

# **ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «EXPRESS3D» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ В ОБЛАСТЯХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ НА ГИБРИДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С ГРАФИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССОРАМИ NVIDIA**

*А.А. Давыдов*

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва*

Одним из подходов к решению задач газовой динамики в областях сложной формы является применение многоблочных индексных сеток. Такой подход имеет ряд преимуществ, таких как простота записи вычислительных формул, большая точность разностных схем на гексаэдральных сетках, простота определения соседства элементов по индексам, относительно небольшие объемы требуемой оперативной памяти. В последнее время интерес к индексным сеткам подпитывается еще и тем, что численные методы на их основе эффективно реализуются на графических процессорах [1-4]. Главным недостатком этого подхода является сложность разбиения области на блоки, практически исключающая автоматизацию.

Расчеты на многоблочных индексных сетках широко применяются при проектировании различных изделий авиационной и космической техники. Задачи газовой динамики традиционно являются вычислительно емкими. Решение прикладных задач зачастую требует нескольких десятков тысяч процессоро-часов машинного времени. Применение графических процессоров, а также гибридных кластеров на их основе может существенно сократить время проектирования конечных изделий.

Анализ ситуации, сложившейся в сфере высокопроизводительных вычислений, позволяет сделать вывод, что в ближайшие 2-3 года суперкомпьютеры производительностью 1-10 петафлопс будут строиться по схеме гибридного кластера с графическими ускорителями. Кроме того, на рынке появилось много коммерческих вычислительных установок гибридной архитектуры масштаба одной 19-дюймовой стойки.

Коммерческие программные пакеты для моделирования задач газовой динамики весьма дорогостоящи и в большинстве случаев представляют собой своего рода «черные ящики». Когда о методе решения и его точности можно только догадываться.

Разработка программных комплексов, позволяющих моделировать сложные течения газа на современных гибридных вычислительных системах, имеет важное экономическое значение.

В докладе обсуждаются вопросы эффективности реализации численных алгоритмов для различных математических моделей динамики жидкости и газа (уравнения Эйлера, Навье-Стокса, квазигазодинамические уравнения) для архитектуры CUDA.

Большое внимание уделено вопросам балансировки загрузки ускорителей в гибридных многопроцессорных системах. Дело в том, что скорость обработки данных графическим процессором нелинейно зависит от объема обрабатываемых данных. В реальных производственных расчетах размерности блоков сетки могут отличаться на порядки, что может приводить к существенному дисбалансу.

Современная элементная база, из которой строятся гибридные вычислительные установки, такова, что на один графический ускоритель в системе приходится несколько универсальных процессорных ядер. Распределение вычислительной нагрузки между ускорителями и универсальными процессорами практически не целесообразно. Пред-

лагается использовать «простаивающие» процессорные ядра для выполнения сервисных функций, таких как обработка расчетных данных, построение необходимых сечений, вычисление интегральных характеристик.

### **Литература**

1. Давыдов А.А., Лацис А.О., Луцкий А.Е., Смольянов Ю.П., Четверушкин Б.Н., Шильников Е.В. Многопроцессорная вычислительная система гибридной архитектуры «МВС–Экспресс» // Доклады академии наук. 2010. Т. 434, № 4, С. 459-463.
2. Давыдов А.А. Численное моделирование задач аэро-газодинамики на гибридном суперкомпьютере «МВС-Экспресс» // Математическое моделирование. Т. 22, № 4, 2010. С. 90-98.
3. Давыдов А.А. Программный комплекс для расчета задач газовой динамики на гибридном суперкомпьютере «МВС-Экспресс, XVIII Всероссийская конференция «Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики с приложением к многопроцессорным системам», посвященная памяти К.И. Бабенко. Дюрсо, 2010.
4. Давыдов А.А., Четверушкин Б.Н., Шильников Е.В. Моделирование течений несжимаемой жидкости и слабосжимаемого газа на многоядерных гибридных вычислительных системах // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2010. Т. 50, № 12, С. 2275-2284.