

МАТЕМАТИКА

УДК 004.383

М. А. Рогожников, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Р. А. Говязин, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

А. Р. Говязина, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

АРХИТЕКТУРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ САПР

В настоящее время широко распространены комплексы автоматизированного проектирования (CAD, Computer Aided design; CAE, Computer-Aided Engineering), позволяющие существенно ускорить и упростить процесс разработки новых изделий для разных областей производства. Одним из основных потребителей данных комплексов является машиностроительная отрасль (например, [1–5]). Применение CAD-систем позволяет создать, исследовать и визуализировать изделие, при этом не производя прототипы и испытания на реальных моделях. Это существенно сказывается на конечной цене продукта и скорости его разработки. Использование CAD/CAE-комплексов требует применения высокопроизводительных аппаратных систем, позволяющих оптимизировать и сократить время расчетов ресурсоемких задач и математических моделей. Таким образом, эффективное применение CAD/CAE-систем требует создания проблемно ориентированных вычислительных комплексов.

Ниже проводится обзор существующих проблемно ориентированных комплексов для следующих наиболее распространенных CAD-систем в области машиностроения: ANSYS, SolidWorks, FlowVision и OpenFOAM.

ANSYS – пакет конечно-элементного анализа (CAE). Данный продукт наиболее распространен в области машиностроения. Основные рекомендации [6] по созданию проблемно ориентированных комплексов следующие:

- 1 ГБ оперативной памяти на один миллион степеней свободы (DOFs);

- компьютеры с архитектурой $\times 86$ и под управлением операционных систем семейства Windows требуют минимум 2 ГБ оперативной памяти (RAM) и 3 ГБ для файла подкачки, также рекомендуется при переходе на архитектуру $\times 64$;

- компьютеры с архитектурой $\times 64$, работающие под управлением операционных систем семейства Windows, требуют минимум 8 ГБ RAM и использования не менее 2 центральных процессоров (CPU);

- система более производительна при максимальном количестве адресуемой оперативной памяти на каждый CPU, чем при множестве CPU и меньшем количестве на них ОЗУ;

- при скорости вращения шпинделя жесткого диска (HDD) не менее 10,000 RPM желательно, чтобы скорость ввода-вывода была около 50-70 Мб в секунду.

Из приведенных рекомендаций следует, что наибольшая производительность работы системы будет достигаться в случае, если проблемно ориентированный комплекс будет ориентирован на ЭВМ, имеющую несколько CPU. Объем RAM должен быть максимально адресуемым для каждого процессора. В качестве накопителя наиболее привлекательным представляется применение SSD-дисков ввиду их более высокого быстродействия при выполнении операций ввода-вывода.

Использование систем с 2 CPU на настоящий момент стало стандартом в отрасли CAD/CAE.

Начиная с версии 15.0, ANSYS стал поддерживать работу нескольких графических процессоров одновременно (GPU). Использование GPU позволяет значительно увеличить производительность комплекса [7] и уменьшить его конечную стоимость. Стоимость графических процессоров значительно ниже CPU. На рынке на сегодняшний день одним из лидеров в данной области является фирма Nvidia с архитектурой GPU CUDA.

На рис. 1 [8] показан график производительности рабочей станции для пакета ANSYS при обработке крупной модели с 12 миллионами степеней свободы для разных комбинаций процессоров. Как видно из графика, максимальное увеличение производительности достигается при совместном использовании CPU и GPU.

Сравнение производительности на кластере дано на рис. 2. Анализ показывает, что применение в кластере совместного решения CPU и GPU уменьшает затраченное время на расчет модели в два раза.

На текущий момент использование кластеров для проведения ежедневных расчетов не всегда является экономически выгодным ввиду того, что они дороги в приобретении, обслуживании и сложны в настройке. Это обусловлено, в первую очередь, тем, что кластеры разрабатываются строго под определенную задачу или фирму. Кроме того, для таких кластеров характерно их быстрое устаревание, и это требует дорогостоящего обновления. В России более эффек-

тивным представляется использование проблемно ориентированных рабочих станций с возможностью

запуска ресурсоемких задач в ночное время для получения результата в рабочее время (утром).

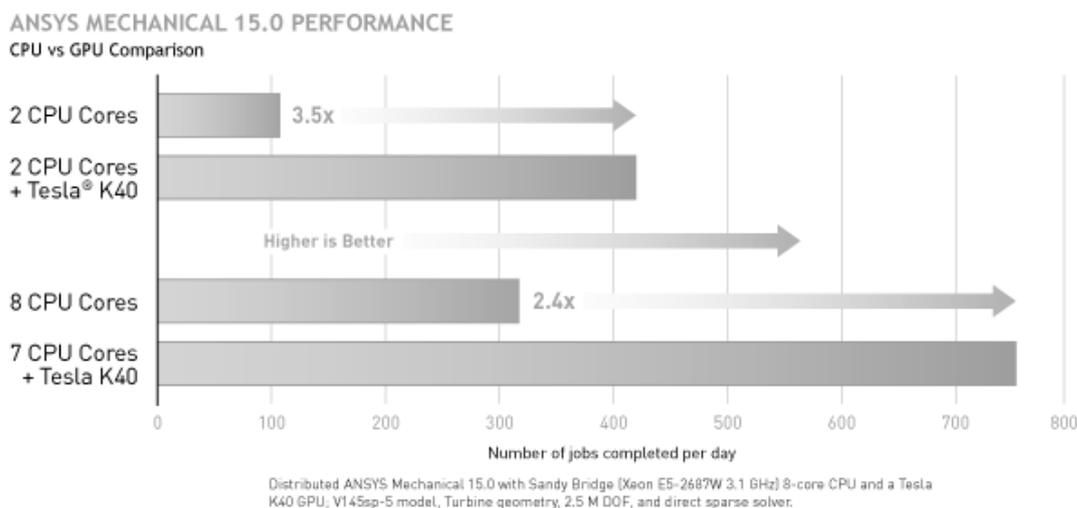


Рис. 1. Производительность ANSYS на рабочей станции

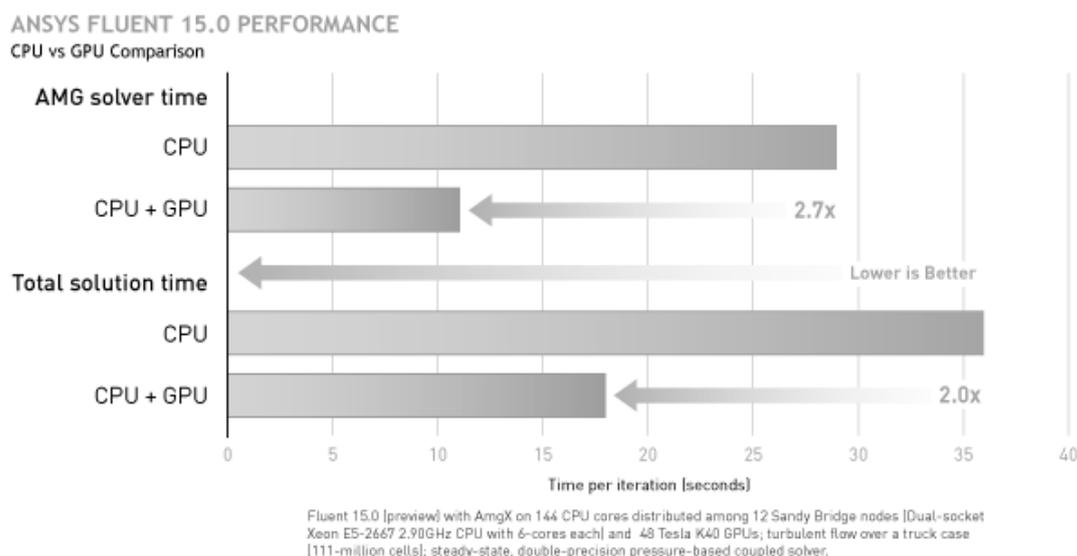


Рис. 2. Производительности ANSYS на кластере

В России одним из лидирующих разработчиков проблемно ориентированных комплексов для CAD/CAE-задач является фирма Meijin [9]. Для пакета ANSYS разработчики предлагают следующую комплектацию: Intel Xeon E5 2690v3 x2, 256G, 1.3T SSD, NVIDIA 4x Tesla K80. Данная комплектация проблемно ориентированного комплекса позволяет получить суммарную производительность до 11,64 терафлопс на операциях с двойной точностью, что является достаточно высоким значением производительности.

SolidWorks – автоматизированный комплекс для решения задач в области конструирования, анализа, технологической подготовки производства [10]. С 2014 г. SolidWorks перешел на поддержку только x64-разрядных операционных систем. Данный комплекс предъявляет аналогичные требования [11]

к аппаратной части проблемно ориентированного комплекса, что и рассмотренный выше ANSYS.

На рис. 3 показано сравнение производительности визуализации изображений проблемно ориентированного комплекса для пакета SolidWorks. Анализ показывает, что быстрее всех с задачей моделирования скорости потока вокруг квадратной плоскости справился компьютер, имеющий на своем борту GPU-ускоритель.

Кроме того, анализ показывает, что использование GPU дает выигрыш в производительности в сравнении с использованием расчетов только на CPU.

Проблемно ориентированный комплекс конфигурации – Intel Xeon E5 2680v3 x2 128G 512G SSD NVIDIA Quadro M5000 Tesla K20 – от разработчиков

фирмы Meijin позволяет получить производительность в 1,17 терафлопс в операциях с двойной точностью.

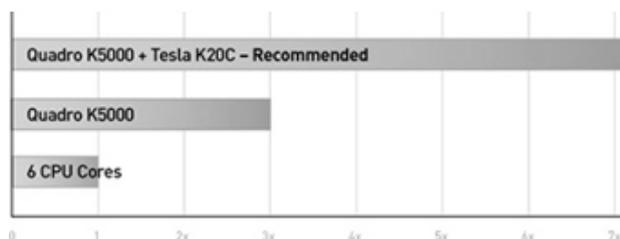


Рис. 3. Сравнительная производительности SolidWorks

OpenFOAM – open source-платформа для численного моделирования задач механики сплошных сред.

Данный пакет не имеет четких указаний по желательным характеристикам аппаратного обеспечения. OpenFOAM может быть установлена только на компьютерах, работающих под управлением операционных систем семейства UNIX.

На рис. 4 [12] показана сравнительная производительность на компьютере, имеющем следующие характеристики: Intel E5-2609@2.40GHz. (with 4cores), 64GB RAM, Centos 6.4 ОС.

Готовых проблемно ориентированных комплексов для данного пакета не выпускается ввиду того, что разработка пакета ведется open source-сообществом.

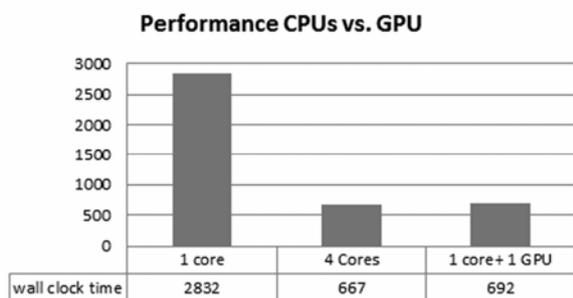


Рис. 4. Сравнительная производительность OpenFOAM

FlowVision представляет собой CAE-комплекс для моделирования аэро-, гидро- и газовой динамики. Разработчиком данного пакета является российская компания ООО «ТЕСИС».

Рекомендуемые аппаратные требования [13], предъявляемые к проблемно ориентированному комплексу, следующие:

- на 200-300 тыс. ячеек требуется примерно 1 ГБ RAM;
- CPU желательно Intel Xeon для большей производительности;
- в качестве видеоускорителя желательно использовать видеокарты на чипе NVIDIA QUADRO FX 1700 и выше с поддержкой OpenGL 3.0 и выше.

Результаты производительности сравнительных тестов [14] проблемно ориентированного комплекса, имеющего конфигурацию Intel Core2Extreme

9650, 2G, 100G, представлены на рис. 5. Тестирование производилось для задачи TWO CARS, в которой рассматривается обтекание двух гоночных автомобилей, следующих друг за другом. Основные параметры режимов тестирования приведены в таблице.

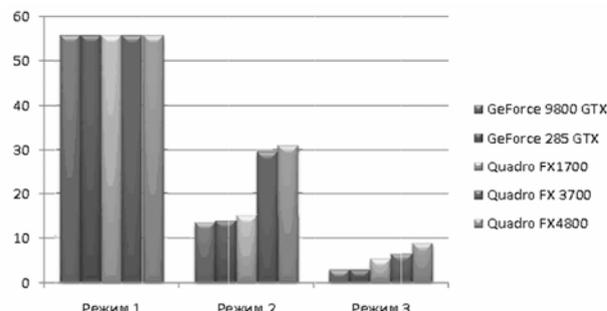


Рис. 5. Сравнительная производительность FlowVision

Режимы тестирования пакета FlowVision

Параметр	Режим 1	Режим 2	Режим 3
Полупрозрачность	нет	да	нет
Расчетная сетка	нет	нет	да
Сглаживание	да		

Анализ результатов, представленных на рис. 5, показывает, что при использовании GPU профессиональных видеокарт Quadro отмечается рост производительности. Для данного пакета промышленностью не выпускаются готовые проблемно ориентированные комплексы ввиду того, что данный CAE-пакет не имеет широкого распространения на западе.

Проведенный анализ существующих решений проблемно ориентированных комплексов для решения задач машиностроения позволяет сформулировать следующие общие требования к архитектуре используемых вычислительных средств:

- ×64-разрядная операционная система, желательно семейства UNIX;
- максимально адресуемое количество памяти на один CPU – минимум 1 ГБ на одно ядро;
- в качестве жесткого диска предпочтительней применение SSD-накопителей;
- профессиональная материнская плата с несколькими CPU (Intel Xeon);
- профессиональная видеокарта с поддержкой технологии CUDA для увеличения количества решающих ядер;
- объем оперативной памяти напрямую зависит от количества степеней свободы и от применяемого пакета CAD/CAE.

Библиографические ссылки

1. Алиев А. В., Саушин П. Н. Подушки безопасности. Вопросы баллистического проектирования // Автомобильная промышленность. – 2008. – № 5. – С. 32–35.
2. Алиев А. В., Блинов Д. С. Подушки безопасности. Результаты моделирования раскрытия подушки // Автомобильная промышленность. – 2011. – № 3. – С. 13–16.

3. Алиев А. В., Блинов Д. С. Решение газодинамических задач в областях сложной формы с использованием конечно-объемных алгоритмов метода крупных частиц // Вестник ИжГТУ. – 2009. – № 1. – С. 151–154.

4. Алиев А. В., Андреев В. В. Разработка параллельных алгоритмов расчета задач газовой динамики методом крупных частиц // Интеллектуальные системы в производстве. – 2006. – № 1. – С. 4–17.

5. Блинов Д. С., Мищенко О. В. Моделирование начального участка работы газогенератора // Вестник ИжГТУ. – 2010. – № 3(47). – С. 148–156.

6. High-Performance Computing Partners. – URL: <http://www.ansys.com/cgi-bin/HardwareSupport/recommended/recommended.html> (дата обращения: 20.03.2016).

7. Sheldon Imaoka. Accelerating mechanical solutions with GPUs. – URL: <http://www.nvidia.ru/content/tesla/pdf/aa-v7-i3-accelerating-mechanical-solutions-with-gpus.pdf> (дата обращения: 20.03.2016).

8. ANSYS | Приложения для вычислений на GPU | Высокпроизводительные вычисления|NVIDIA. – URL:

Получено 25.05.2016

<http://www.nvidia.ru/object/tesla-ansys-accelerations-ru.html> (дата обращения: 20.03.2016).

9. О компании Meijin. – URL: <http://www.meijin.ru/about> (дата обращения: 20.03.2016).

10. SolidWorks Russia. – URL: <http://www.solidworks.ru/> (дата обращения: 20.03.2016).

11. SOLIDWORKS System Requirements | Windows and Mac | SOLIDWORKS. – URL: <http://www.solidworks.com/sw/support/SystemRequirements.html> (дата обращения: 20.03.2016).

12. Performance tests of OpenFOAM with CUDA. – URL: <https://www.hpc.ntnu.no/display/hpc/Performance+tests+of+OpenFOAM+with+CUDA> (дата обращения: 20.03.2016).

13. FlowVision Help. – URL: https://flowvision.ru/webhelp/fvru_30903/ (дата обращения: 20.03.2016).

14. Тестирование FlowVision HPC на видеокартах компании NVIDIA. – URL: https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/flowvision/FVhpc_Nvidia.pdf (дата обращения: 20.03.2016).

УДК 519.63 : 629.7

О. В. Мищенко, кандидат физико-математических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА РАКЕТЫ

Интересным классом задач, встречающихся в технических приложениях, являются задачи выбора [1–4]. В [5] решением задачи выбора с использованием экспериментальных результатов устанавливаются значения коэффициентов, входящих в закон регулирования многорежимной твердотопливной регулируемой двигательной установки. В [6] приводится постановка и решение задачи об установлении закона теплообмена в объеме камеры сгорания по результатам сравнения расчетных и экспериментальных зависимостей давления продуктов сгорания от времени в период выхода РДТТ на режим квазистационарной работы. Ниже подобный подход применяется для решения задачи о выборе закона изменения тяги РДТТ для неуправляемого реактивного снаряда (НУРС), обеспечивающего ему максимальную дальность полета.

Будем рассматривать задачу о дальности полета НУРС, активный участок полета которого обеспечивается твердотопливным ракетным двигателем (рис. 1). Подобная задача была рассмотрена в [7], где отмечалось, что при выборе двухступенчатого изменения тяговых характеристик НУРС и при наличии временной паузы между тягами (при обеспечении заданного в техническом задании значения суммарного импульса тяги РДТТ) можно увеличить дальность полета НУРС более чем в два раза.

Представляет интерес решение задачи для НУРС при использовании современных методов решения задач математического программирования [8–11].

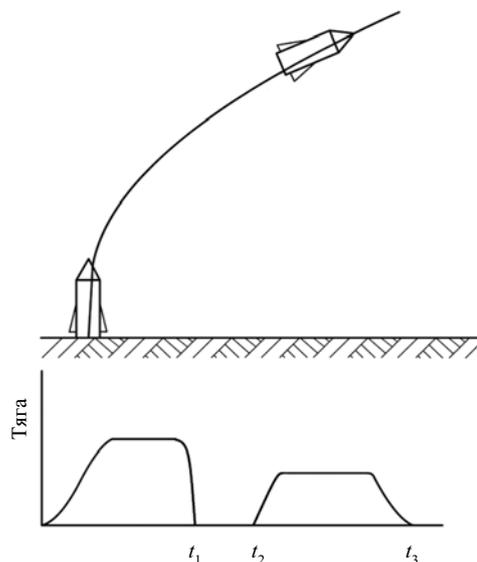


Рис. 1. Схема функционирования НУРС на активном участке траектории

Сформулируем задачу о полете НУРС в соответствии с [12, 13]: для НУРС заданной пассивной массы m_0 и заданной массы топлива m_T выбрать начальный угол бросания θ_0 , при котором дальность полета L снаряда будет максимальной. Изменение тяги двигательной установки P обеспечить в соответствии с законом