

Опыт использования суперкомпьютерных технологий при проектировании перспективного артиллерийского вооружения

Удержание конкурентных преимуществ на рынке вооружений, становящихся все более высокотехнологичной продукцией, невозможно без использования суперкомпьютерных технологий при создании изделий военной техники. Возможность решения многодисциплинарных задач в связанной постановке позволяет перейти от моделирования отдельных подсистем к созданию полноценной виртуальной модели функционирования изделия, способной заменить значительную часть натуральных испытаний их компьютерным эквивалентом.

Это особенно актуально в отрасли обычных вооружений, боеприпасов и спецхимии, где проведение всего комплекса экспериментальной отработки создаваемого изделия (иногда до полной выработки ресурса опытных образцов) требует больших затрат по времени, трудовым и финансовым ресурсам. Полигонные испытания, порой насчитывающие сотни и даже тысячи выстрелов, не

Центральный научно-исследовательский институт “Буревестник” – головное предприятие артиллерийской отрасли. Входит в дивизион “Спецтехника” Научно-производственной корпорации “Уралвагонзавод”. Предприятие создано в 1970 году, разрабатывает и производит артиллерийское вооружение, средства его обслуживания и ремонта для Сухопутных войск и Военно-морского флота. За свою историю институтом выполнено более 400 научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, создано более 60-ти образцов современного вооружения и военной техники.



только являются чрезвычайно дорогостоящими (затраты на создание одного изделия могут достигать сотен миллионов рублей), но и наносят заметный вред экологии.

Зарубежный опыт показывает, что суперкомпьютерные технологии обеспечивают сокращение объемов натуральных испытаний и количество опытных образцов в 2-3 раза, экономию средств и сроков на 50-70 %.

Понимание государством всей сложности решаемых отраслью задач способствовало созданию в конце 2012 года на базе ОАО “ЦНИИ “Буревестник” в рамках Федеральной целевой программы “Развитие оборонно-промышленного комплекса РФ на 2011–2020 гг.” отраслевого центра высокопроизводительных вычислений. Его главными компонентами стали:

- ▶ суперкомпьютер “Минин” с пиковой производительностью более 57 Тфлопс (рис. 1);
- ▶ комплекс программного обеспечения инженерного анализа;
- ▶ терминально-демонстрационный зал с системой визуализации;
- ▶ система удаленного доступа к ресурсам;
- ▶ система хранения и резервного копирования информации.



Рис. 1

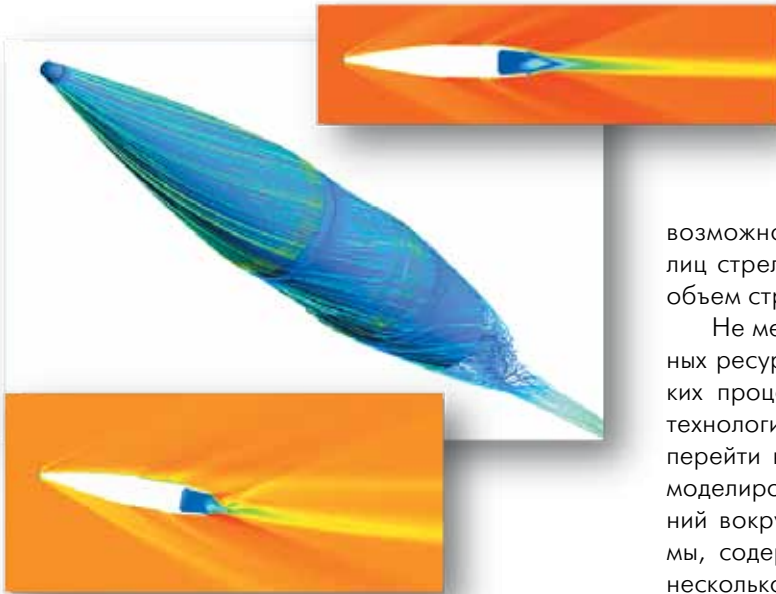


Рис. 2

Эффективно решать широкий спектр взаимосвязанных задач аэро-, гидро- и газодинамики, динамики и прочности конструкции, тепло- и массопереноса, оптимизации изделий позволило оснащение Центра лицензионными программными комплексами мирового уровня и специализированным программным обеспечением, адаптированным для расчетов в многопроцессорном режиме.

Одним из наиболее ресурсоемких классов задач являются расчеты аэродинамики.

Для составления таблиц стрельбы в настоящее время используется расчетно-экспериментальный метод. Он основан на экспериментальном подборе коэффициентов (формы и деривации), при которых действительная и расчетная точки падения данного снаряда совпадают. Использование упрощенной расчетной модели движения снаряда на траектории обуславливает необходимость проведения трудоемких и продолжительных табличных стрельб, требующих значительного расхода боеприпасов. Поэтому отстрел производится в ограниченном количестве опорных точек (несколько углов возвышения на каждом из зарядов). Для промежуточных точек коэффициенты определяются путем интерполяции, что снижает точность таблиц стрельбы.

Возможности суперкомпьютера позволяют с высокой точностью определять аэродинамические характеристики снарядов расчетным путем, а также моделировать движение снаряда на траектории на основе достаточно полных и корректных моделей (рис. 2). Разработанный подход подразумевает проведение большого числа расчетов при различных вариантах сочетания входных параметров (скорость потока, скорость вращения снаряда, угол атаки и т.п.) и подтверждение опытным путем правильности проведенных расчетов. При этом возможно проведение не однопараметрического (по точке падения), а многопараметрического (по всей траектории)

согласования опытных и расчетных данных. Это особенно важно для перспективных боеприпасов, реализующих функции коррекции траектории и управляемого воздушного подрыва. Так, для новых арткомплексов с внедрением супер-ЭВМ появилась возможность создания методики разработки таблиц стрельбы, позволяющей на 30–50 % сократить объем стрельбовых испытаний.

Не менее требовательны к наличию вычислительных ресурсов исследования гидро- и газодинамических процессов. Использование суперкомпьютерных технологий в решении этого класса задач позволило перейти на качественно новый уровень расчетного моделирования. Например, создавать модели течений вокруг объектов сложной геометрической формы, содержащие расчетные сетки размерностью в несколько десятков миллионов узлов. Очевидно, что решение задачи такого объема на персональном компьютере займет недопустимо длительное время либо невозможно в принципе.

Наглядным примером подобной задачи может служить модель обтекания воздушным потоком башенки дистанционной платформы вооружения.

В модели была использована неструктурированная тетраэдральная сетка, включающая более 124 миллиона элементов и 22 миллиона узлов. Положительный результат расчета на суперкомпьютере в нестационарной постановке был получен за 25 часов, то есть практически за сутки машинного времени была подтверждена работоспособность конструкции без проведения натурных испытаний.

Существенно усложняет решение задачи и повышает требования к вычислительным ресурсам включение подвижных тел в газодинамический расчет. Так, виртуальное моделирование работы гидропневматических устройств одной из артсистем было выполнено с использованием метода погруженной границы. Этот метод существенно сокращает время на подготовку модели и не требует перестроения расчетной сетки в ходе решения, но приводит к увеличению ее размерности и объема используемой оперативной памяти. Расчетная сетка в данной задаче имела размерность около 7 миллионов узлов. Моделирование проводилось на 96 процессорах вычислителя с использованием 20 Гб оперативной памяти на каждом процессоре. Это позволило в течение нескольких дней выявить недостатки конструкции и устранить их на этапе проектирования.

Как известно, при проектировании обязательным условием является прочностной расчет изделия. Применение суперкомпьютерных технологий значительно расширило возможности построения сложных расчетных моделей с высоким порядком аппроксимации и получения результатов в сжатые сроки.

Например, для подтверждения работоспособности боевого модуля колесного бронетранспортера был выполнен расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции бронекол-



Рис. 3

пака с установленными на нем пусковыми установками (рис. 3).

Конечно-элементная модель конструкции содержит более 6 миллионов узлов, около 4 миллионов объемных конечных элементов, при анализе функционирования изделия необходимо было рассмотреть 48 режимов нагружения.

Время анализа одного режима нагружения на персональном компьютере составило 32 часа. Для решения всей задачи (без учета отладки) понадобилось бы более 2-х месяцев машинного времени. На супер-ЭВМ время расчета одного варианта сократилось до чуть более одного часа. При анализе от 9 до 14 вариантов нагружения одновременно чистое машинное время расчета составило менее 6 часов, что в 256 раз меньше времени решения на локальной рабочей станции. Это позволило вдвое сократить время обоснования проектного решения всего изделия.

Особое место в задачах, эффективность решения которых зависит от производительности вычислительных ресурсов, занимают вопросы оптимизации. Как известно, процесс определения оптимальных конструктивных

характеристик изделия может занимать длительное время, поскольку количество вариантов сочетания параметров оптимизации (а следовательно, и циклов решения) может быть огромным.

В ходе решения одной из таких задач, несложной, но показательной, была спроектирована конструкция новой минометной плиты из алюминиевого сплава. Основной целью работы являлось обеспечение прочностных характеристик плиты при максимально возможной минимизации ее массы.

В результате варьирования таких параметров, как толщина опорного листа, толщина ребер, размер боковых отверстий, была получена конструкция, удовлетворяющая условиям прочности, но имеющая массу на 20 % меньше исходного варианта. Трудоемкость изготовления также была снижена на 30 %. Изделие прошло испытания и полностью подтвердило заявленные характеристики.

Приведенные примеры эффективного решения задач по различным дисциплинам подтверждают возможность и необходимость широкого применения суперкомпьютерных технологий при проектировании современных изделий. Суперкомпьютеры в промышленности должны стать повседневным инструментом инженеров, а методики виртуального моделирования занять свое место в отраслевых стандартах.

В настоящее время в отраслевом центре высокопроизводительных вычислений на супер-ЭВМ "Минин" предприятиями, заинтересованными в создании конкурентоспособной продукции, эффективно решается широкий спектр взаимосвязанных задач виртуального проектирования перспективного вооружения.

**Ю. П. Бурцев, начальник службы ИТ,
А. Н. Бебенин, начальник отделения,
Е. С. Зимица, начальник лаборатории
динамики и прочности,
ОАО "ЦНИИ "Буревестник"**

НОВОСТИ

Новый суперкомпьютер Северного федерального университета

Серверное оборудование Fujitsu стало основой для построения суперкомпьютера в Центре обработки данных Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова. Инициатором закупки выступила кафедра программирования и высокопроизводительных вычислений института математики, информационных и космических технологий САФУ. Специалистами компании был создан кластер, включающий в себя двадцать вычислительных узлов (серве-

ры PRIMERGY), два сервера управления, сеть передачи данных и системы хранения данных ETERNUS DX. Новейшая архитектура вычислителя базируется на процессорах Intel Xeon Phi. Помимо аппаратной части были внедрены разработанные компанией Fujitsu графический интерфейс управления кластером и параллельная файловая система хранения данных FEFS (Fujitsu Exabyte File System).

В настоящее время идет активная работа с институтами САФУ по обучению работе на суперкомпьютере. Центр инновационного обучения ИМИКТ университета

организовал ряд семинаров для Института судостроения и морской арктической техники (по пакетам для высокопроизводительных вычислений). Кроме того, коллектив кафедры программирования и высокопроизводительных вычислений разработал программу курсов повышения квалификации "Применение суперкомпьютерных технологий". Центр инновационного обучения института математики, информационных и космических технологий САФУ реализует эту программу в рамках международной молодежной научно-практической школы "Высокопроиз-

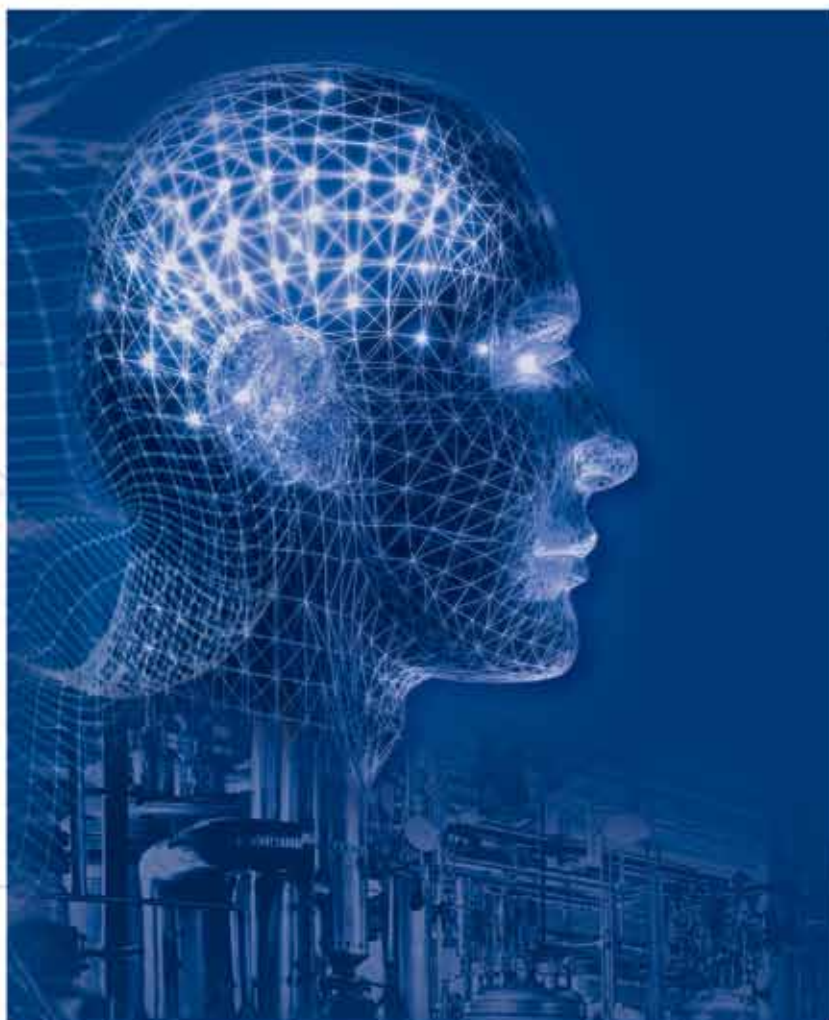
водительные вычисления на Grid-системах".

Появление у университета такого вычислителя поднимает его престиж, ведь пока еще немногие российские университеты обладают подобными вычислительными центрами. Суперкомпьютер, построенный на основе решений Fujitsu, поможет университету в проведении научных исследований в области прикладной математики, информационных и космических технологий и позволит разрабатывать углубленные математические модели, более точно описывающие объекты реального мира.



АВТОМАТИЗАЦИЯ

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



- ИКТ в промышленности • Системная интеграция
- Автоматизация производства • АСУ ТП
- Технические и программные средства автоматизации
- Измерение, контроль, испытание, диагностика
- Встраиваемые системы • Техническое зрение
- Мехатроника и робототехника
- Автоматизация зданий и ЖКХ
- САПР • Готовые отраслевые решения



Организаторы выставки:



FareXPO **IFE**

ais@farexpo.ru, www.farexpo.ru/ais
тел.: +7 (812) 777-04-07, 718-35-37

Место проведения: Санкт-Петербург, СКК, пр. Ю. Гагарина, 8, м. «Парк Победы»

28-30 октября 2014

Санкт-Петербург, СКК