

СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РФЯЦ-ВНИИЭФ ДЛЯ ГРАЖДАНСКИХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. Е. КОСТЮКОВ, В. П. СОЛОВЬЕВ, Р. М. ШАГАЛИЕВ, А. Н. ГРЕБЕННИКОВ

В настоящее время во всем мире идет стремительное развитие суперкомпьютерных технологий. Программы по данному направлению во всех промышленно развитых странах входят в число наиболее приоритетных, и их реализация осуществляется под контролем и при мощной государственной поддержке.

Такие программы ставят своей задачей достижение лидерства в различных направлениях как развития компонент самих суперкомпьютерных технологий, так и достижения с их использованием лидирующих позиций в высокотехнологичных отраслях, а также вытеснение конкурентов с мировых рынков (например, монополия США на рынке строительства АЭС).

Отставание России в данной области грозит серьезными последствиями для развития отечественных высокотехнологичных отраслей промышленности.

Ключевой задачей суперкомпьютерных технологий является 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 Госкорпорации «Росатом» методы имитационного моделирования находят широкое применение в работах Российских федеральных ядерных центров. Это обусловлено сложностью и многообразием процессов физики высоких плотностей энергии. В частности, в РФЯЦ-ВНИИЭФ накоплен огромный опыт в области имитационного моделирования на высокопроизводительных вычислительных системах, которое рассматривается как ключевой инструмент технологии проведения исследований в условиях отсутствия ядерных испытаний.

В последние годы во ВНИИЭФ организованы работы по созданию отечественных пакетов программ для имитационного моделирования, ориентированных на решение задач гражданских от-

раслей. В основу этих пакетов программ заложены математические подходы и алгоритмы, обеспечивающие эффективный счет в режиме массовых параллельных вычислений.

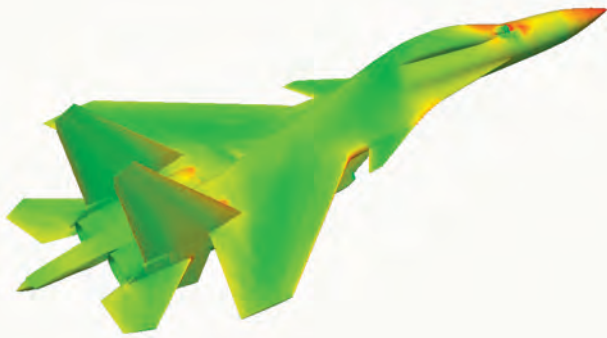
На выездном заседании Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России, которое состоялось 22 июля 2009 г. в г. Сарове, был рассмотрен выдвинутый по инициативе ВНИИЭФ проект, направленный на развитие отечественных суперкомпьютерных технологий и их внедрение в работы предприятий наукоемких отраслей промышленности в целях создания конкурентоспособной отечественной высокотехнологичной продукции.

По результатам обсуждения Комиссии одобрен и принят к исполнению в период 2010–2012 гг. проект «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий», для реализации которого от Госкорпорации «Росатом» в качестве головной организации привлечен ВНИИЭФ.

Исходя из масштабности запланированных работ и сжатых сроков их реализации, организована широкая кооперация. Участниками проекта выступают крупнейшие предприятия Госкорпорации «Росатом»: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ОАО «ОКБМ Африкантов», ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», ОАО «СПБАЭП» и другие, а также крупнейшие предприятия промышленного комплекса и ведущие российские научно-исследовательские и академические институты: ОАО «Компания "Сухой"», ОАО «КАМАЗ», организации Роскосмоса, Курчатовский институт, институты Российской академии наук.

ВНИИЭФ является ведущим исполнителем по следующим направлениям работ:

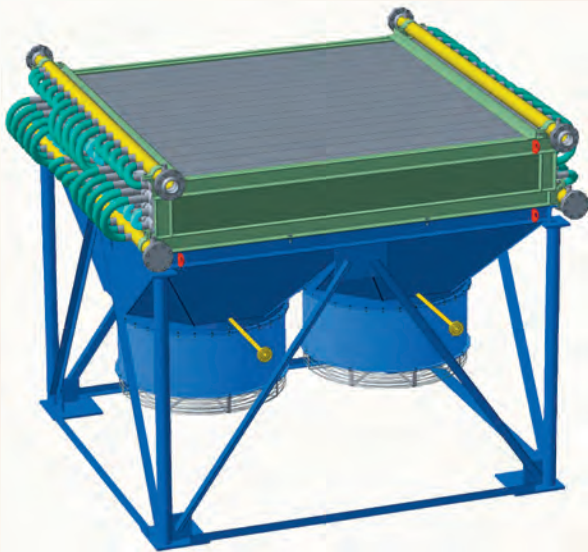
- создание отечественного базового программного обеспечения для комплексного имитационного 3D-моделирования на суперЭВМ с массовым параллелизмом;
- внедрение созданных отечественных пакетов программ базового ПО в интересах проектирования и разработки новых образцов техники в высокотехнологичных отраслях промышленности;
- разработка базового ряда суперЭВМ.



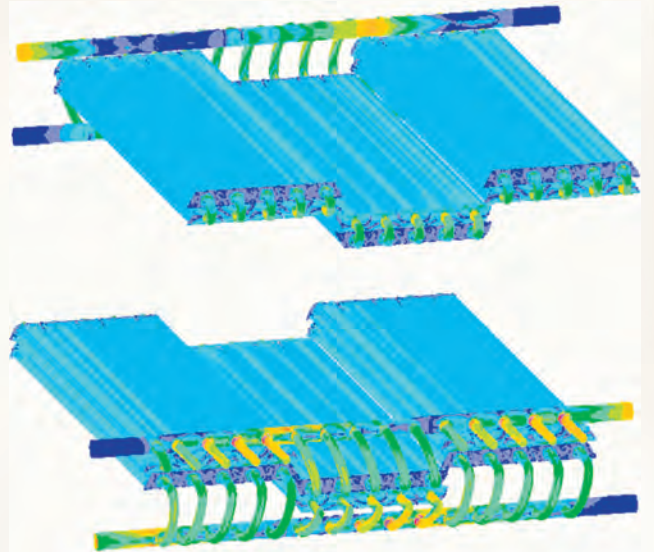
а



б



в



г

Рис. 1. Применение пакета ЛОГОС для решения задач авиастроения (а), автомобилестроения (б), атомной энергетики (в, г)

Каждое из этих направлений является достаточно крупной задачей, требующей привлечения больших коллективов разработчиков и кооперации.

Работы по созданию базового отечественного программного обеспечения играют ключевую роль в проекте. Речь идет о разработке отечественных пакетов программ для эффективного проведения на суперЭВМ расчетного 3D-моделирования широкого спектра задач, востребованных в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Настоятельная потребность в такой работе связана с тем, что в настоящее время большинство предприятий и организаций таких отраслей, как атомная энергетика, нефтегазовая отрасль, авиационная и космическая индустрия и

др., используют зарубежные коммерческие программные пакеты для проведения инженерного анализа в своих работах по проектированию и обоснованию безопасности.

Особенно критическая ситуация в области прикладного программного обеспечения сложилась в атомной энергетике как отрасли, требующей особого отношения к вопросам безопасности.

Ситуация с широкомасштабным использованием подобных зарубежных программных пакетов, помимо экономической зависимости от зарубежных разработчиков, является серьезным сдерживающим фактором развития и внедрения суперкомпьютерных технологий в наукоемкие отрасли нашей страны в силу следующих причин:

- ограниченные, а зачастую, полностью отсутствующие возможности по развитию данных

программных пакетов (внедрение более совершенных физико-математических моделей и алгоритмов и т. д.) в силу их закрытости и зависимости от зарубежных разработчиков;

- невозможность использования зарубежных кодов для проведения расчетного моделирования на ЭВМ с массовым параллелизмом. Большинство из них предназначены для расчетов в однопроцессорном режиме, либо на ограниченном числе процессоров (несколько десятков) ЭВМ, что делает невозможным проведение моделирования с высокой степенью детализации объекта.

Данные зарубежные программные пакеты недоступны отечественным организациям, занимающимся разработками в сфере военных приложений. Более того, существуют обоснованные опасения, что зарубежные поставщики в силу либо политических, либо экономических причин могут уже в ближайшее время ужесточить или совсем закрыть доступ к своим программным продуктам для предприятий и организаций РФ, и в первую очередь, для предприятий Росатома.

Таким образом, вопрос выживания и конкурентоспособности наших наукоемких отраслей будет зависеть от того, насколько быстро отечественные программные пакеты будут готовы заменить импортные и насколько быстро российские предприятия внедрят современные технологии компьютерного моделирования на суперЭВМ.

В рамках работ по проекту, ВНИИЭФ со своими партнерами разрабатывает четыре программных пакета для расчетного моделирования на суперЭВМ.

1. Пакет ЛОГОС разработан для расчета 3D задач тепломассопереноса и аэро-, гидро-, газодинамики. Пакет предназначен для расчета стационарных и нестационарных течений вязкого

газа, ламинарных и турбулентных течений, несжимаемых и сжимаемых течений; вязких течений с учетом конвективного теплообмена, течений в пористой среде; теплопереноса; деформирования конструкций при статических нагрузках. Области применения: атомная энергетика, нефтегазовая отрасль, авиакосмическая отрасль, автомобилестроение и т. д., пример ее применения приведен на рис. 1.

2. Пакет DANCO+ГЕПАРД предназначен для 3D расчетов прочности конструкций при статических и динамических термосиловых нагрузках с учетом больших пластических деформаций. Моделируемые физические процессы: упругопластическое поведение материала в рамках механики сплошной среды с высоким уровнем пластического деформирования; контактное взаимодействие объектов с учетом трения; разрушение, квазистатическое и динамическое нагружение. Область применения: численное исследование поведения строительных конструкций АЭС, корпусов реакторов и элементов реакторного оборудования при действии статических и динамических нагрузок, включая условия аварийных ситуаций. Пакет программ ДАНКО аттестован в РАН, пример его использования показан на рис. 2.

3. Пакет ЛЭГАК-ДК создан для моделирования быстропротекающих процессов аэро-, гидро-, газодинамики и прочности на основе метода конечных элементов. Области применения: атомная энергетика, нефтегазовая отрасль, авиакосмическая отрасль, автомобилестроение и т. д. Примеры решения задач с использованием пакета ЛЭГАК-ДК приведен на рис. 3.

4. НИМФА — для имитационного моделирования процессов фильтрации и тепло-массо-

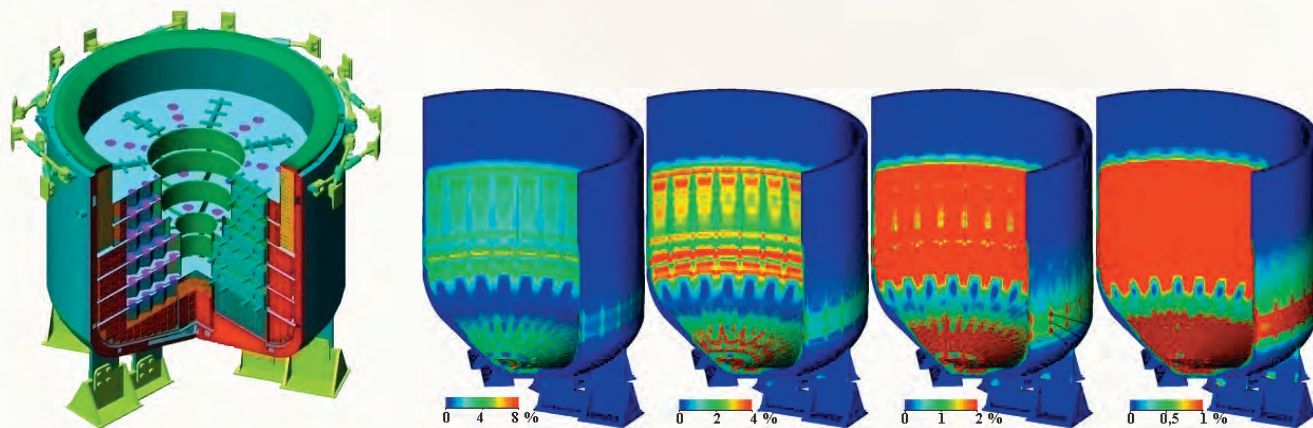
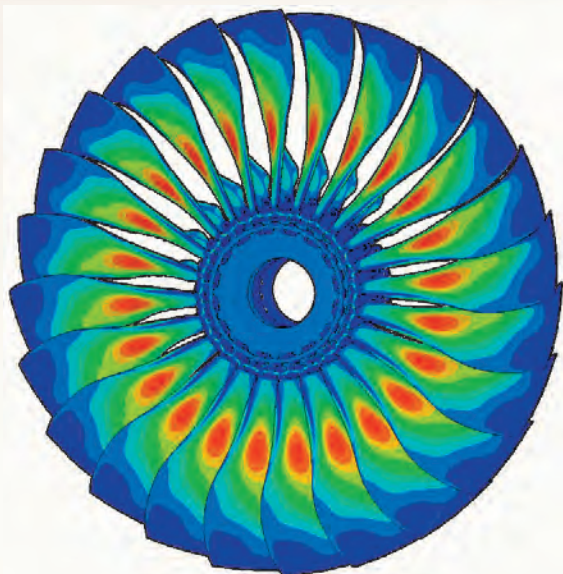
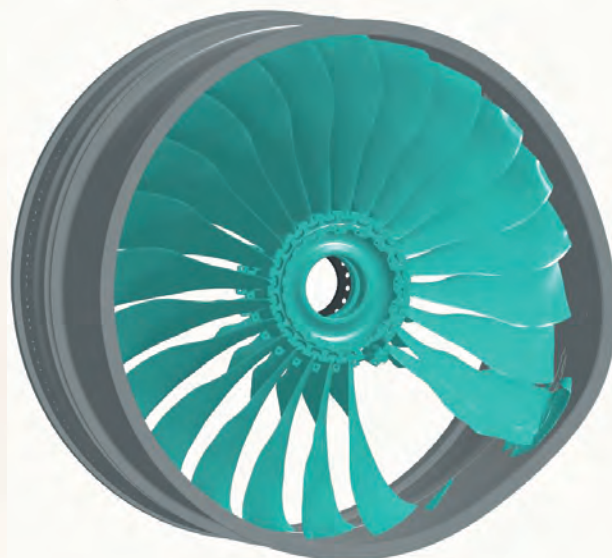


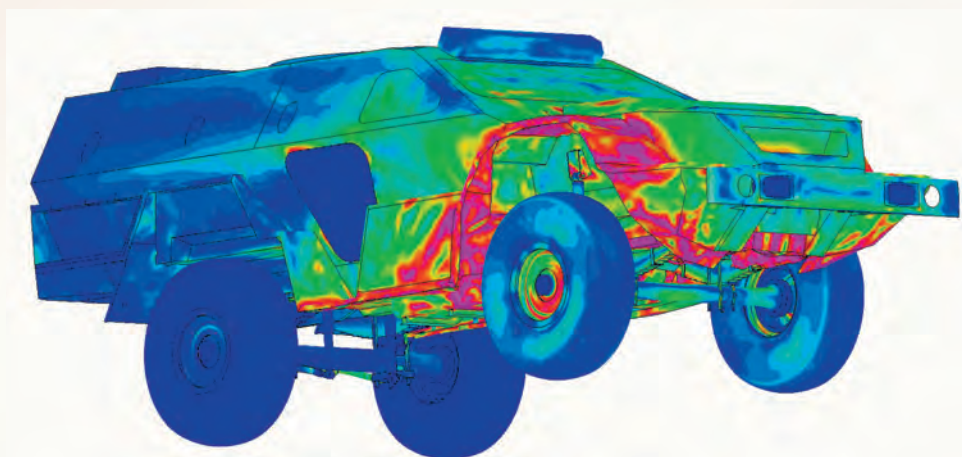
Рис. 2. Пример расчетного моделирования по пакету программ ДАНКО задач ОАО «СПбАЭП» в интересах обоснования проектных решений. Анализ прочности устройства локализации расплава



Напряженно-деформированное состояние вентилятора двигателя Д-30КП «Бурлак» (18 000 000 степеней свободы: время решения — 2 суток на 48 ядрах)



Моделирование динамики деформирования при обрыве лопатки вентилятора двигателя Д-30КП «Бурлак» (5 000 000 элементов: время решения — 2 суток на 200 ядрах)



Моделирование динамики деформирования при подрыве на mine (6 кг ТЭ) бронированного автомобиля сопровождения КАМАЗ-43269 (1 500 000 узлов: время решения — 20 часов на 8 ядрах)

Рис. 3. Применение пакета ЛЭГАК-ДК для решения ряда практических задач

переноса в подземном пространстве со сложной геологической структурой на многопроцессорных ЭВМ (рис. 4). Области применения: нефтегазовая отрасль, атомная энергетика, экологическая безопасность и т. д.

В настоящее время созданы и переданы для опытной эксплуатации на предприятия-участники первые версии указанных программных пакетов. Крупным результатом мирового уровня, достигнутым к настоящему времени, является то, что созданные первые версии оте-

чественных пакетов программного обеспечения позволяют проводить расчеты с использованием до 1000 процессоров. Это в несколько сотен раз ускоряет время проведения отдельного расчета и расширяет возможности проведения многовариантных расчетов.

Разработка базового ряда суперЭВМ подразумевает работы по двум основным направлениям.

1. Разработка и создание суперЭВМ рекордной производительности в вычислительном центре ВНИИЭФ с предоставлением части вычисли-

тельных ресурсов предприятиям и организациям для проведения расчетов с использованием каналов удаленного доступа. Технология использования высокоскоростных каналов связи для проведения расчетов предприятиями и организациями на суперЭВМ крупных вычислительных центров является общепринятой мировой практикой и экономически обоснованным подходом. Такая технология, т. е. проведение расчетного моделирования объемных задач на суперкомпьютерах вычислительного центра ВНИИЭФ с использованием каналов удаленного доступа в защищенном исполнении была опробована в 2008 г. и отлично зарекомендовала себя в работах с такими ведущими организациями ГК «Росатом», как ОАО «ОКБМ Африкантова» (Н. Новгород), ОАО «Атомэнергопроект» (С. Петербург), Институт теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ, Москва), НИИАР (Дмитровград), некоторыми вузами и организациями РАН. К настоящему моменту каналами доступа к вычислительным ресурсам ВНИИЭФ связаны такие организации, как ОАО «ОКБ "Гидропресс"», ФГУП «НИТИ», ЦНИИ «Буревестник», ИБРАЭ РАН и ряд других. Всего в настоящий момент 12 внешних организаций имеют доступ к вычислительным ресурсам ВНИИЭФ.

2. Разработка компактных суперЭВМ (КС-ЭВМ) терафлопсного класса с поэтапным оснащением предприятий и организаций высокотехнологичных отраслей промышленности вычислительными системами для проведения многовариантных модельных расчетов, которые позволяют находить оптимальные конструкторские и технологические решения. В РФЯЦ-ВНИИЭФ разработана и, начиная с апреля 2010 г., передается в организации-участники проекта универсальная компактная суперЭВМ (КС-ЭВМ) производительностью 1,1 терафлопс, которая по совокупности параметров обладает передовыми в России техническими и экономическими характеристиками. КС-ЭВМ оснащается системным и прикладным программным обеспечением разработки ВНИИЭФ. По итогам 2010 г. 15 экземпляров КС-ЭВМ поставлены в 11 предприятий и организаций соисполнителей проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий». В том числе, на ОАО «ОКБМ Африкантов» (Н. Новгород), ОАО «Атомэнергопроект» (С. Петербург), ОАО ОКБ «Гидропресс» (Подольск), ФКП НИЦ РКЦ (Пересвет) и ОАО «КБ ХимАвтоматики» (Воронеж) ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» (Самара), ОАО «ОКБ Сухого» (Москва), ОАО «КАМАЗ» (Набережные Челны) и др. Кроме того,

еще 6 универсальных компактных суперЭВМ поставляются в разные организации страны на коммерческой основе.

Важно отметить, что все поставленные на предприятия универсальные компактные суперЭВМ включены в производственный процесс. С этой целью 140 специалистов предприятий-пользователей из высокотехнологичных отраслей промышленности прошли в течение 2010 г. специальное обучение на базе разработчиков универсальной компактной суперЭВМ во ВНИИЭФ. В ходе обучения приглашенные специалисты освоили работу на универсальной КС-ЭВМ, возможности системного программного обеспечения КС-ЭВМ, применение новых суперкомпьютерных технологий на основе отечественного программного обеспечения имитационного моделирования в интересах решения задач своих предприятий.

Результирующим направлением работ в проекте «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» является внедрение разрабатываемых компонент суперкомпьютерных технологий в работы выделенных предприятий базовых отраслей промышленности. В течение трех лет работ по проекту базовые пакеты программ имитационного моделирования, которые по функциональным возможностям будут в состоянии решать стратегически важные классы задач, пройдут стадию верификации и валидации и будут сданы в опытную эксплуатацию на этих предприятиях.

В реализации этого направления проекта нашими стратегическими партнерами являются:

- в авиастроении: ОАО «Компания "Сухой"» и НПО «Сатурн» — разработка и реализация концепции «виртуальный самолет (двигатель)» для отработки новых образцов авиационной техники;

- в атомной энергетике: ОАО «ОКБМ Африкантов», ОАО ОКБ «Гидропресс», ОАО «СПбАЭП», ФГУП «НИТИ», ОАО «ВНИИАЭС» — реализация концепции «виртуальная АЭС с реакторной установкой ВВЭР» для расчетного моделирования на суперЭВМ с целью верификации проектных решений, информационной поддержки эксплуатирующей организации и сопровождения АЭС на всем жизненном цикле и реализация концепции «виртуальная корабельная ЯЭУ» для обоснования эксплуатационных и ресурсных характеристик корабельной РУ;

- в автомобилестроении: ОАО «КАМАЗ» — реализация концепции «виртуальный автомобиль» для отработки образцов автомобильной

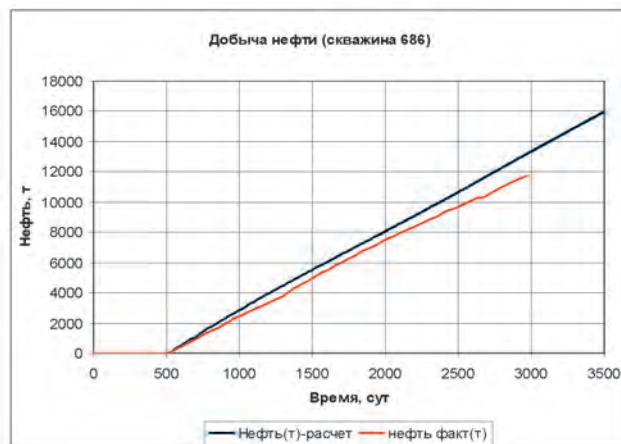
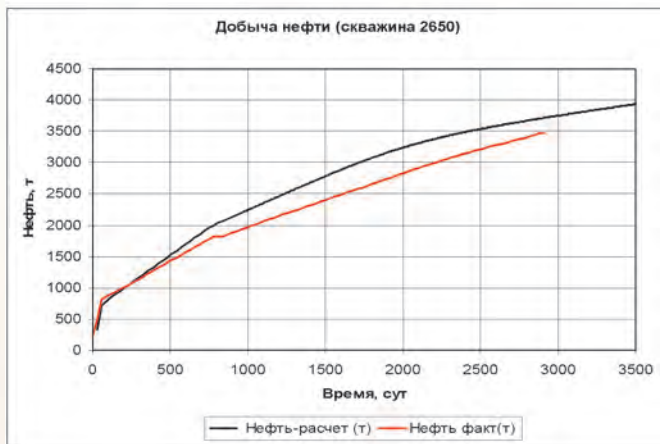
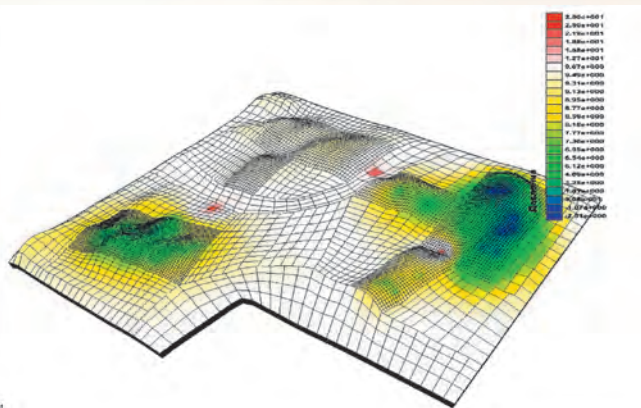


Рис. 4. НИМФА. Применение пакета программ для анализа запасов нефтяных месторождений

техники в части оптимизации весовых характеристик, внешней аэродинамики и взрывозащищенности применительно к моделям марки КАМАЗ;

- в ракетно-космической отрасли: ФКП «НИЦ РКП», ОАО «КБ ХимАвтоматики», ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» — реализация возможности виртуального моделирования для оптимизации конструкций основных агрегатов двигателя РД-0146 ракетных носителей «АНГАРА-А5».

Ключевым результатом проекта в 2012 г. будет внедрение созданных суперкомпьютерных технологий на выделенных предприятиях высокотехнологичных отраслей промышленности Российской Федерации. Ожидаемыми результатами применения суперкомпьютерных технологий, разрабатываемых в рамках проекта, являются:

- минимизация дорогостоящих натуральных экспериментов в подтверждение проектных решений и обоснования безопасности разрабатываемых изделий;
- сокращение объема НИОКР в инновационных проектах;

- снижение сроков разработки и проектирования наукоемкой продукции.

Успешная реализация проекта позволит приступить к решению проблемы информационно-технологического перевооружения высокотехнологичных отраслей промышленности РФ на основе суперкомпьютерных технологий.

КОСТЮКОВ Валентин Ефимович – директор РФЯЦ-ВНИИЭФ, доктор техн. наук, лауреат Государственной премии

СОЛОВЬЕВ Вячеслав Петрович – первый заместитель директора РФЯЦ-ВНИИЭФ, директор ИТМФ, доктор физ.-мат. наук, лауреат Государственной премии и премии Правительства РФ

ШАГАЛИЕВ Рашит Мирзагалиевич – начальник математического отделения ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ, доктор физ.-мат. наук, лауреат Государственной премии и премии Правительства РФ

ГРЕБЕННИКОВ Андрей Николаевич – зам. начальника отделения ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ, кандидат физ.-мат. наук