

Исследование ускорения решения термо-структурной задачи в пакете ANSYS средствами GPU

Р.К. Газизов, А.А. Касаткин, А.В. Юлдашев

Уфимский государственный авиационный технический университет

В настоящее время расширяется применение гибридных вычислительных систем на основе графических процессоров (GPU) для решения различных научных и прикладных вычислительных задач. Однако, пока еще немногие инженерные программные пакеты конечно-элементного анализа поддерживают использование GPU для ускорения проводимых вычислений. Недавно такая поддержка появилась в широко распространенном коммерческом программном комплексе ANSYS в составе модуля термо-прочностных расчетов ANSYS Mechanical.

В новой версии 13.0 модулем ANSYS Mechanical в многопоточной (SMP) версии поддерживаются расчеты на профессиональных графических ускорителях NVIDIA Tesla при использовании различных методов решения возникающих систем линейных уравнений: прямого SPARSE (на основе LU-разложения) и итерационных PCG и JCG (методы сопряженных градиентов с различными предобуславливателями) [1]. Одним из существенных ограничений в текущей версии является поддержка не более одного GPU. Однако, в последующих версиях планируется поддержать в SMP-версии расчеты на нескольких GPU, а также ввести поддержку GPU при вычислениях на многопроцессорных системах с распределенной памятью в составе Distributed ANSYS.

В нашей работе проведено исследование возможностей ANSYS Mechanical по ускорению расчетов средствами GPU при решении термо-структурной задачи, типичной для моделирования процесса линейной сварки трением (ЛСТ) [2]. Данная технология применяется, в частности, при производстве блисков для авиационных двигателей.

Сварка трением – это разновидность сварки давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным перемещением друг относительно друга соединяемых частей свариваемого изделия. Процесс ЛСТ осуществляется возвратно-поступательным движением частей, подлежащих свариванию, с частотой порядка 60 Гц и амплитудой до 3-х мм, сжимаемых с большим прижимным усилием для образования плотного контакта.

Большие напряжения в области контакта приводят к интенсивному тепловыделению и резким перепадам температур, вследствие чего при моделировании требуется мелкая неравномерная сетка. Кроме того, быстротечность процесса обуславливает необходимость выбора маленького ($10^{-4} \dots 10^{-5}$ сек.) шага по времени для сходимости расчетных методов. Также задача усложняется существенной зависимостью механических и теплофизических свойств материала от температуры. В связи с этим компьютерное моделирование процесса ЛСТ является вычислительно трудоемкой задачей.

Исследование возможностей ANSYS Mechanical по ускорению решения данной задачи средствами GPU было проведено на двухпроцессорной рабочей станции FSC V840 (процессоры Opteron 2214 Dual-Core, 2.2 GHz, объем оперативной памяти 8 GB, PC2-5300 FB-DIMM ECC) с графическим ускорителем NVIDIA Tesla C1060.

В рамках исследования решалась термо-структурная задача (трение брусков с разогревом) с различным числом 20-узловых конечных элементов (SOLID226): 3200, 9600 и 19200 элементов. В целях сокращения времени тестирования расчет проводился на малом количестве временных шагов: 10 шагов для моделей из 3200 и 9600 элементов, 5 шагов для модели из 19200 элементов. Расчет осуществлялся в SMP-версии с использованием различных методов, поддерживающих вычисления на GPU: SPARSE, PCG и JCG. Ниже представлены результаты тестирования отдельно для каждого метода. В

таблицах 1-3 приведены времена выполнения, а на рисунках 1-3 зависимости ускорений времени расчета от числа задействованных процессорных ядер для запусков с включенной поддержкой GPU (CPU+GPU) и без нее (CPU) относительно времени расчета на одном процессорном ядре без поддержки GPU. Отметим, что все вычисления проводились с двойной точностью.

Таблица 1. Время расчета при использовании метода SPARSE с поддержкой GPU и без.

SPARSE	Время расчета, с.					
Число ядер / Количество элементов в модели, поддержка GPU	3200	3200, GPU	9600	9600, GPU	19200	19200, GPU
1	2618	1117	12936	3803	17111	4420
2	1822	1080	8427	3518	10837	4291
3	1525	1033	6637	3492	8606	4170
4	1372	1024	5781	3483	7535	4094

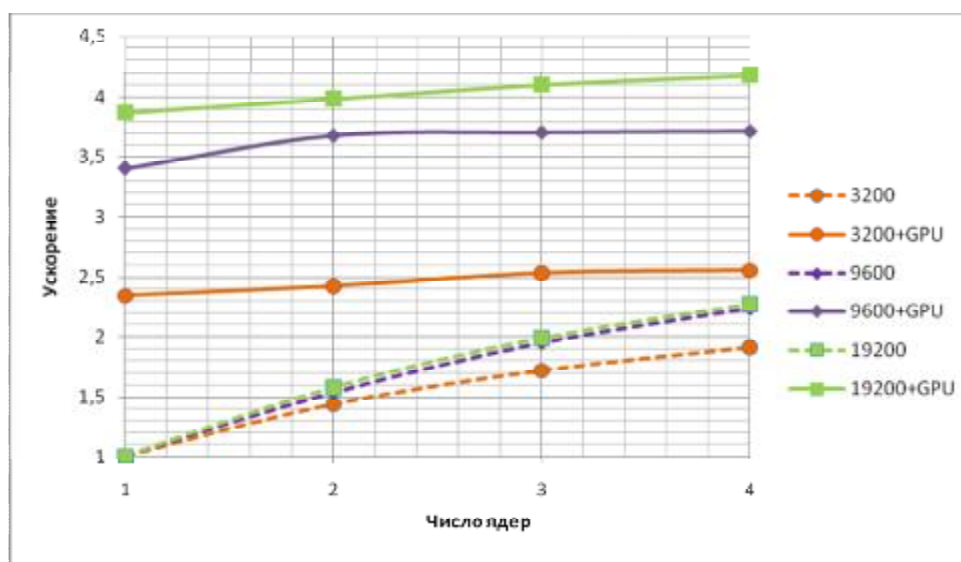


Рис. 1. Зависимости ускорения времени расчета от числа ядер CPU при использовании метода SPARSE относительно времени расчета на одном ядре без поддержки GPU

Из рисунка 1 видно, что при использовании прямого метода SPARSE SMP-версия ускоряется в 1,9-2,2 раза на 4 ядрах CPU в зависимости от размера модели. Заметно ускорение, достигнутое за счет поддержки GPU: при запуске на 4 процессорных ядрах в зависимости от размера модели время расчета при подключении GPU сокращается на 25-45%.

Таблица 2. Время расчета при использовании метода JCG с поддержкой GPU и без.

JCG	Время расчета, с.					
Число ядер / Количество элементов в модели, поддержка GPU	3200	3200, GPU	9600	9600, GPU	19200	19200, GPU
1	1701	851	9169	3380	15024	4537

2	1304	752	6547	3190	10582	4424
3	1180	755	5713	2967	8991	4327
4	1259	798	5580	2938	9411	4349

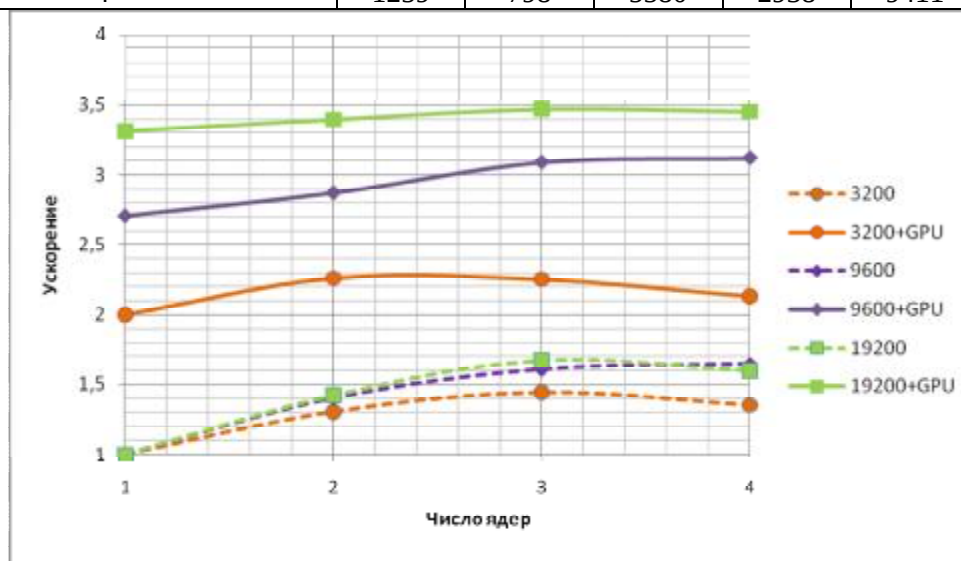


Рис. 2. Зависимости ускорения времени расчета от числа ядер CPU при использовании метода JCG относительно времени расчета на одном ядре без поддержки GPU

При использовании итерационного метода JCG (метод сопряженных градиентов с предобуславливателем Якоби) SMP-версия ускоряется несколько хуже, чем в случае предыдущего метода (рис. 2): в 1,4-1,6 раз на 3-4 ядрах CPU в зависимости от размера модели. Причем, при расчете модели с числом элементов равным 3200 и 19200 наблюдается замедление расчета на 4 ядрах. В тоже время, для метода JCG отмечается больший выигрыш от использования GPU. Минимальное время выполнения при поддержке GPU в зависимости от размера модели меньше на 36-51%, чем в случае оптимального запуска на ядрах CPU.

Таблица 3. Время расчета при использовании метода PCG с поддержкой GPU и без.

PCG	Время расчета, с.					
Число ядер / Количество элементов в модели, поддержка GPU	3200	3200, GPU	9600	9600, GPU	19200	19200, GPU
1	1434	1143	4444	3255	6091	3602
2	1239	964	3773	2995	4453	3452
3	1169	998	3543	2853	4120	3435
4	1234	995	3524	2931	4289	3514

Итерационный метод PCG (метод сопряженных градиентов со специализированным предобуславливателем), показывает наименьшее время выполнения при расчете рассматриваемой термо-структурной задачи на CPU по сравнению с методами SPARSE и JCG. Однако, при использовании PCG ускорение SMP-версии заметно ниже, чем в случае двух ранее рассмотренных методов (рис. 3), и составляет 1,2-1,4 раза на 3-4 ядрах CPU в зависимости от размера модели. Кроме того, снижение времени выполнения при расчете с поддержкой GPU составляет не более 19% относительно оптимального запуска на CPU.

Таким образом, SMP-версия с методом PCG, как правило, позволяет получить решение нашей задачи за минимальное время, но при этом не получает большого преимущества от использования нескольких процессорных ядер, а также GPU.

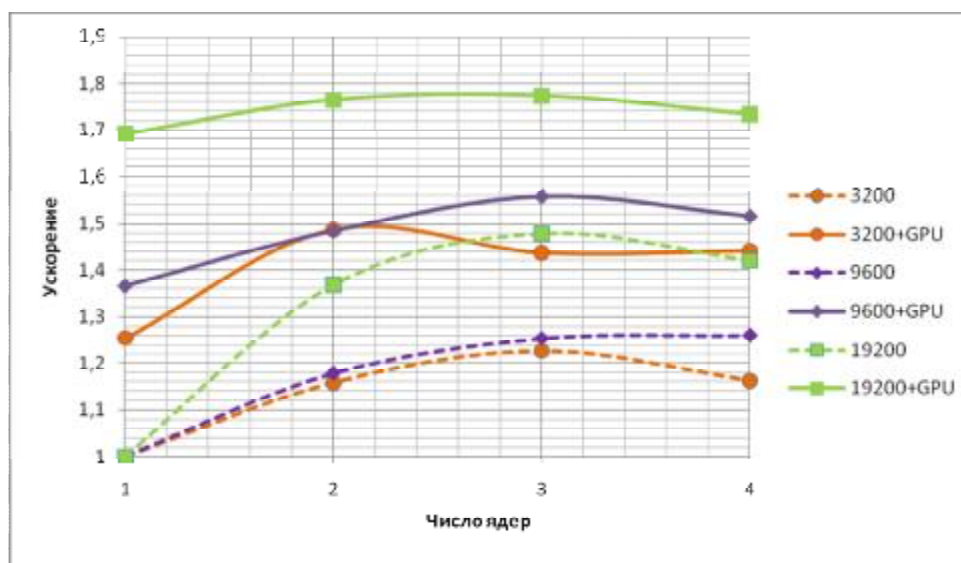


Рис. 3. Зависимости ускорения времени расчета от числа ядер CPU при использовании метода PCG относительно времени расчета на одном ядре без поддержки GPU

Отметим, что положительный эффект при расчете с включенной поддержкой GPU преимущественно возрастает при увеличении количества элементов в модели независимо от используемого метода.

Проведенные эксперименты позволили исследовать возможности ANSYS Mechanical по ускорению расчетов средствами GPU при решении термо-структурной задачи, типичной для моделирования процесса линейной сварки трением. Полученное ускорение оказалось не столь высоким, что, скорее всего, связано с использованием графического процессора предыдущего поколения. Тем не менее, при включенной поддержке GPU достигается стабильное снижение времени расчета на 19-51%. В связи с этим представляет интерес проведение аналогичного тестирования с графическим процессором Tesla серии 20.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта «Создание технологий и промышленного производства узлов и лопаток ГТД с облегченными высокопрочными конструкциями для авиационных двигателей новых поколений» (шифр 2010-218-01-133) в рамках реализации постановления № 218 от 9.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Литература

1. Speed Up Simulations with a GPU // ANSYS Advantage Magazine.
URL: <http://www.ansys.com/staticassets/ANSYS/staticassets/resourcelibrary/article/AA-V4-I2-Speed-Up-Simulation-with-GPU.pdf> (дата обращения: 11.02.2011).

2. Газизов Р.К., Иванов В.Ю., Касаткин А.А., Лукащук С.Ю., Насибуллаев И.Ш., Ямилева А.М. Моделирование процесса линейной сварки трением в пакетах компьютерного моделирования – Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2010): Труды международной научной конференции (Уфа, 29 марта – 2 апреля 2010 г.) – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2010. – С. 442-447.