

# РАЗВИТИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ОТРАСЛИ



Иван Михайлович Каменских

ПЕРВЫЙ ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА –  
ДИРЕКТОР ДИРЕКЦИИ ПО ЯДЕРНОМУ ОРУЖЕЙНОМУ КОМПЛЕКСУ  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ КОРПОРАЦИИ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

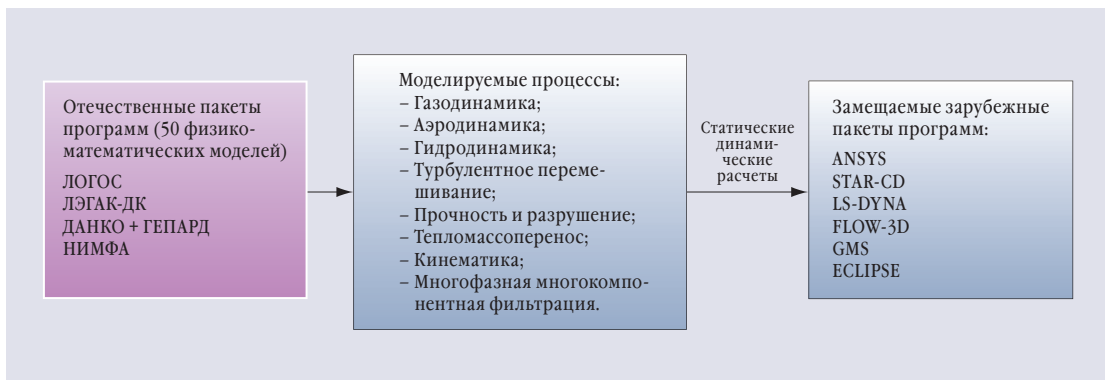
В современных условиях в промышленно развитых странах программы по развитию и внедрению суперкомпьютерных технологий в промышленность входят в число наиболее приоритетных и их реализация осуществляется под контролем и при мощной поддержке государства. Основной целью таких программ является достижение лидирующих позиций в высокотехнологичных отраслях промышленности путем использования суперкомпьютерных технологий при проектировании и создании образцов современной техники.

Суперкомпьютерные технологии – это тот технологический инструмент, без которого в XXI веке ни одна развитая промышленная страна существовать не сможет. Применение суперкомпьютерных технологий обеспечивает принципиальный рывок в повышении производительности труда. Без высокоскоростных расчетных инструментов, созданных на основе комплексного полномасштабного имитационного моделирования наукоемких образцов современной техники, к 2020 году Россия не будет представлена ни на одном рынке сложных промышленных изделий. Сегодня крупнейшие компании России по объемам продаж на порядки отстают от зарубежных конкурентов. Дальнейшее отставание России в данной области грозит серьезными отрицательными последствиями для развития отечественной промышленности, науки, медицины, образования.

России крайне необходима комплексная программа технологического перевооружения всей экономики, и прежде всего отечественного машиностроения.

Осознавая это, руководство Госкорпорации «Росатом» совместно с руководством ряда других отраслей промышленности РФ инициировало подготовку предложений Правительству Российской Федерации по конкретным путям развития и внедрения суперкомпьютерных технологий в высокотехнологичные отрасли промышленности.

1



ПАКЕТЫ ПРОГРАММ ИМИТАЦИОННОГО 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ НА СУПЕРЭВМ  
С МАССОВЫМ ПАРАЛЛЕЛИЗМОМ РАЗРАБОТКИ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Эти предложения были обсуждены на заседании Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России, состоявшемся на базе ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в г. Сарове 22 июля 2009 года.

По итогам заседания принят к реализации в период с 2010 по 2012 год проект «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий».

Проект направлен на решение стратегически важных и сложных задач создания отечественных суперкомпьютерных технологий имитационного моделирования на современных суперЭВМ с массовым параллелизмом и доведения этих технологий до уровня массового внедрения в высокотехнологичные отрасли промышленности. Ключевыми задачами проекта являются:

- разработка базового ряда суперЭВМ;
- создание отечественных, импортозамещающих, конкурентоспособных пакетов программ имитационного 3D-моделирования на вычислительных системах различной архитектуры, в том числе на суперЭВМ с массовым параллелизмом;
- внедрение созданных суперкомпьютерных технологий на предприятиях высокотехнологичных отраслей промышленности, таких как атомная энергетика, автомобилестроение, ракетно-космическая отрасль.

Решение этих задач возложено на Государственную корпорацию «Росатом».

Главным исполнителем проекта утверждено ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Принятие данного решения и последовавшее в июле 2010 года заключение государственного контракта между Государственной корпорацией «Росатом» и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» не были неожиданными. Исторически сложилось так, что работы, проводимые ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» по оборонной тематике, всегда существенно опирались на результаты компьютерного моделирования. К началу работы над проектом здесь уже сформировались и коллектив высококвалифицированных специалистов, и уникальная база для развития всех компонентов суперкомпьютерных технологий.

Работа над проектом ведется в широкой кооперации предприятий Госкорпорации «Росатом», организаций Минобрнауки России, РАН, промышленных предприятий и коммерческих структур.

В настоящее время к работе привлечено около 40 соисполнителей, в том числе ведущие организации науки и образования, работающие в данной области: ИПМ РАН (Москва), ННГУ имени Н.И. Лобачевского (Нижний Новгород), СПбПУ (Санкт-Петербург), МГТУ имени Н.Э. Баумана (Москва), НИИ математики и механики КГУ имени Н.Г. Чеботарёва (Казань).

В числе привлеченных к совместным работам над проектом такие предприятия, как ОАО «ОКБ Сухого» (Москва), ОАО «НПО Сатурн» (Рыбинск), ОАО «ОКБМ Африкантов» (Нижний Новгород), ОАО «СПБАЭП» (Санкт-Петербург), ОАО «ОКБ «Гидропресс» (Подольск), ОАО «КАМАЗ» (Набережные Челны), ФКП «НИЦ РКП» (Пересвет) и др.

2



РАСЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЕВОГО РЕАКТИВНОГО САМОЛЕТА СУ-30МКИ

С момента начала работ над проектом подготовлен и утвержден ряд технических заданий по направлениям внедрения создаваемых суперкомпьютерных технологий. Ответственными за выполнение работ по направлениям внедрения являются следующие организации:

1. В авиастроении – ОАО «ОКБ Сухого». В его задачи входит обеспечение (совместно с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ОАО «НПО Сатурн», ФГУП «ЦАГИ», ФГУП «ЦИАМ имени П.И. Баранова» и др.) решения практических задач и реализации концепции «виртуальный самолет (двигатель)» для отработки новых образцов авиационной техники.

2. В атомной энергетике – ОАО «ОКБМ Африкантов», ОАО «СПБАЭП» и ОАО «ОКБ «Гидропресс».

На ОАО «СПБАЭП» и ОАО «ОКБ «Гидропресс» (совместно с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФГУП «НИТИ имени А.П. Александрова» и др.) возложена реализация концепции «виртуальный энергоблок АЭС с реакторной установкой ВВЭР» для создания компьютерных моделей атомных электростанций и реакторных установок.

ОАО «ОКБМ Африкантов» (совместно с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», РНЦ «Курчатовский институт» и др.) реализовывает концепцию «виртуальная корабельная ЯЭУ» для создания компьютерных моделей оборудования, определяющего ресурс корабельной реакторной установки и компьютерной модели корабельного реактора.

3. В автомобилестроении – ОАО «КАМАЗ». В его задачи входит (совместно с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ЗАО «Автомеханика», КГТУ и др.) реализация концепции «виртуальный автомобиль» для отработки новых образцов автомобильной техники в части оптимизации весовых характеристик, внешней аэродинамики и взрывозащищенности применительно к моделям марки КАМАЗ.

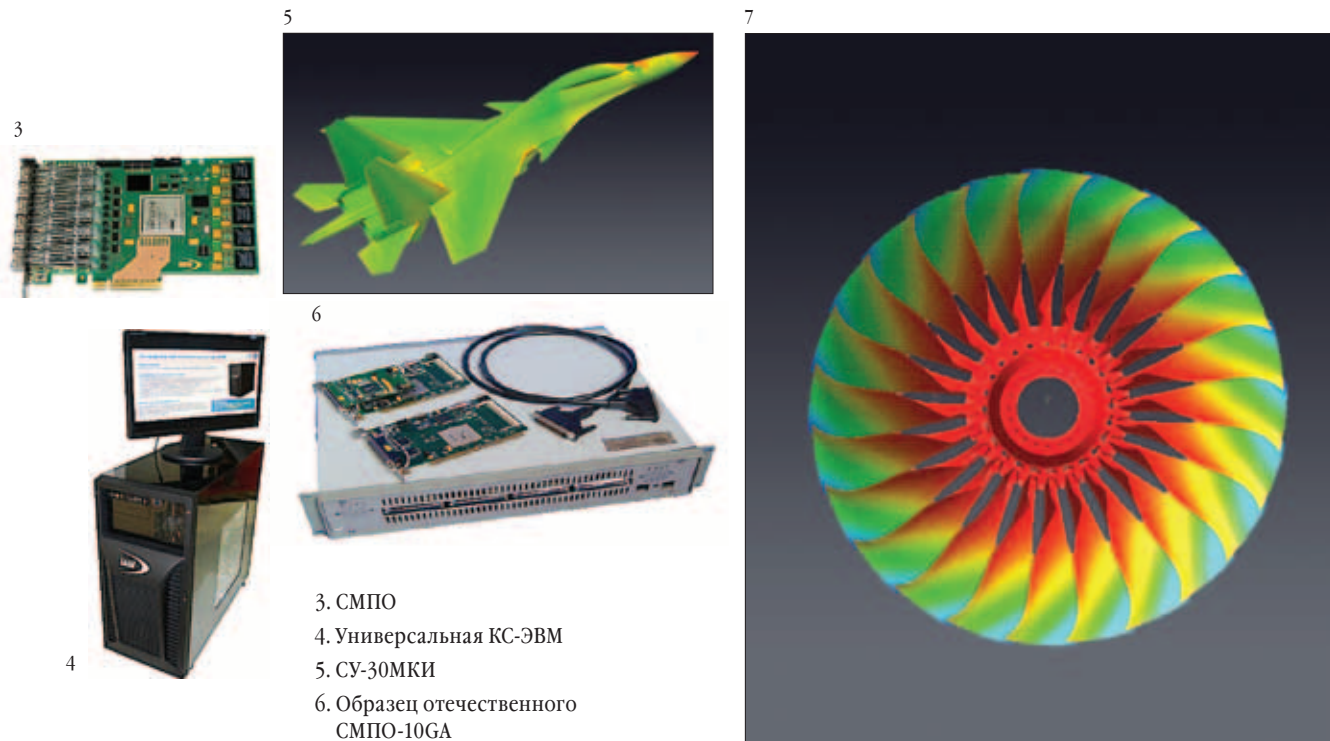
4. В ракетно-космической отрасли – ФКП «НИЦ РКП». В его задачи входит (совместно с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», ОАО «КБХА») реализация разработки концепции применения отечественного базового программного обеспечения с использованием суперЭВМ для отработки новых образцов ракетно-космической техники и адаптации базового программного обеспечения к задачам предприятий.

Ключевой компонентой суперкомпьютерных технологий является комплексное полномасштабное имитационное моделирование на высокопроизводительных вычислительных комплексах сложных инженерных систем.

Широкое использование имитационного моделирования является наиболее эффективным и, по существу, безальтернативным решением, направленным на улучшение технико-экономических характеристик разрабатываемых изделий за счет сокращения сроков разработки, сокращения количества испытаний, снижения себестоимости.

В 2010 году основные усилия были направлены на создание отечественных пакетов программ имитационного 3D-моделирования на вычислительных системах различной архитектуры, а также на разработку базового ряда суперЭВМ различной производительности.

В настоящий момент во ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» созданы версии отечественных пакетов программ имитационного 3D-моделирования на суперЭВМ с массовым параллелизмом ЛОГОС, ЛЭГАК-ДК, ДАНКО + ГЕПАРД, НИМФА (рис. 1), включающие в себя базовые модели и методы для имитационного моделирования на суперЭВМ широкого спектра физических процессов, характерных для практических задач промышленных предприятий. Значимым результатом является то, что созданные версии пакетов программ позволяют проводить расчеты многих задач с использованием до 1 тыс. процессоров со средней эффективностью распараллеливания вычислений 75%. Это в несколько сотен раз ускоряет время проведения отдельного расчета и расширяет возможности проведения многовариантных расчетов.



3. СМПО  
4. Универсальная КС-ЭВМ  
5. СУ-30МКИ  
6. Образец отечественного СМПО-10GA

Пакет программ ЛОГОС позволяет моделировать процессы аэро-, гидро- и газодинамики, турбулентного перемешивания, распространения тепла в твердом теле, тепловой конвекции, переноса излучения, течения в пористой среде. В пакете ЛОГОС реализованы различные физико-математические модели для расчета указанных процессов. Пакет программ ЛОГОС ориентирован на применение эффективных численных методов с использованием неструктурированных сеток, состоящих из произвольных многогранников. Подобным функционалом обладают единичные коммерческие пакеты.

Пакет программ ЛЭГАК-ДК позволяет моделировать процессы статического и динамического упругопластического деформирования, газодинамики, разрушения, контактного взаимодействия, теплопроводности, кинематики, анализа частот и форм колебаний. Модели и методы, реализованные в пакете ЛЭГАК-ДК, доложены на международной конференции PATRAM-2010 в Лондоне и получили признание научного сообщества.

Пакет программ ДАНКО + ГЕПАРД позволяет моделировать упругопластическое поведение материала, контактное взаимодействие объектов с учетом трения, разрушения, квазистатические и динамические нагружения, нестационарную теплопроводность.

Пакет программ НИМФА позволяет моделировать нестационарную насыщенно-ненасыщенную фильтрацию жидкости и газа, нестационарную двухфазную фильтрацию без учета капиллярных эффектов, многокомпонентный массоперенос примесей с учетом молекулярной диффузии и дисперсии. В пакете НИМФА, так же как и в других перечисленных выше, реализовано большое количество различных физико-математи-

ческих моделей. Достигнут высокий уровень распараллеливания вычислений при расчете задач фильтрации и массопереноса (более 1 тыс. процессоров с эффективностью 65%). Пакет наполняется новыми разрабатываемыми моделями, направленными на расширение круга решаемых задач.

Таким образом, созданные в 2010 году версии пакетов программ – первый шаг на пути обеспечения конкурентоспособности отечественного программного обеспечения для имитационного 3D-моделирования на суперЭВМ с массовым параллелизмом.

В 2010 году созданными отечественными пакетами программ имитационного 3D-моделирования на суперЭВМ с массовым параллелизмом на выделенных предпри-

8



9



- 7. Обрыв лопатки
- 8. Броневик  
КАМАЗ-43269
- 9. Самолет  
Superjet-100.  
Моделирование  
аварийной  
посадки  
с невыпущен-  
ным шасси

ятиях высокотехнологичных отраслей было оснащено 140 рабочих мест, а на базе ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» подготовлено к работе с этими пакетами более 140 специалистов промышленности.

Совместными усилиями специалистов РФЯЦ-ВНИИЭФ и специалистов предприятий высокотехнологичных отраслей в 2010 году проведен первый этап работ по тестированию адаптированных версий отечественных пакетов программ путем решения верификационных задач. С этой целью, с участием ряда ведущих предприятий-соисполнителей, был разработан верификационный базис, включающий около 150 прикладных задач аэродинамики, газодинамики, теплопроводности, гидравлики, статической, динамической и вибрационной прочности. В рамках проведенного этапа работ по валидации отечественных пакетов программ было выполнено более 3,5 тыс. верификационных расчетов.

Так, пакет программ ЛОГОС передан в 12 организаций наукоемких отраслей промышленности, в которых данным пакетом программ оснащено около 100 рабочих мест. Для валидации пакета программ ЛОГОС проведено более 1,2 тыс. верификационных расчетов. Валидация осуществлялась в рамках моделирования характерных физических процессов при расчетах 10 промышленных изделий (2 – для авиастроения, 2 – для автомобилестроения, 2 – для атомной энергетики, 4 – для ракетно-космической отрасли).

Пакет программ ЛЭГАК-ДК передан в 11 организаций наукоемких отраслей промышленности, в которых данным пакетом программ оснащено 90 рабочих мест. Для валидации

пакета программ ЛЭГАК-ДК проведено около 1,1 тыс. верификационных расчетов. Валидация осуществлялась в рамках моделирования характерных физических процессов при расчетах 5 промышленных изделий (3 – для авиастроения, 2 – для автомобилестроения).

Пакет программ ДАНКО + ГЕПАРД передан в 2 организации наукоемких отраслей промышленности, в которых данным пакетом программ оснащено 15 рабочих мест. Для валидации пакета программ ДАНКО + ГЕПАРД проведено 600 верификационных расчетов. Валидация осуществлялась в рамках моделирования характерных физических процессов при расчетах 5 практических задач (4 – для атомной энергетики, 1 – для нефтегазовой отрасли).

Для валидации пакета программ НИМФА проведено более 550 верификационных расчетов. С использованием пакета программ НИМФА решено 5 практических задач (1 – для атомной энергетики, 2 – для нефтегазовой отрасли, 2 – экологических).

Успешное проведение этапа работ по тестированию адаптированных версий отечественных пакетов программ путем решения верификационных задач позволило специалистам приступить в 2010 году к проведению первых расчетов ряда практических задач.

Например, специалистами ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и ОАО «ОКБ Сухого» ведутся работы по созданию детальных компьютерных дискретных моделей большой размерности и решению на суперЭВМ прикладных промышленных задач предприятий авиационной промышленности, таких как:

- аварийная посадка с невыпущенными шасси нового среднемагистрального пассажирского самолета Superjet-100 для подтверждения его безопасности в соответствии с международными авиационными нормами (рис. 9);
- моделирование обрыва лопатки вентилятора нового авиационного газотурбинного двигателя Д30КП «Бурлак» для выявления соответствия конструкции международным требованиям по надежности в условиях тяжелой аварии (рис. 7);
- аэродинамические расчеты маневренного самолета Су-30МКИ в заданных условиях крейсерского полета (рис. 2).

В ОАО «КАМАЗ» начато моделирование динамического деформирования конструкции автомобиля сопровождения КАМАЗ-43269 при взрывных нагружениях (рис. 8).

В ОАО «СПБАЭП» проводится расчетное исследование прочностных свойств корпуса локализации расплава при термонагружении, результаты которого использованы для обоснования безопасности АЭС в условиях гипотетической тяжелой аварии, сопровождающейся выходом расплава за пределы корпуса реактора.

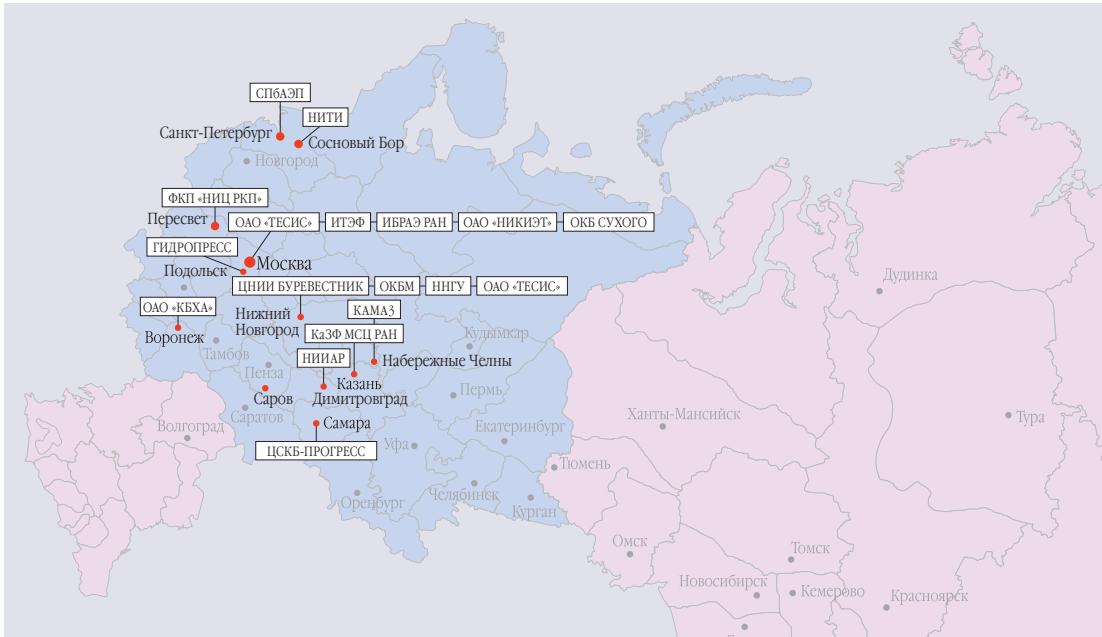
Работы по тестированию адаптированных версий отечественных пакетов имитационного 3D-моделирования на суперЭВМ с массовым параллелизмом и их внедрению в работы предприятий в 2011 году будут продолжены, что позволит существенно расширить перечень решаемых в интересах предприятий практических задач.

В рамках работ 2010 года по созданию базового ряда суперЭВМ специалистами ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» создана универсальная компактная суперЭВМ (КС-ЭВМ) терафлопсного класса (рис. 4). Это новый продукт на российском рынке вычислительной техники, предназначенный для массового внедрения в промышленность, науку, образование.

Образец КС-ЭВМ в 2010 году принят государственной комиссией и рекомендован к серийному производству. В заключении государственной комиссии отмечено, что КС-ЭВМ разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – уникальная разработка и по совокупности параметров обладает передовыми в России техническими и экономическими характеристиками, а по ряду параметров (шумоподавление, соотношение цена/производительность) – передовыми в мире. Разработчикам КС-ЭВМ вручен патент на полезную модель.

Универсальная компактная суперЭВМ оснащена первыми версиями отечественных пакетов программ имитационного 3D-моделирования разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ориентированных на решение трехмерных задач инженерного анализа с целью повышения точности и уменьшения сроков проведения расчетов при проектировании и создании новых конкурентоспособных образцов техники на предприятиях высокотехнологичных отраслей промышленности.

10



ГЕОГРАФИЯ УДАЛЕННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

По итогам 2010 года во ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» произведен 21 экземпляр КС-ЭВМ. 15 экземпляров универсальной компактной суперЭВМ поставлены 11 предприятиям и организациям, соисполнителям проекта. В том числе в ОАО «ОКБ Сухого» (Москва), ОАО «ОКБМ Африкантов» (Нижний Новгород), ОАО «Атомэнергопроект» (Санкт-Петербург), ОАО «ОКБ «Гидропресс» (Подольск), ОАО «КАМАЗ» (Набережные Челны), ФКП «НИЦ РКЦ» (Пересвет), ОАО «КБ химавтоматики» (Воронеж), ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» (Самара) и др. Кроме того, еще 6 универсальных компактных суперЭВМ поставлены в разные организации страны на коммерческой основе.

Совокупное число переданных в 2010 году универсальных компактных суперЭВМ разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» на предприятия высокотехнологичных отраслей промышленности составило 30% от числа суперкомпьютеров, используемых в промышленности Российской Федерации.

В 2010 году универсальная компактная суперЭВМ с успехом демонстрировалась на девяти международных выставках и форумах. По итогам работы четырех выставок универсальная компактная суперЭВМ была отмечена дипломами.

Работы по оснащению промышленных предприятий универсальными компактными суперЭВМ будут продолжены. При этом запланировано дальнейшее развитие и совершенствование КС-ЭВМ. Так, в 2011 году будет спроектирована и создана КС-ЭВМ производительностью 3 Тфлопс. До конца 2011 года будут осуществлены ее поставки в ряд организаций – соисполнителей проекта.

Отметим, что одним из ключевых компонентов суперЭВМ является высокопроизводительная коммуникационная сеть. Ее характеристики во многом определяют общие показатели эффективности применения параллельных вычислительных машин для научных и инженерных расчетов.

На основе имеющегося во ВНИИЭФ опыта создания собственной коммуникационной технологии СМПО (система межпроцессорного обмена) и анализа большого объема данных по использованию других коммуникационных технологий при массовых численных расчетах во ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» с соисполнителями развернуты работы по созданию новой отечественной версии СМПО (рис. 6).

В рамках работ по созданию базового ряда суперЭВМ специалистами ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» решена крупная задача государственного масштаба по созданию высокопроизво-

дительного вычислительного комплекса нового поколения. С опережением ранее запланированных сроков на девять месяцев, 21 февраля 2011 года суперЭВМ петафлопсного класса успешно прошла приемочные испытания и по решению государственной комиссии введена в эксплуатацию. Созданная суперЭВМ является самой мощной в России и базируется на передовых технических и архитектурных решениях. Вычислительный комплекс оснащен системным программным обеспечением, основные компоненты которого разработаны или адаптированы специалистами РФЯЦ-ВНИИЭФ. В процессе выполнения работ при оптимальных затратах на разработку достигнуты высокие показатели по производительности, эффективности и надежности вычислительных систем.

Создание высокопроизводительного вычислительного комплекса еще раз подтвердило лидирующие позиции Госкорпорации «Росатом» в области комплексных суперкомпьютерных технологий.

Значительная часть вычислительных ресурсов ВВК будет выделена предприятиям высокотехнологичных отраслей промышленности для проведения наукоемких расчетов в удаленном защищенном режиме в интересах проектирования и разработки продукции. Практика показывает, что эта услуга очень востребована. В 2010 году такой предоставленной ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» возможностью воспользовались около 20 предприятий и организаций из Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Воронежа, Самары, Дмитровграда, Набережных Челнов, Казани и других городов (рис. 10).

Растущий интерес предприятий и организаций к внедрению технологий удаленных высокопроизводительных вычислений в практику деятельности определяет перспективы дальнейшего развития сети. В 2011 году запланировано предоставить такую возможность более чем 10 организациям. Реализация этого плана будет конкретным примером того, что Госкорпорации «Росатом» суперкомпьютеры нужны не для рекордов, а для удовлетворения стратегических интересов российской промышленности и науки, для ускорения создания и внедрения новой техники, для повышения конкурентоспособности России в передовых, инновационных отраслях экономики нового тысячелетия.

В этой связи важно отметить, что именно такой взгляд – нацеленность на конечный результат и на конечного потребителя – ставится во главу угла учрежденной в 2010 году «Национальной суперкомпьютерной технологической платформой».

«Национальная суперкомпьютерная технологическая платформа» является формой реализации института государственно-частного партнерства и инструментом осуществления научно-технической и инновационной политики на приоритетном направлении технологической модернизации российской экономики – «суперкомпьютерные и грид-технологии».

Осознавая, что «Национальная суперкомпьютерная технологическая платформа» — это шанс России занять достойное место в ряду ведущих инновационных экономик мира, шанс на достойное будущее для ныне живущих и будущих поколений россиян, Госкорпорация «Росатом» стала одной из первых ведущих отраслей промышленности РФ, заявивших о своем намерении войти в состав платформы, и в 2010 году вошла в ее состав.

Результаты реализации проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» по итогам 2010 года в части решения задач Госкорпорации «Росатом» были рассмотрены на заседании Межведомственной рабочей группы по развитию индустрии суперкомпьютеров в Российской Федерации и их применению в промышленности, которое было проведено в I квартале 2011 года под председательством Сергея Владиленовича Кириенко, генерального директора Госкорпорации «Росатом».

Межведомственная рабочая группа одобрила результаты реализации проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» и констатировала, что в 2010 году создана основа для успешной реализации проекта в целом.