов техники. Освещаются вопросы дальнейшего развития и внедрения отечественных суперкомпьютерных технологий в науку и промышленность РФ.

*Ключевые слова:* программирование, суперкомпьютерные технологии, высокопроизводительные вычислительные системы, имитационное моделирование, параллельные вычисления, отечественные пакеты программ 3D инженерного анализа.

В настоящее время решение актуальных задач развития страны невозможно без широкого применения информационных технологий. При этом особо значимой является задача развития методов математического моделирования на современных супер-ЭВМ, направленных на широкое внедрение суперкомпьютерных технологий во все сферы деятельности общества (в науку, промышленность, экономику, оборону и др.). Без решения данной задачи невозможно обеспечить конкурентоспособность отраслей промышленности и достигнуть мирового уровня в высокотехнологичных областях.

Решением Комиссии при Президенте РФ по модернизации и технологическому развитию эко-

номики России в 2009 году был принят к реализации проект «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий».

Основные цели проекта:

1. Разработка базового ряда супер-ЭВМ, включающего создание супер-ЭВМ нового поколения и компактных супер-ЭВМ терафлопсного класса.

2. Создание отечественного программного обеспечения (ПО) для комплексного имитационного 3D моделирования на супер-ЭВМ с массовым параллелизмом, направленного на достижение нового качества и конкурентоспособности продукции ведущих отраслей отечественной промышленности.

3. Внедрение созданного отечественного ПО в высокотехнологичные отрасли промышленности в целях проектирования и разработки конкурентоспособных образцов современной техники.

Ключевым результатом проекта является внедрение созданных отечественных суперкомпьютерных технологий имитационного моделирования на супер-ЭВМ с массовым параллелизмом первоначально на предприятиях таких высокотехнологичных отраслей промышленности России, как авиастроение, атомная энергетика, автомобилестроение, ракетно-космическая отрасль. С 2012 года будет развернута работа по внедрению созданных отечественных суперкомпьютерных технологий имитационного моделирования на супер-ЭВМ в других отраслях промышленности РФ – нефтегазовой, РЖД, судостроении, ОПК и др.

С учетом важности и сложности задач работа по проекту организована в широкой кооперации промышленных предприятий, научных и образовательных организаций. Главным исполнителем по проекту является ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ» Госкорпорации «Росатом», где уже в течение многих лет ведутся интенсивные и динамичные работы по развитию и применению суперкомпьютерных технологий.

В кооперации принимают участие организации ГК «Росатом» (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИТФ», ОАО «ОКБМ Африкантов», ОАО ОКБ «Гидропресс», ОАО «СПбАЭП» и др.), организации РАН (НИИСИ, ИПМ, ИБРАЭ, СПБИГЭ и др.), организации Минобрнауки России (МГУ, СПбГУ, ННГУ, КГУ, МГТУ и др.), и, безусловно, промышленные предприятия авиастроения, автомобилестроения, ракетно-космической отрасли (ОАО «Компания «Сухой», ОАО «НПО «САТУРН», ОАО «КАМАЗ», ФКП «НИЦ РКП», ОАО «КБ ХимАвтоматики», ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» и др.).

По направлению разработки базового ряда супер-ЭВМ, в ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ» в 2010 году разработана универсальная компактная супер-ЭВМ терафлопсного класса, которая при эксплуатации не требует специальных инженерных систем и обслуживающего персонала. По ряду технико-экономических параметров она не имеет аналогов в России и обладает передовыми в мире характеристиками, в том числе по энергопотреблению, соотношению цены к производительности, шумовым характеристикам, а также габаритным и весовым параметрам. К настоящему времени изготовлены и переданы на предприятия высокотехнологичных отраслей промышленности 35 универсальных компактных супер-ЭВМ. Продвижение их на рынок продолжается. Возможными потребителями данной компактной су-

пер-ЭВМ могут быть научно-технические центры, КБ и инжиниринговые компании, университеты и технические вузы.

К настоящему времени в ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ» спроектирована и создана супер-ЭВМ нового поколения, которая по производительности достигла уровня лучших зарубежных аналогов. Эта супер-ЭВМ в феврале 2011 года (на 9 месяцев ранее запланированного срока) сдана в эксплуатацию. Более 30% процентов вычислительных ресурсов данной супер-ЭВМ выделено предприятиям промышленности для проведения полномасштабных ресурсоемких расчетов.

Наряду с супер-ЭВМ, в ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ» ведутся разработки типового системного ПО. В настоящее время 90% компонентов системного программного обеспечения разработано и широко применяется в супер-ЭВМ, выпускаемых в ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», включая компактные супер-ЭВМ.

В рамках внедрения суперкомпьютерных технологий для предприятий организован удаленный доступ к вычислительным ресурсам суперкомпьютерного центра ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ». В настоящее время подключено 23 предприятия из Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Казани, Димитровграда, Самары, Подольска, Воронежа, Соснового Бора и других городов.

По направлению развития отечественного базового программного обеспечения для имитационного моделирования и внедрения его в наукоемкие технологичные отрасли промышленности к настоящему моменту созданы версии четырех отечественных импортозамещающих пакетов программ разработки ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ». Это пакеты программ ЛОГОС, ЛЭГАК-ДК, ДАНКО+ГЕПЕРД и НИМФА, которые предназначены для моделирования широкого спектра процессов, ориентированных на потребности наукоемких отраслей промышленности. В ходе работы над пакетами созданы новые математические модели, корректно описывающие широкий спектр физических процессов (газодинамика, аэродинамика, гидродинамика, акустика, турбулентное перемешивание, прочность и разрушение, теплоперенос, многофазная и многокомпонентная фильтрация) с учетом их разномасштабности по времени протекания. В основу методов решения заложены новые алгоритмы, адаптированные к архитектуре современных высокопараллельных вычислительных систем. Масштаб распараллеливания при имитационном моделировании на супер-ЭВМ в настоящее время доведен до уровня в тысячу вычислительных ядер, что в сотни раз ускоряет время проведения отдельных и многова-

риантных расчетов. По планам развития отечественных пакетов программ в 2011 году масштаб распараллеливания будет увеличен на порядок и доведен до 10 000 вычислительных ядер, что позволит эффективно использовать ресурсы супер-ЭВМ нового поколения и обеспечит России мировой прорыв в области суперкомпьютерного моделирования наукоемких задач промышленно-

сти. К настоящему времени на предприятиях наукоемких отраслей промышленности оборудовано 157 рабочих мест, оснащенных отечественными пакетами программ для 3D имитационного моделирования; 172 специалиста этих предприятий прошли на базе ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ» обучение пользованию отечественными пакетами программ.

Совместно со специалистами предприятий наукоемких отраслей промышленности проведен первый этап адаптации (верификации) создаваемых математических моделей и вычислительных алгоритмов под конкретные промышленные задачи, требующие учета разномасштабных размеров и технологических особенностей реальных образцов продукции, специфических параметров свойств материалов и граничных условий. Проведено около 4000 верификационных расчетов. Результаты работ этапа адаптации (верификации) создаваемых математических моделей и вычислительных алгоритмов позволили приступить к расчетам практических задач по заказам предприятий. В настоящее время, например, осуществляется:

– в авиастроении – моделирование обрыва лопатки двигателя при попадании посторонних предметов (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», НПО «Сатурн»), расчет аэродинамических характеристик летательного аппарата (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», ОАО «ОКБ Сухого»), расчет аэродинамических характеристик воздухозаборника в составе летательного аппарата (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», ОАО «ОКБ Сухого»), воздействие летательного аппарата на аэродинамические характеристики изделия (ракеты) при запуске (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», ОАО «ОКБ Сухого»);

– в атомной энергетике – моделирование полномасштабной теплогидравлической модели тепловыделяющей сборки (ТВС) с заданным энерговыделением, определение коэффициентов гидравлического сопротивления элементов конструкции реакторной установки (РУ) проекта ВВЭР ТОИ (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», ОАО «ОКБ «Гидропресс»), моделирование турбулентного смешения неизотермических потоков в напорной камере корабельной РУ при специфическом ре-

жиме эксплуатации оборудования (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», ОАО «ОКБМ Африкантов»), исследование свойств устройства локализации расплава (УРЛ), подверженного нелинейным разрушающим нагрузкам с учетом проплавления (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», СПБАЭП);

– в автомобилестроении по заказу ОАО «КАМАЗ» в ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ» проводятся исследования взрывозащищенности и пулестойкости автомобиля КАМАЗ-43269, делается расчет аэродинамических характеристик магистрального тягача КАМАЗ-5308, приступили к расчету оценки безопасности рабочего места водителя на основании численного моделирования столкновения автомобиля КАМАЗ-43269 с недеформируемыми препятствиями и его опрокидыванием;

– в ракетно-космической промышленности проводится моделирование камеры ЖРД РД 0146 и газодинамической трубы выхлопного тракта высотного стенда (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», ФКП «НИЦ РКП»), моделирование процессов турбонасосного агрегата горючего двигателя РД 0146 (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», ОАО «КБХА»), моделирование аэродинамических процессов для РН «Русь-М» (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», ФУГП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс»).

Без современных суперкомпьютерных технологий данные задачи не могут быть решены в приемлемые для промышленности сроки.

Следует обратить внимание на актуальные проблемы развития суперкомпьютерных технологий XXI века.

Важнейшей задачей сегодняшнего дня становится задача производства качественно новой продукции высокотехнологичных отраслей промышленности на базе материалов с радикально новыми свойствами. Для получения таких материалов чрезвычайно важен переход к моделированию в приближении атомно-молекулярного взаимодействия.

Эту задачу, а также ряд других практически важных задач, невозможно решить без использования сверхмощных супер-ЭВМ экзафлопного класса.

Таким образом, актуальными проблемами XXI века становятся экзафлопные технологии.

Ключевыми направлениями на пути развития экзафлопных технологий следует считать: создание отечественной технологической базы для проектирования и серийного производства микроэлектроники; проектирование и производство экзафлопных супер-ЭВМ; создание и внедрение прикладного программного обеспечения, базирующегося на новых принципах программирования и новом математическом аппарате.

**SUPERCOMPUTER TECHNOLOGIES AND ITS SIGNIFICANCE FOR SCIENCE AND INDUSTRY**

***R.N. Akhmetov, V.V. Bezlepkin, V.B. Betelin, D.Kh. Valeev, D.L. Zverev,  
V.E. Kostyukov, M.A. Pogosyan, V.S. Rachuk, S.B. Ryzhov, G.G. Saydov***

Key components of the supercomputer technologies are presented in this paper, namely: homeland software for simulation based on new methods oriented to entire utilization of the resources of high-performance computer systems; a basic set of unique supercomputers developed and manufactured at FSUE RFNC–VNIIEF; application software; organization of enterprises' remote access to the resources of the FSUE RFNC–VNIIEF Computer Center. Several examples of the supercomputer technologies implementation in the leading industries (aircraft building, atomic energy, rocket production) for the designing and development of new machinery are shown. The issues of further development and implementation of homeland supercomputer technologies into Russian science and industry are highlighted.

*Keywords:* programming, supercomputer technologies, high-performance computer systems, simulation, parallel calculation, homeland 3D software for engineering analysis.