

## МЕТОД РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРОГОНКИ НА ГИБРИДНЫХ ЭВМ

*А.А. Федоров, А.Н. Быков, Е.А. Сизов*

*Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики, Саров*

Современные тенденции в разработке и создании суперкомпьютеров состоят в том, что качественно более высокая производительность их достигается на путях перехода к ЭВМ с множественными вычислительными процессами на основе параллельной обработки информации. Успешное использование большой потенциальной мощности таких ЭВМ для решения одной задачи возможно лишь после разработки прикладного программного обеспечения, учитывающего параллельную обработку информации.

В институте теоретической и математической физики (ИТМФ) РФЯЦ-ВНИИЭФ для решения научно-технических и технологических задач разработаны различные комплексы программно-ориентированных прикладных программ. Один из них основан на эйлерово-лагранжевой методике РАМЗЕС-КП численного решения трехмерных нестационарных задач газовой динамики с учетом теплопроводности. Конечно-разностная аппроксимация дифференциальных уравнений, используемая в методике, сводит задачу нахождения численного решения к необходимости решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) специального (тредиагонального) вида. Для нахождения решения таких СЛАУ используется метод прогонки.

Появление в последние годы параллельных ЭВМ с арифметическими ускорителями сделало актуальной задачу реализации методов решения СЛАУ с помощью прогонки на параллельных ЭВМ с такой архитектурой. Здесь мы рассмотрим один из методов решения прогонки на параллельных ЭВМ – метод, предложенный Н.Н. Яненко. Программа, реализующая этот метод на гибридных ЭВМ, написана в комплексе РАМЗЕС-КП на языке программирования ФОРТРАН с использованием функций библиотеки MPI и библиотеки CUDA для языка ФОРТРАН.

Программа тестировалась на ядрах ЦП Intel Xeon X5670 и АРУ NVIDIA Tesla C2050. В качестве тестовой рассматривалась задача о бегущей тепловой волне. На отрезке

$$0 \text{ см} \leq x \leq 1 \text{ см},$$

на котором находятся два вещества, в начальный момент времени задана температура

$$T(x,0) = 0 \text{ КЭВ}.$$

На границах навязываются следующие условия:

$$T(x,t) = 10\sqrt{t}, \quad x = 0 \text{ см}$$

$$T(x,t) = 0, \quad x = 1 \text{ см}.$$

Протекающий процесс описывается нелинейным уравнением теплопроводности

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \operatorname{div}(\chi \cdot \operatorname{grad} T)$$

со следующими характеристиками:

$$E = T, \chi = 0.5T^2, \quad \text{при } 0 \text{ см} \leq x \leq 0.5 \text{ см};$$

$$E = 0.1T, \chi = 5T^2, \quad \text{при } 0.5 \text{ см} \leq x \leq 1 \text{ см}.$$

Задача имеет аналитическое решение. Она решалась на 1, 15, 45, 90 ускорителях.

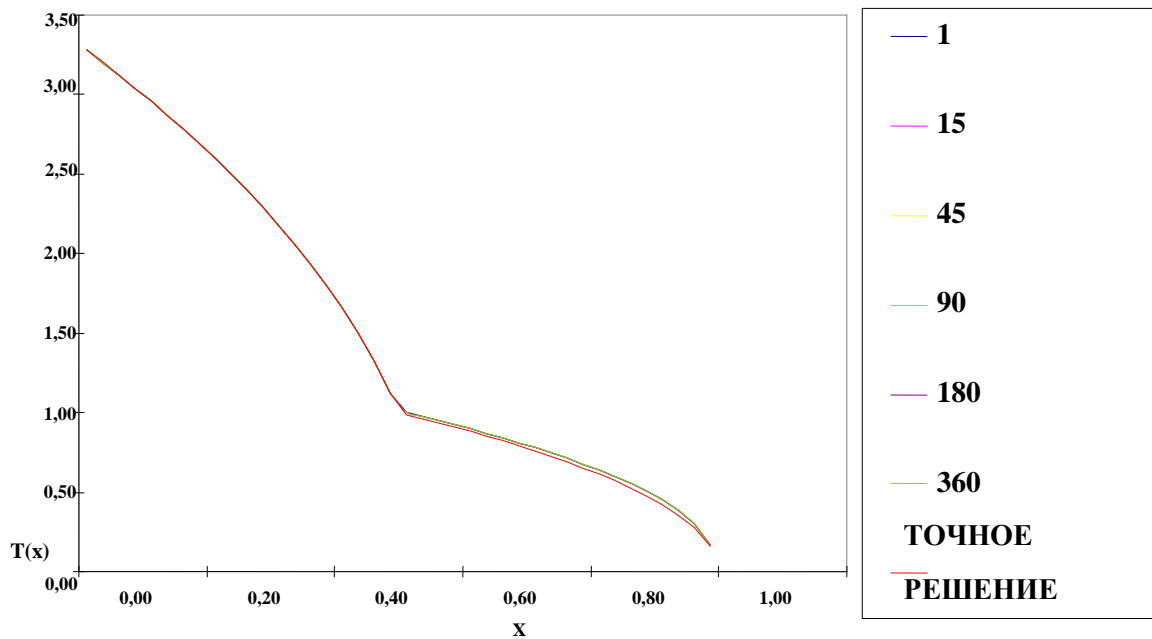


Рис. 1. Графики решений тестовой задачи на разном числе ускорителей и точного решения на момент времени 0.111 сек

При этом исследовались время работы алгоритма, ускорение и эффективность. Также сравнивалось время работы алгоритма на гибридных ЭВМ и ЭВМ без арифметических ускорителей. Из этих данных можно сделать вывод, что использование ускорителей позволяет уменьшить время работы программы до 5 раз. Однако такое ускорение на гибридных ЭВМ недостаточно хорошо. Это связано с тем, что основное время занимает передача данных на АРУ и обратно, но при включении данного алгоритма в комплекс программ РАМЗЕС-КП отпадет необходимость большинства перекачек данных, так как они уже будут храниться в памяти АРУ. Также с увеличением числа ускорителей возрастает время коммуникаций между процессорами, что приводит к снижению эффективности распараллеливания.

В дальнейшем по данному методу предполагается:

1. Попробовать реализовать параллельно-конвейерный метод при решении прогонки на втором этапе.
2. Применить двумерную декомпозицию, что уменьшит число процессоров в прогонке и должно повысить эффективность распараллеливания.
3. Внедрение разработанных программ в эталон комплекса РАМЗЕС-КП, что позволит перенести расчет коэффициентов трехточечных уравнений на АРУ и избавиться от двух этапов перекачки данных между ЦП и АРУ.
4. Кроме этого, предполагается попробовать реализовать на гибридных ЭВМ параллельно-конвейерный метод, используемый сейчас в эталоне комплекса РАМЗЕС-КП.

### Литература

1. Быков А.Н., Веселов В.А., Воронин Б.Л., Ерофеев А.М. Методика РАМЗЕС-КП для расчета пространственных движений многокомпонентных теплопроводных сред в эйлери-лагранжевых координатах. – Сб. Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. Саров, вып. 13, 2008. С. 50–57.

2. Яненко Н.Н., Коновалов А.Н., Бугров А.Н., Шустов Г.В. Об организации параллельных вычислений и «распараллеливании» прогонки. – Сб. Численные методы механики сплошной среды. Новосибирск, 1978. Т. 9, № 7. С. 139–146.
3. Рыбакин Б.П. Параллельное программирование для графических ускорителей. М.: НИИСИ РАН, 2011. С. 49–56, 69–70.