

## Использование технологии параллельных вычислений при решении СЛАУ в ПП «Композит –НК»

О.А. Штейнбрехер, А.Д. Ульянов

Новокузнецкий институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Кемеровский  
государственный университет», Новокузнецк

[olga\\_sht@mail.ru](mailto:olga_sht@mail.ru), [zbrg@mail.ru](mailto:zbrg@mail.ru)

### **Введение**

В настоящее время широко развиваются многочисленные пакеты программ [1, 2] для математического моделирования. В качестве примеров могут выступать широко известные пакеты, такие как ANSYS, NASTRAN, SolidWorks и другие. Из российских пакетов можно выделить T-FLEX, APM Structure. Как правило, данные пакеты программ для решения задач большой размерности требуют использования вычислительных кластеров. Однако конечный пользователь не всегда имеет доступ к подобным технологиям.

На кафедре математики и математического моделирования НФИ КемГУ разработан пакет программ «Композит-НК» [3, 4] предназначенный для решения задач статики и устойчивости машиностроительных конструкций методом конечных элементов [5]. В силу того, что задачи решаемые посредством данного пакета [6-8] требуют проведение вычислительного эксперимента [9], что подразумевает серию численных расчетов, что приводит к необходимости ускорения вычислений.

Для решения этой задачи были рассмотрены возможности использования в качестве решателя системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) наиболее эффективных итерационных методов с использованием предобуславливателей и возможностью применения методов параллельных вычислений.

### **Ускорение методов решения СЛАУ**

Как известно, метод конечных элементов сводится к решению СЛАУ. Поэтому для ускорения решения можно использовать эффективные методы решения СЛАУ.

В качестве решателей СЛАУ реализованы: прямой метод разложения Холесского и итерационный метод сопряженных градиентов с разнообразными предобуславливателями.

При решении задач статики в пакете программ «Композит-НК» метод конечных элементов производятся следующие шаги:

1. вычисление локальных матриц и векторов правых частей для каждого конечного элемента;
2. сборка глобальной матрицы;
3. факторизация, предварительная обработка матриц коэффициентов системы уравнения с целью оптимизации процесса решения;
4. решение СЛАУ;
5. после решения СЛАУ предусмотрен этап вычисления дополнительных данных. Так как решается задача в перемещениях, то дополнительным этапом является вычисление напряжений и деформаций.

Данные методы являются ленточными - во всех этих методах исходят из предположения, что до начала вычислений или исключений переменных суммирование в матрице коэффициентов  $A$  завершено, и она полностью собрана.

Существует группа методов основанных на обратном предположении - исключение начинается прежде, чем будет закончено суммирование. Такие методы называются фронтальными. Для реализации в пакете программ «Композит-НК» фронтального метода было введено ветвление после первого шага, так как при решении данным методом сборка глобальной матрицы не производится. Реализация алгоритма фронтального метода в пакете программ «Композит-НК» описана в работе [10].

Как известно в качестве модификации метода можно использовать переупорядочивание, проводимое перед расчетом, использование методов декомпозиции области или же использование фронтального метода в качестве шага итерационного метода.

Нами было выбрано использование фронтального метода в итерационном решателе. В его основу положено предположение, что внедиагональные блоки матрицы имеют меньшую норму, чем диагональные. И для сокращения ширины фронта неизвестные разбиваются на группы так, чтобы каждая группа неизвестных содержала степени свободы узлов одного из направлений.

При ходе метода последовательно фиксируются все степени свободы узлов за исключением одной, и рассматриваются уравнения с теми номерами, что и незафиксированные степени свободы. Таким образом, при проходе по всем степеням свободы, формируется глобальную матрицу коэффициентов, в диагональных блоках которой расположены коэффициенты при групповых неизвестных. Внедиагональные блоки содержат коэффициенты при неизвестных, которые в соответствующих сечениях временно считаются постоянными.

Таким образом, формируется шесть глобальных матрицы по направлению степеней свободы. Затем производится итерационный процесс последовательно друг за другом по шести направлениям. Процесс останавливается, когда решение на двух последовательных итерациях изменяется мало. После этого к методу применяется ускорение бисопряженным методом. Подробно модификация фронтального алгоритма рассмотрена в работе [11].

### **Использование технологии Nvidia CUDA**

В качестве вычислительных технологий для параллельного вычисления была рассмотрена технология Nvidia CUDA, которая позволяет использовать для параллельных вычислений видеокарту персонального компьютера. Технология базируется на том, что видеокарта по своей архитектуре представляет собой массово параллельный вычислительный центр, оснащенный множеством процессоров.

Данная технология планируется реализовываться в качестве внешнего модуля для пакета программ «Композит-НК», предназначенного для расчета

напряженно-деформированного состояния сетчатых конструкций методом конечных элементов. На данный момент для параллельных вычислений был выбран этап решения систем линейных алгебраических уравнений.

## **Вывод**

Таким образом, программный пакет «Композит-НК» позволит за незначительное время проводить серию вычислений больших задач с изменяемыми входными параметрами на персональном компьютере. Что можно использовать как для проведения вычислительного эксперимента, так и для решения задач динамики, как серии статических задач.

## **Литература:**

1. *Строительная механика* [Электронный ресурс]: Современные программные средства конечно-элементного анализа – Режим доступа <http://www.stroitmeh.ru/>
2. *Журнал «САПР и графика»* [Электронный ресурс]: Сравнительный анализ CAD/CAM-систем - №5 май 2008 - <http://www.sapr.ru/Archive/SG/2000/8/9/24.05.2008>.
3. *Каледин В.О.* Численно-аналитические модели в прочностных расчетах пространственных конструкций. НФИ КемГУ. – Новокузнецк, 2000. – 204 с.
4. *Бурнышева Т.В., Каледин В.О., Равковская И.В., Этешева С.В.* Развитие пакета программ математического моделирования сопряженных задач механики неоднородных конструкций // Вестник Кемеровского государственного университета. № 1(41) 2010. – С. 3-8.
5. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. – 392 с.
6. *Бурнышева Т.В.* Учет конструктивных вырезов при расчете полей напряжений оробренных оболочечных конструкций из композиционных материалов при статическом деформировании // Научный вестник НГТУ. - 2011. - №3 (44) - С. 93-102
7. *Васильев В.В.* Исследование влияния формы ячейки на напряженное состояние композитной сетчатой конструкции при локальном нагружении / В.В. Васильев, М.В. Никитин, А.Ф. Разин// Вопросы оборонной техники. Сер. 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. – М.: НТЦ «Информтехника». – 2008. – Вып. 1(138) – 2(139). – 90 с.
8. *Бурнышева Т.В., Разин А.Ф., Штейнбрехер О.А.* Оценка взаимного влияния составных частей оболочечной конструкции при осевом сжатии // Научно-технический

вестник Поволжья. №2 2012г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – С. 127-131

9. *Штейнбрехер О.А., Бурнышева Т.В.* Применение ППП «Композит-НК» как инструмента вычислительного эксперимента // Современные проблемы математики и механики: Материалы III Всероссийской молодежной научной конференции / Под ред. А.И. Филькова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012 – С. 381-385

10. *Штейнбрехер О.А.* Реализация фронтального метода в пакете программ «Композит-НК» // Материалы XLIX Международной научной студенческой конференции «Студент и научно технический прогресс»: Математика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2011 – С.219

11. *Штейнбрехер О.А.* Модификация фронтального метода решения СЛАУ в методе конечных элементов // Современные проблемы математики и механики: Материалы II Всероссийской молодежной научной конференции / Под ред. А.И. Филькова. – Томск: Из-во Том. ун-та, 2011 – С. 297-303