

Погосян М.А.¹, Савельевских Е.П.², Стрелец Д.Ю.², Корнев А.В.²

¹ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация». РФ, г. Москва

²ОАО «ОКБ Сухого». РФ, г. Москва

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

22 июля 2009 года в соответствии с решением Комиссии при Президенте РФ по модернизации и технологическому развитию экономики был принят проект «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий».

Реализация данного проекта поручена Госкорпорации «Росатом». Проект рассчитан на три года и направлен на создание в России индустрии суперкомпьютерных вычислений, включая базовый ряд суперкомпьютеров различной производительности, высокоскоростные каналы связи, программные средства имитационного моделирования с высокой степенью распараллеливания, подготовку специалистов в области суперкомпьютерных технологий (СКТ).

Главным исполнителем проекта является ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (г. Саров). ОАО «ОКБ Сухого» и его основные партнеры: ФГУП «ЦАГИ», ФГУП «ЦИАМ», ОАО «НПО «Сатурн», ОАО «ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова», ООО «Саровский Инженерный Центр», ФГУП «ЦНИИМаш», ИПМ РАН, а с 2012 г. и ОАО «Камов» (рис. 1), — осуществляют внедрение суперкомпьютерных технологий (СКТ) в процесс создания новой и модернизации существующей авиационной техники. Ожидаемые результаты должны позволить авиастроителям не только повысить качество продукции, но и существенно снизить ее стоимость, а также улучшить прогнозирование, планирование и управление самыми разными процессами. Помимо направления авиации предполагается внедрение результатов проекта и в другие отрасли промышленности, в частности, в

атомную энергетику, в автомобилестроение и ракетно-космическую отрасль.

В рамках проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» создается аппаратно-программный комплекс для высокопроизводительных вычислений конкурентоспособный западному. В данный момент в Сарове запущен самый мощный суперкомпьютер в РФ (производительность компьютера составляет 1 Петафлопс/с, он находится на 12 месте в мировом рейтинге суперкомпьютеров Топ-500, (рис. 2)) и организован вычислительный центр коллективного доступа (ВЦКП), к которому по высокопроизводительным каналам связи подключены предприятия и организации различных отраслей промышленности, включая ОАО «ОКБ Сухого» (в 2011 г. в ОКБ Сухого был создан суперкомпьютерный центр, откуда осуществляется доступ к машине в Сарове, (рис. 3)) и ФГУП «ЦИАМ».

На этой машине решаются задачи большой размерности без допущений и упрощения постановки, которые требуют многовариантных модельных расчетов для получения оптимальных конструкторских и технических решений при проектировании деталей, узлов, агрегатов и систем сложных технических объектов. В области авиации — это, в первую очередь, задачи, необходимые для сертификации пассажирского самолета по пункту обеспечения безопасности при аварийной посадке в случае отказа шасси, посадке на воду, разрыве пневматика, попадании посторонних предметов на вход в двигатель, обрыве лопатки компрессора двигателя, ударе птицы и др. В ближайшем будущем в удаленном режиме мы также планируем

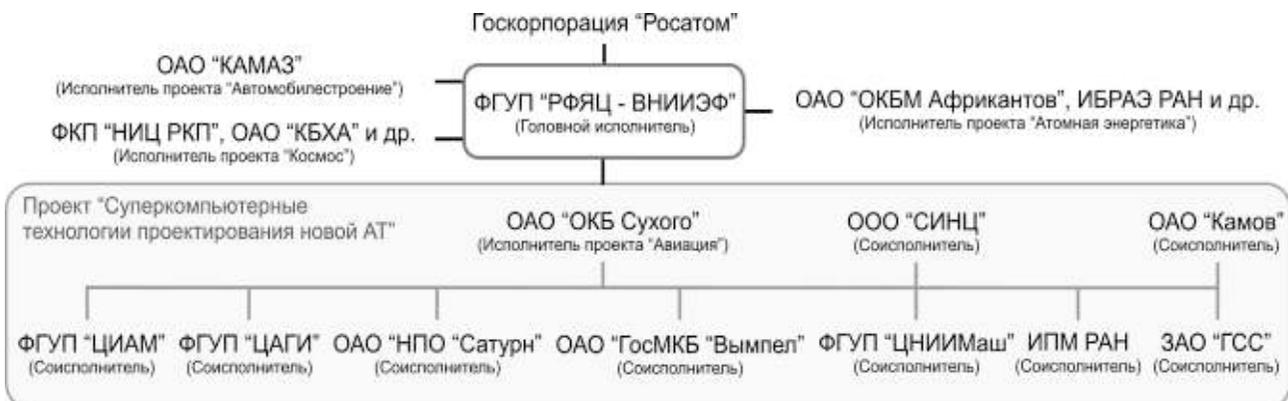


Рис. 1. Кооперация проекта, обеспечивающая внедрение результатов в высокотехнологичные отрасли промышленности



Рис. 2. Суперкомпьютер ВЦКП РФЯЦ-ВНИИЭФ
(производительность компьютера составляет 1 Петафлопс/с)

ем решать задачи аэроупругости, нестационарной аэродинамики, связанного и сопряженного теплообмена, сложного контактного взаимодействия. Это порядка 30–40% от общего объема расчетных задач, которые решает наше предприятие при создании новых образцов авиационной техники (рис. 4). Сегодня они в основном базируются на экспериментах.

В таблице 1 приведен перечень практически значимых задач из области авиастроения, цель их решения, а также указано текущее состояние их решения в промышленности. Два правых столбца таблицы характеризуют ожидаемый эффект и качественное изменение технологии проектирования в перспективе в результате внедрения суперкомпьютерных технологий.

Таблица 1

№ п/п	Эскиз	Название задачи	Цель решения задачи	Состояние решения задачи в промышленности		Новое качество от внедрения СКТ
				текущее	перспектива	
1. Стационарная аэродинамика						
1.1		Расчет аэродинамических характеристик крыла с отклоненной механизацией	Сократить количество экспериментальных работ	Решается в упрощенной постановке, используются панельные методы	3D-моделирование системы в реальных условиях работы	Точное решение нового класса задач
1.2		Расчет аэродинамических характеристик модели коммерческого самолета (в том числе на больших углах атаки до 30°)	Показать конкурентоспособность отечественных программных комплексов имитационного моделирования	Размерность 20 млн. ячеек	Размерность до 100 млн. ячеек	Возможность эффективного решения задач большой размерности
1.3		Расчет аэродинамических характеристик боевого маневренного самолета				
1.4		Расчет аэродинамических характеристик самолета Sukhoi Superjet-100	Сократить количество экспериментальных работ	В основном натурный эксперимент и испытания	Повышение размерности задачи. Решение без упрощений	Повышение точности расчета, существенное сокращение времени счета
1.5		Расчет аэродинамических характеристик подвесных грузов (старт с катапульты/активный старт) в присутствии носителя Су-30				
1.6		Расчет аэродинамических характеристик 3-х ступенчатого компрессора низкого давления авиационного газотурбинного двигателя	Сократить количество экспериментальных работ	Размерность 3 млн. ячеек	Повышение размерности задачи. Решение без упрощений	Возможность эффективного решения задач большой размерности. Повышение точности.
2. Нестационарная аэродинамика						
2.1		Расчет границы устойчивой работы воздухозаборника (помпаж двигателя)	Сократить количество экспериментальных работ	В основном натурный эксперимент и испытания	3D-моделирование системы в реальных условиях работы	Точное решение нового класса задач

№ п/п	Эскиз	Название задачи	Цель решения задачи	Состояние решения задачи в промышленности текущее	перспектива	Новое качество от внедрения СКТ
3. Тепломассообмен						
3.1		Расчет температурных полей в отсеке оборудования ДА	Повысить КПД СКВ, снизить затраты, сократить количество испытаний	В основном натур-ный эксперимент, расчетные ошибки компенсируются запасами мощнос-ти СКВ	3D-моделирование системы в реальных условиях работы	Точное решение нового класса задач
4. Статическая прочность						
4.1		Расчет НДС секции предкрылка				
4.2		Расчет НДС головной части фюзеляжа маневренного ДА				
4.3		Расчет НДС горизонтального оперения маневренного ДА	Сократить количество экспериментальных работ	Решается в упро-щенной постановке (10...100 тыс. узлов). Неточности расчетов компенсируются повышенными запасами прочности	Повышение размерности задачи. Решение без упрощений	Повышение точности расчета, осуществление со-кращения времени счета
4.4		Расчет НДС подбалочного киль маневренного ДА				
4.5		Расчет несущей способности центропла-на самолета Sukhoi Superjet-100				
4.6		Расчет на устойчивость / несущую способность (в т.ч. в условиях предвзвешенного остовный) отсека Ф5 фюзеляжа самолета Sukhoi Superjet-100	Сократить количество экспериментальных работ	Решается в упро-щенной постановке (10...100 тыс. узлов). Неточности расчетов компенсируются повышенными запасами прочности	Повышение размерности задачи. Решение без упрощений	Повышение точности расчета, существенно со-кращение времени счета
4.7		Расчет на устойчи-вость / несущую спо-собность отсека Ф4 фюзеляжа самолета Sukhoi Superjet-100				
4.8		Расчет несущей спо-собности и разруше-ния крыла самолета Sukhoi Superjet-100				
5. Динамическая прочность						
5.1		Расчет аварийной посадки ДА на ВПП при отказе системы выпуска — уборки шасси	Сертификация самолета	Решается по упрощенной методике. Доказательная база слабая	3D-моделирование системы в реальных условиях работы	Точное решение нового класса задач
5.2		Расчет обрыва лопатки вентилятора гражданского авиа-ционного двигателя в условиях сертифика-ционных испытаний	Сертификация дви-гателя. Сокращение экспериментальных работ	Решается в упрощенной постановке (800 тыс. узлов). Подтверждается только натурным экспериментом	Повышение размер-ности задачи (3...5 млн. узлов)	Повышение точ-ности расчета



Рис. 3. Суперкомпьютерный Центр ОАО «ОКБ Сухого», связанный с ВЦКП РФЯЦ-ВНИИЭФ вычислительной сетью с пропускной способностью до 100 Мбит/с

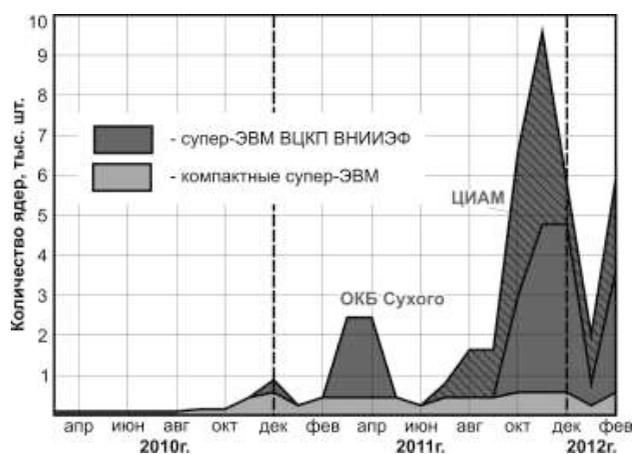


Рис. 4. Загрузка супер-ЭВМ ВЦКП ВНИИЭФ и компактных супер-ЭВМ задачами авиастроения

Оставшаяся часть расчетных задач, требующих интерактивного режима или корректировки в процессе счета, решается на локальных расчетных центрах. Для этого используются собственные ресурсы ОКБ Сухого, а также компактные супер-ЭВМ разработки РФЯЦ-ВНИИЭФ.

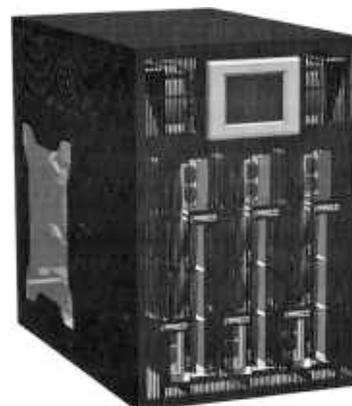
В настоящее время в ОКБ Сухого находятся в промышленной эксплуатации компактные супер-ЭВМ производительностью 1 и 3 Терафлопса (рис. 5). Для их эксплуатации не требуется специальных инженерных сооружений, они малозумные, могут находиться в помещении, где работают люди. Основное назначение таких компактных супер-ЭВМ — обслуживание небольших расчетных групп, в ОКБ Сухого на них работают специалисты основных расчетных подразделений.

Решаются задачи аэродинамики, газодинамики, прочности, вопросы безопасности при эксплуатации авиационной техники.

На компактных супер-ЭВМ установлены первые версии отечественных программ имитационного моделирования разработки РФЯЦ-ВНИИЭФ (рис. 6). Из них для авиационной промышленности



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АПК-1М:
производительность — 1,1 Тфлопс/с
макс. потребляемая мощность — не более 2,2 кВт
габариты — 700 × 600 × 320 мм
количество процессорных ядер — 128
оперативная память — до 1024 Гбайт



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АПК-3:
производительность — 3,3 Тфлопс/с
габариты — 520 × 826 × 760 мм
количество процессорных ядер — 284
оперативная память — до 3072 Гбайт

Рис. 5. Отечественные универсальные компактные супер-ЭВМ АПК-1М и АПК-3 (разработка РФЯЦ-ВНИИЭФ)



Рис. 6. Конкурентоспособное отечественное импортозамещающее программное обеспечение для имитационного моделирования на супер-ЭВМ (разработка РФЯЦ-ВНИИЭФ)

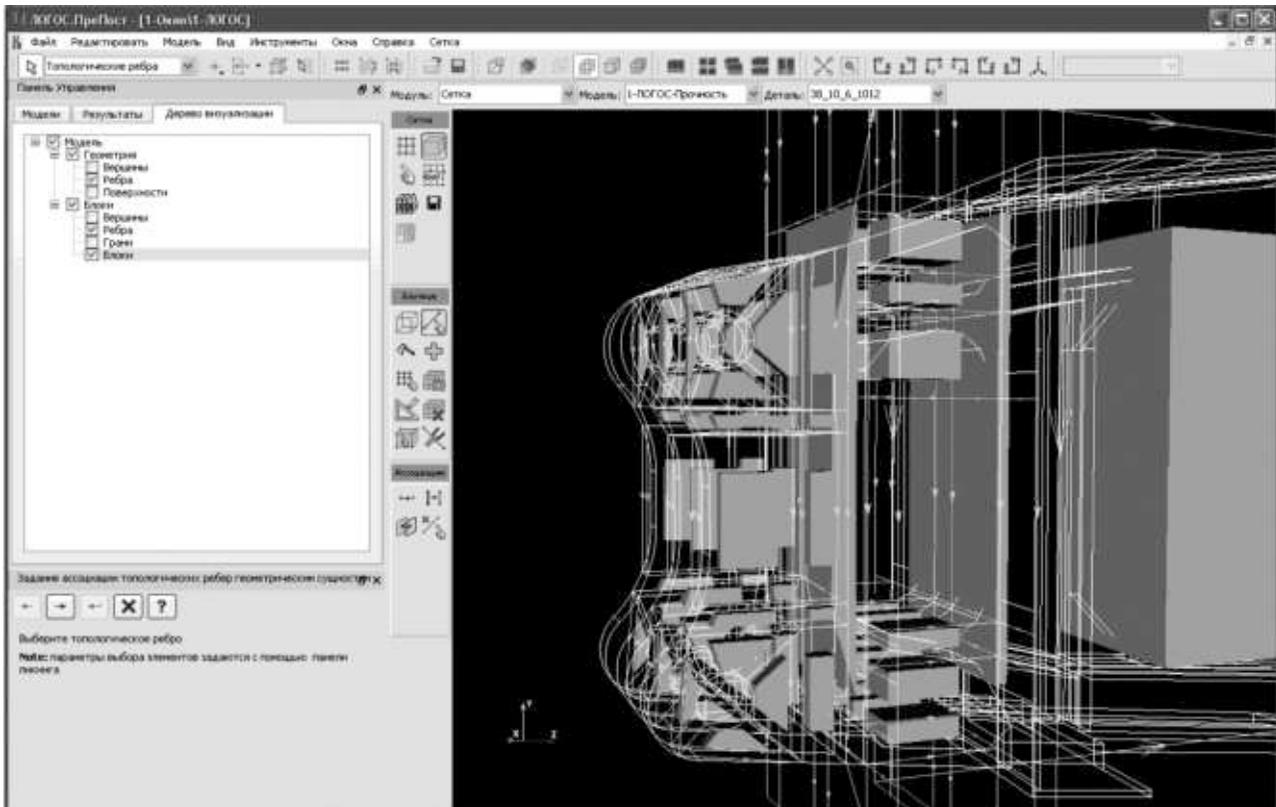


Рис. 7. Прототип КЭ блочно-структурированной сетки, построенной для проведения расчета напряженно-деформированного состояния силовой конструкции ЛА. Сеткогенератор ПК ЛОГОС-Препост. Визуализация ПК ЛОГОС-Препост

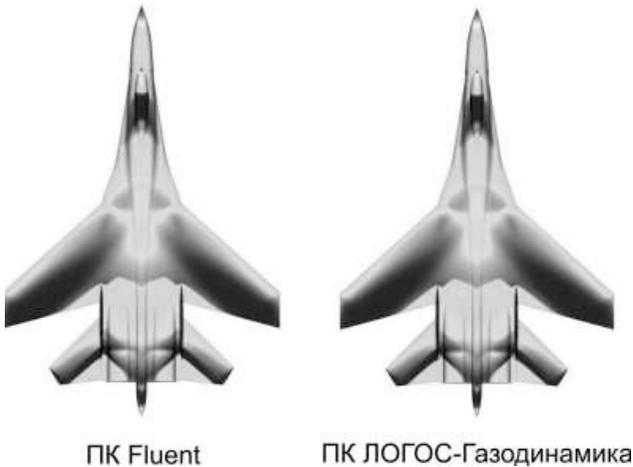


Рис. 8. Расчет аэродинамических характеристик маневренного ЛА. Расчет ПК ЛОГОС-Газодинамика и ПК Fluent. Результаты расчетов идентичны

был адаптирован программный комплекс ЛОГОС, включающий ЛОГОС-Препост, ЛОГОС-Газодинамика, ЛОГОС-Гидродинамика, ЛОГОС-Тепло, ЛОГОС-Адаптивность, ЛЭГАК-ДК, а так же специальное системное программное обеспечение, необходимое для эффективного использования ресурсов компактной супер-ЭВМ при коллективном (многопользовательском) доступе: JAM, ЕСУЗ, OpenSTK, СПРУТ и др.

ПК ЛОГОС-Препост (LOGOS_PrePost) предназначен для адаптации геометрии исследуемого объекта, генерации сеток, подготовки, выполнения и анализа результатов расчетов, в том числе и в междисциплинарной постановке (рис. 7). В случае проведения расчетов для моделей большой размерности анализ результатов с помощью ПК ЛОГОС-Препост может проводиться удаленно в параллельном режиме на специализированных кластерах визуализации.

ПК ЛОГОС-Газодинамика (LOGOS_TVD) предназначен для расчета течений сжимаемого вязкого газа в задачах внешней и внутренней аэрогазодинамики, как в стационарной, так и в нестационарной постановках, с использованием современных модификаций RANS, DES, LES моделей турбулентности (рис. 8).

ПК ЛОГОС-Гидродинамика (LOGOS_SIMPLE) предназначен для расчета несжимаемых и слабосжимаемых вязких турбулентных течений в задачах определения характеристик течений жидкостей в гидравлических системах, системах жидкостного охлаждения, системах кондиционирования летательных аппаратов (рис. 9).

ПК ЛОГОС-Тепло (LOGOS_HEAT) предназначен для расчета распространения тепла в твердом теле и в неподвижной жидкости, а также расчета переноса тепла излучением в оптически прозрачных средах.

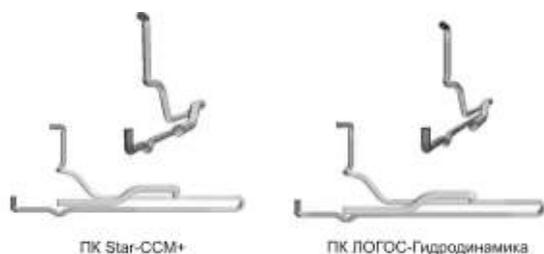


Рис. 9. Расчет течения в фрагменте системы жидкостного охлаждения оборудования ЛА. Расчет ПК ЛОГОС-Гидродинамика и ПК Star-CCM+. Результаты расчетов идентичны

ПК ЛОГОС-Адаптивность (LOGOS_ADAPTIVE) предназначен для расчета трехмерных ламинарных и турбулентных, стационарных и нестационарных течений жидкости и газа в областях с неподвижными и подвижными геометриями на адаптивно-встраиваемых сетках (рис. 10).

ПК ЛЭГАК-ДК (LOGOS_SA) предназначен для расчета квазистационарного напряженно-деформированного состояния (НДС) с учетом термоупругости, упругопластических течений в лагранжевых переменных, задач теплопроводности в твердом

теле, задач модального анализа, контактного взаимодействия, перестройки сетки и пересчета величин на эйлеровом этапе, детонации, динамики недеформируемого твердого тела (рис. 11).

Важным направлением работ в рамках Проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» является формирование доверия к программному продукту со стороны пользователей, определение области его применимости, создание методик по его использованию и внедрение их в реальный процесс проектирования изделий авиационной техники.

В 2010–2011 гг. годах ОКБ Сухого совместно с партнерами была проведена широкомасштабная валидация отечественных программных комплексов имитационного моделирования ЛОГОС и ЛЭГАК-ДК (рис. 12), было решено более 4,5 тысяч задач и проведено более 6,5 тысяч натурных испытаний в интересах Проекта. В результате создан валидационный базис, максимально охватывающий область эксплуатации современных ЛА и позволяющий объективно оценить возможности программных комплексов имитационного моделирования, обосновать их использование в авиационной промышленности.

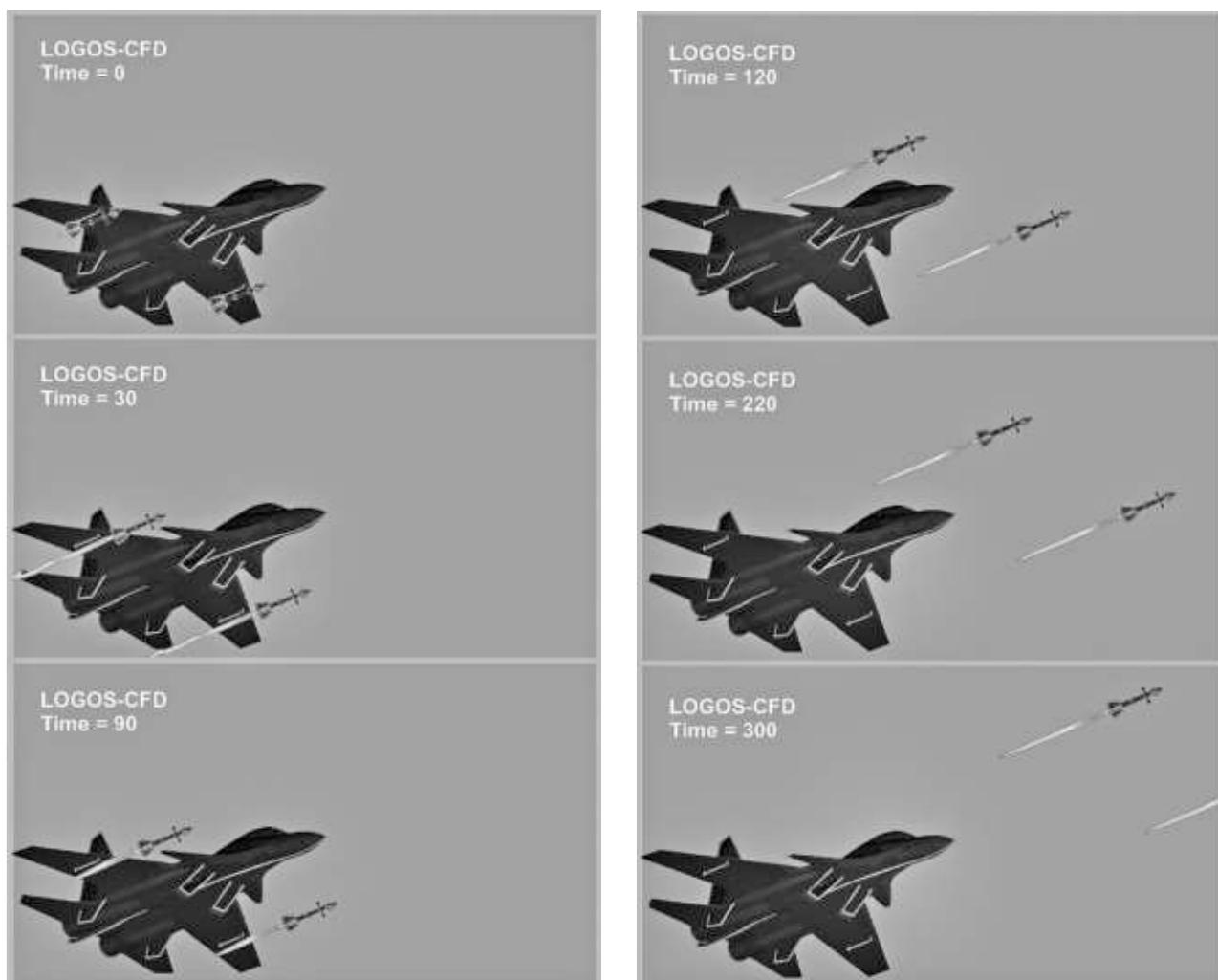


Рис. 10. Расчет аэродинамических характеристик отделяемых грузов от носителя. Расчет ПК ЛОГОС-Адаптивность



Рис. 11. Интенсивность напряжений в элементах силовой конструкции ЛА. Расчет ПК ЛЭГАК-ДК и ПК LS-DYNA. Результаты расчетов идентичны

В качестве метода валидации используется метод стандартных блоков. Исследуемая сложная техническая система (самолет, двигатель, авиационная ракета) делится на три постепенно упрощающихся уровня: уровень подсистем, эталонный уровень и уровень единичных задач. Принцип данного подхода заключается в оценке того, насколько точно результаты вычислений совпадают с экспериментальными данными для различных уровней сложности.

Каждый этап процесса отображает отдельный уровень связности физической и геометрической сложности. Полная система включает в себя реальные изделия или систему, для которой проводится

имитационное моделирование. Все явления, обусловленные геометрией и физикой процесса, происходят одновременно и соответствуют многопрофильным физическим явлениям. Случаи решений на уровне подсистем отображают первое разбиение реальных изделий на упрощенные. Каждый из этих случаев демонстрирует ограниченные геометрические и физические свойства по сравнению с полной системой. Эталонный уровень представляет собой следующий уровень последовательного разбиения полной системы. Для случаев на этом уровне собираются отдельные элементы для отображения основных характеристик каждой подсистемы. Эталонные решения геометрически проще случаев на уровне подсистем и число связанных физических процессов для них ограничено. Единичные задачи отображают окончательное разбиение полной системы и включают очень простую геометрию с одним физическим процессом.

Каждый из этих уровней характеризуется также разным объемом экспериментальных данных, имеющих для исходных и граничных условий, разными требованиями к экспериментальной погрешности измерений.

Валидационный базис, построенный на основе метода стандартных блоков, является согласованной и достаточной системой тестов с соответствующими критериями, посредством которых можно уверенно подтвердить достоверность всех аспектов программ-

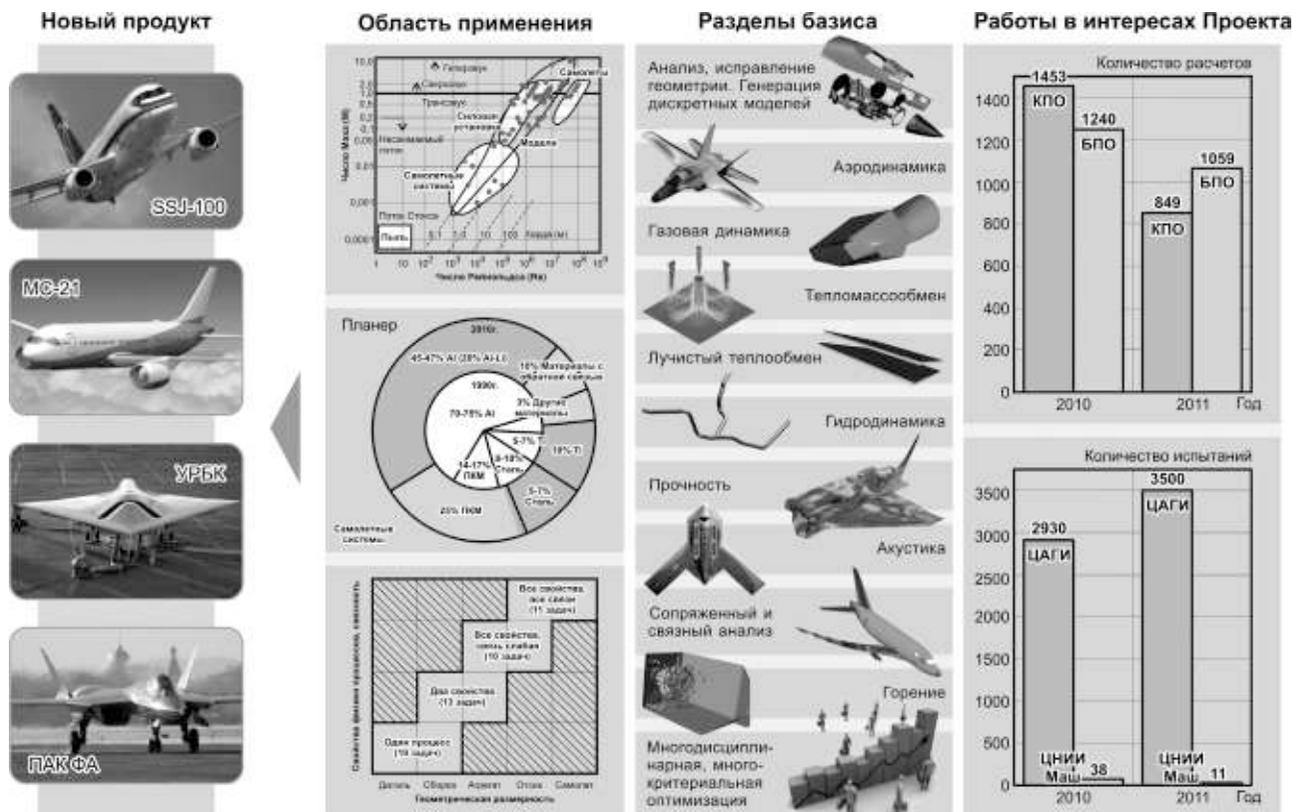


Рис. 12. Валидационный базис Проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» по направлению «Авиация»

СТАТЬИ РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ ПО ВОПРОСАМ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ



ных средств имитационного моделирования для решения задач в интересах создания новых образцов авиационной техники.

На базе созданного валидационного базиса была проведена оценка результатов работы отечественных программных комплексов имитационного моделирования ЛОГОС и ЛЭГАК-ДК. Оценка проводилась по четырем критериям: точность расчета, время счета, расход оперативной памяти и эффективность распараллеливания. В сравнении с зарубежными аналогами отечественные программные комплексы показали более высокую точность для некоторых задач аэродинамики, прочности и высокую эффективность распараллеливания, но пока уступают по суммарному времени счета.

Еще одной проблемой для предприятий авиационной промышленности в области имитационного моделирования является отсутствие высокоэффективных отечественных средств генерации дискретных сеточных моделей большой размерности. Здесь из-за сложности, неустойчивости и слабой функциональности отечественных решений большинство пользователей предпочитают использовать обходные технологии, в основном построенные на импортных программных продуктах. Оче-

видно, что при реализации Проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» в 2012 г. решению данной проблемы должно быть уделено особое внимание.

Единое информационное пространство Проекта обеспечивается специально созданным для этих целей инструментом — единой базой данных (рис. 13). Основное назначение единой базы данных (ЕБД) — это актуальный, непротиворечивый, мобильный и единственный источник достоверной информации для всех участников Проекта в рамках их компетенции. ЕБД содержит:

1. Набор типовых тестовых задач по аэродинамике, прочности, газодинамике и тепловому анализу для проведения верификации и валидации программного обеспечения имитационного моделирования, каждая типовая тестовая задача включает в себя описание постановок и результаты, основанные на аналитическом решении и достоверном экспериментальном подтверждении результата, а также согласованные с другими численными решениями, полученными на основе различных лицензионных программных средств;

2. Дистрибутивы действующего на момент публикации программного обеспечения с документаци-

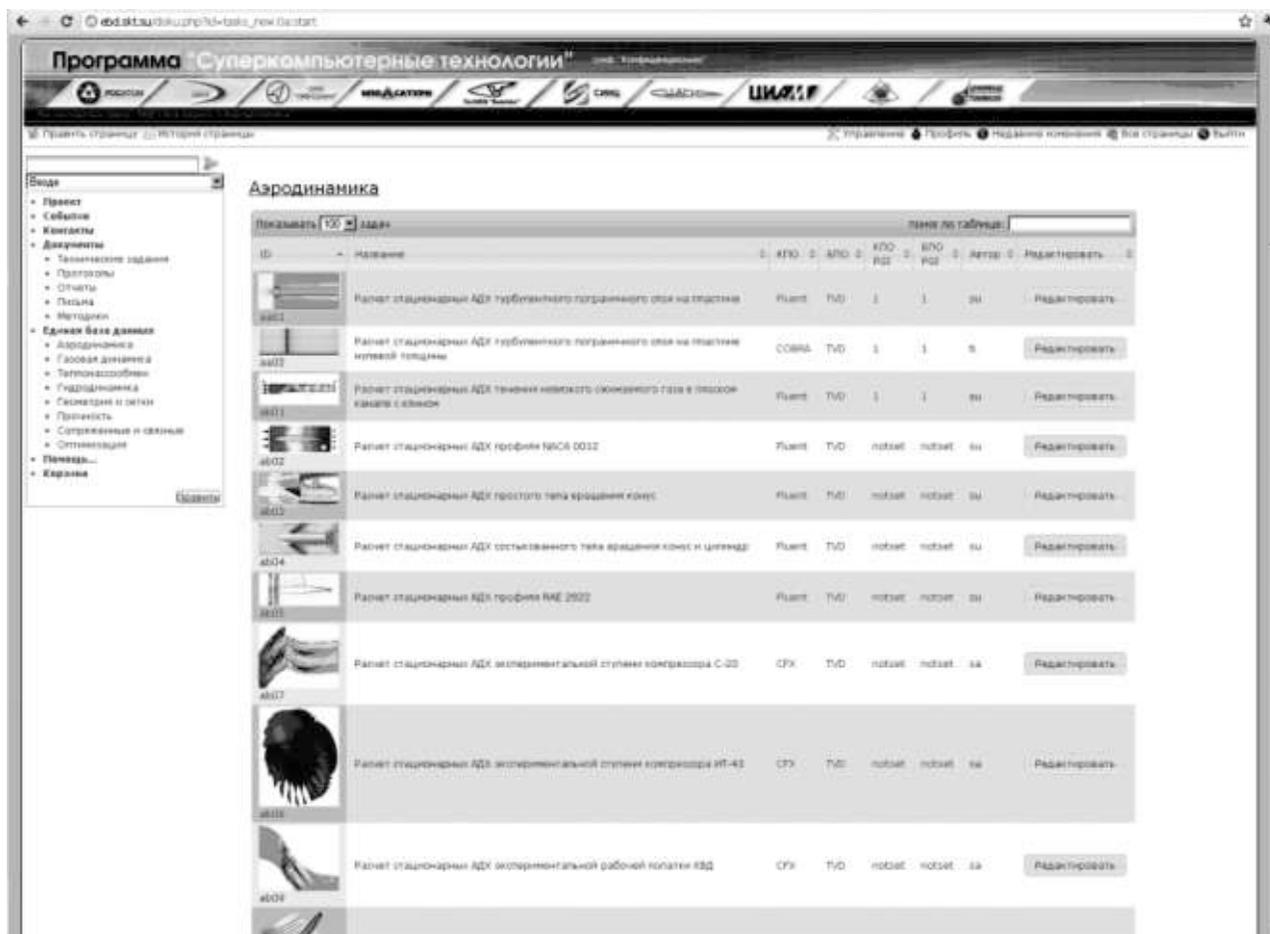


Рис. 13. Единая база данных. Раздел «Аэродинамика»

ей, а также ссылки на рекомендуемые открытые коды, обеспечивающие просмотр содержащихся в ЕБД материалов;

3. Информацию о существующем программно-аппаратном обеспечении и его развитии;

4. Основные документы Проекта: тексты действующих технических заданий, протоколы, шаблоны документов, типовые формы и др.;

5. Методики, отчеты и литературу по теме Проекта;

6. Всю необходимую контактную информацию об участниках Проекта, для осуществления эффективных коммуникационных связей;

7. Справочные материалы для поддержки пользователей ЕБД. ЕБД создана на основе дистрибутива DokuWiki. DokuWiki — это совместимая со стандартами, платформо-независимая и легкая в использовании среда для создания разного рода документации.

Она ориентирована на команды разработчиков, рабочие группы и небольшие компании. Все данные хранятся в простых текстовых файлах, поэтому для работы не требуется СУБД. Простой, но мощный синтаксис облегчает создание структурированных текстов и позволяет при необходимости читать файлы данных даже за пределами Wiki, а использование отдельно подключаемых модулей (plugin) позволяет применять разнообразные стили форматирования и представления данных.

DokuWiki может использоваться как локально, т.е. может быть установлена на рабочей станции пользователя, так и удаленно, при установке на веб-сервер.

Для обеспечения мобильности и легкости переноса ЕБД используется пакет программ DokuWikiStick. Пакет содержит все необходимое для локальной работы с DokuWiki: локальный веб-сервер MicroApache (ОС MS Windows), библиотеки PHP и др.

В настоящее время ЕБД развернута на ВЦКП РФЯЦ-ВНИИЭФ и к ней обеспечен доступ всех участников Проекта. Полученные на данном этапе

результаты валидации отечественных программных комплексов имитационного моделирования также включены в состав ЕБД.

Проект «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» — это сокращение дорогих экспериментальных и натуральных испытаний, малоэффективных стендов, натуральных образцов и физических моделей, которые не всегда могут адекватно воспроизвести реальные условия эксплуатации летательного аппарата, выявить отказ или установить причину летного происшествия. Внедрение суперкомпьютерных технологий позволяет исключить доработки самолета в будущем, снизить технический риск, повысить информативность решения инженерных задач, создавать базы знаний и экспертные системы. В результате всего этого ожидается существенная экономия денежных средств и повышение производительности труда.

В подтверждение приведем несколько примеров. В автомобилестроении, компания «Вольво» еще в 1986 г. проводила порядка 25 испытаний своих изделий на столкновение с препятствиями под различными углами. Стоимость одного испытания составляет один миллион долларов. К 2003 г. компания почти полностью отказалась от натуральных испытаний, заменив их компьютерным моделированием, что позволило почти в 25 раз снизить затраты.

Фирма «Митсубиси» также полностью отказалась от натуральных испытаний, заменив их компьютерным моделированием.

В самолетостроении компании «Боинг» компьютерное моделирование позволило сократить количество продувок (в основном в области максимальных скоростей) и за десятилетний период сэкономить более миллиарда долларов (рис. 14). Внедрение комплекса по исследованию динамики старта (сброса) подвесных грузов в ОКБ Сухого позволило за счет сокращения программы и объема материального

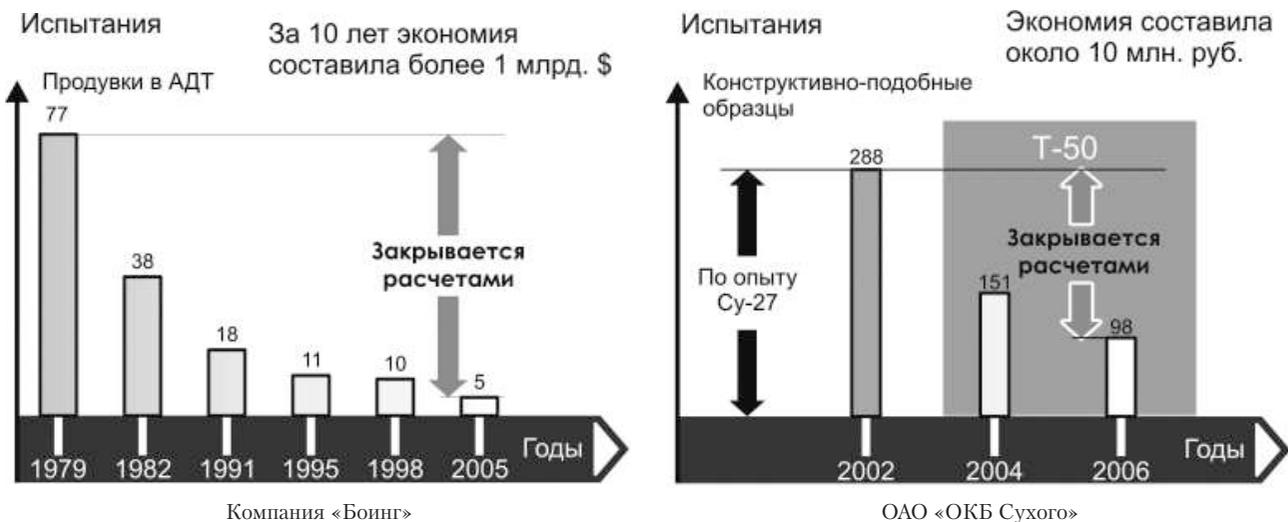


Рис. 14. Эффективность применения суперкомпьютерных технологий



обеспечения испытаний сэкономить около 80 млн. рублей. Экономия средств, полученная благодаря выполнению в ОКБ «Сухого» расчетов систем объектов 10В и С-80ГП с помощью суперкомпьютерных технологий составила примерно 72,2 млн. рублей. Сокращение количества испытаний конструктивно-подобных образцов и замена их расчетами по программе T-50 позволило сэкономить около 10 млн. руб.

Применение суперкомпьютерных технологий для решения задач сертификации нового российского самолета Sukhoi Superjet-100 позволило доказать его надежность и безопасность в возможных аварийных ситуациях (разрыв пневматика шасси при взлете и посадке, аварийная посадка с частично выпущенными шасси) без полномасштабных экспериментальных работ (рис. 15). Обычно для этих целей строится натурный макет, стоимость которого вместе с испытаниями составляет сотни миллионов рублей.

Дальнейшее развитие отечественных суперкомпьютерных технологий в авиационной промышленности связано с ростом количества и сложности промышленных расчетных задач, желанием конечного пользователя моделировать поведение реального объекта в реальных условиях эксплуатации. Поэтому успешное развитие компьютерных технологий возможно только на основе роста вычислительных ресурсов.

Как в задачах аэродинамики, где необходимо разрешать сложную структуру турбулентных течений в широком диапазоне размеров вихрей с учетом теплообмена в пограничных слоях, так и задачах механики деформируемого твердого тела, где необходимо разрешать очень мелкие масштабы зарождения и развития поврежденности, потребности в вычислительных ресурсах в обозримом будущем будут неограниченно возрастать.

Анализ литературы и численные эксперименты показывают, что, например, для описания аэродина-

мики различных ЛА с высоким качеством разрешения пограничных слоев на основе моделей турбулентности типа «k-ε» необходима дискретизация по пространству $\sim 10^8$ ячеек и более при применении метода конечных объемов, т. е. необходимо на шаге решать системы $\sim 5 \cdot 10^8$ уравнений и более. С развитием вычислительных ресурсов получают развитие и более точные модели типа LES, DES и DNS, вычислительных затрат.

В настоящее время в высокотехнологичных отраслях в развитых странах мира (аэрокосмическая, автомобильная, энергетическая и т.д.) применяются кластеры, насчитывающие от нескольких сот до нескольких тысяч вычислительных ядер, что уже сейчас позволяет решать задачи до 10^9 уравнений и более. В 2007 г. ANSYS объявил о решении 10^8 уравнений на новом кластере Silicon Valley, задачи $\sim 10^9$ уравнений решает и STAR-CCM+. Однако массовый практический счет проводится на задачах меньшей размерности. Здесь диапазон составляет порядок от 10^6 до 10^7 уравнений.

Из-за дефицита вычислительных ресурсов отечественные предприятия и организации авиационной промышленности пока уступают зарубежным компаниям. Решение задач $\sim 10^6$ уравнений на сегодняшний день для отечественных предприятий является скорее исключением, нежели повседневной практикой. Отсутствует развитая сеть высокопроизводительных вычислений для прецизионного моделирования, практически все используемое программно-аппаратное обеспечение является иностранного производства.

Поскольку обеспечение конкурентоспособности российской авиационной техники напрямую зависит от темпов внедрения суперкомпьютерных технологий в практическую деятельность авиационных предприятий, задача наращивания вычислительных ресурсов является чрезвычайно актуальной.

Ключевым вопросом развития суперкомпьютерных технологий в настоящее время и в будущем останется развитие супертехнологий генерации



Аварийная посадка самолета Боинг – 767 в аэропорту г. Варшава



Моделирование аварийной посадки Sukhoi Superjet-100

Рис. 15. Задача подтверждения надежности и безопасности самолета в случае возникновения нештатной ситуации в процессе эксплуатации

сеточных моделей большой размерности. Этим технологиям в последние годы уделяется большое внимание, так как отставание здесь будет сдерживать развитие компьютерного моделирования в целом. Поэтому сейчас интенсивно развиваются автоматические, интеллектуальные технологии генерации конечномерных моделей, основанных на алгоритмах распараллеливания.

Что касается решения нового класса задач, то для авиационной промышленности в перспективе будет актуально развитие следующих технологий имитационного моделирования:

- интегральных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на супер-ЭВМ;
- повышения надежности и безопасности авиационной техники с использованием предсказательного моделирования и виртуального прототипирования на супер-ЭВМ;
- процессов горения топлива в камере сгорания авиационного газотурбинного двигателя;
- обледенения элементов конструкции планера;
- молниезащиты перспективных летательных аппаратов;
- обеспечения электромагнитной совместимости оборудования;
- обеспечения трещиностойкости;
- аэроакустики, расчет шума на местности и внутри пассажирской кабины.

Внедрение суперкомпьютерных технологий в авиационной промышленности — вопрос комплексный и его успешное решение невозможно без организационно-технических мероприятий в самой отрасли. Первоочередными, из которых являются:

1. Создание в авиационной отрасли специализированного центра по сертификации программного обеспечения имитационного моделирования;
2. Доработка существующей нормативной базы и разработка новых стандартов, определяющих область применения суперкомпьютерных технологий при разработке авиационной техники;
3. Создание на базе предприятий авиационной промышленности, участвующих во внедрении результатов Проекта, отраслевых суперкомпьютерных центров суммарной производительностью до 300 Тфлопс/с;
4. Создание сетевой инфраструктуры для высокопроизводительных вычислений, включая подключение предприятий авиационной промышленности к российской грид-системе и организацию закрытого канала связи с ВЦКП РФЯЦ-ВНИИЭФ;
5. Корректировка процесса подготовки авиационных специалистов в части включения в программу обучения суперкомпьютерным технологиям и прохождения практики на предприятиях, внедряющих результаты Проекта.

В заключение хочется подчеркнуть, что в течение 2010–2011 гг. предприятиями и организация-

ми авиационной промышленности совместно с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» проведен большой объем работ по адаптации отечественных аппаратно-программных средств имитационного моделирования для нужд авиации: создана и развивается инфраструктура высокопроизводительных вычислений, достигнуты определенные успехи в применении отечественных суперкомпьютерных технологий для решения промышленных задач. Следует также отметить и консолидирующую роль Проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий».

Например, по направлению «Авиация», нам удалось сделать достаточно сбалансированный Проект. Здесь и ведущие отраслевые институты, и производители авиационной техники, и разработчики суперкомпьютерных технологий. Такая тесная кооперация взаимно обогащает друг друга, упрощает восприятие и освоение современных подходов в имитационном моделировании, создает крепкую основу для движения вперед.

Очевидно, что создание конкурентоспособной продукции в условиях жестких финансовых и временных ограничений без внедрения новых технологий, новых методов имитационного моделирования, без высококвалифицированных кадров, отвечающих современным требованиям, а также всестороннего сотрудничества сегодня невозможно. Решению данной задачи полностью отвечает проект «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий», успешная реализация которого открывает отличные перспективы для создания новой российской конкурентоспособной авиационной техники.

Литература

1. *Российская энциклопедия SALS. Авиационно-космическое машиностроение* / Гл. ред. А.Г. Братухин. М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. 608 с.: ил.
2. *Братухин А.Г., Погосян М.А., Присяжнюк В.С., Куприн Д.Б. SALS — основа развития АВПК «Сухой»* / В кн. Информационные технологии в наукоёмком машиностроении. Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. Под общей редакцией А.Г. Братухина, Киев: «Техника», 2001, С. 115–122.
3. *Валидация* адаптированного программного обеспечения при решении задач аэродинамики, тепломассопереноса и прочности. Научно-технический отчет № НТО-СКТ-02SU-11В / А.Ф. Барковский, Е.П. Савельевских, Д.Ю. Стрелец, А.В. Корнев и др. М.: ОАО «ОКБ Сухого», 2011. 588 с.: ил.
4. Разработка верификационного базиса численных решений задач тепломассопереноса и прочности для авиационной техники. Научно-технический отчет № НТО-СКТ-02SI-11В ч. I, II / А.А. Рябов, В.И. Романов, А.Ю. Кудрявцев и др., п. Сатис: ООО «СИНЦ», 2011. 672 с.: ил.