

ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертационной работе

Павлухина Павла Викторовича

“Эффективное решение задач газовой динамики на кластерных

системах с графическими ускорителями”,

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы

и комплексы программ

Темой диссертационной работы Павлухина П.В. является построение методов и вычислительных алгоритмов для решения прикладных задач газовой динамики на современных и перспективных многопроцессорных вычислительных системах гибридной архитектуры. Основной целью работы было добиться получения максимальной эффективности использования вычислительной техники.

Диссертационная работа посвящена вопросам построения эффективных параллельных алгоритмов для неявных разностных схем и их реализации на вычислительных системах с графическими ускорителями для решения задач газовой динамики с использованием технологий CUDA и MPI.

Многие задачи гидро- и газодинамики требуют для решения вычислительные ресурсы, сопоставимые по мощности с ведущими суперкомпьютерами мира. Сложность заключается в том, что последние все чаще основываются на массивно-параллельных архитектурах, создание и реализация параллельных алгоритмов под которые носит весьма трудоемкий характер. Наиболее эффективными для таких архитектур оказываются простые алгоритмы, реализующие явные схемы.

Для трехмерных задач со сложной геометрией и, следовательно, с высоким сеточным разрешением явные схемы достаточно жестко ограничивают

выбор шага по времени, в результате вычислительная сложность решения стремительно растет.

Схемы неявного типа позволяют ослабить требования на выбор шага по времени, но при этом значительно сложнее для распараллеливания, особенно под архитектуры с массивной параллельностью, такие как графические ускорители. Более того, эти архитектуры наиболее эффективно работают со структурированным сеточным разбиением расчетной области, однако построение структурированных связных сеток для областей со сложной геометрией – непростая задача, а во многих случаях – неразрешимая.

Для решения описанных проблем Павлухин П.В. предлагается оригинальный параллельный алгоритм неявного метода LU-SGS на вычислительных системах с графическими ускорителями. Его основная особенность заключается в том, что он полностью соблюдает работу своего последовательного прототипа на всей расчетной области, а не на ее частях.

Масштабируемость алгоритма продемонстрирована в реализованной на его основе трехмерной версии программного комплекса для решения задач газовой динамики – с использованием 768 GPU расчет задач выполняется с эффективностью до 75%.

Возможность работы со сложной геометрией реализована Павлухиным П.В. с помощью метода свободной границы, который позволяет описывать пространственную геометрию и моделировать соответствующие граничные условия на простой декартовой сетке. Суть метода заключается в введении специального компенсационного потока в правую часть системы определяющих уравнений. Павлухин П.В. адаптировал метод для использования на кластерных вычислительных системах с графическими ускорителями.

Новизну диссертации отражают следующие элементы.

1. Построен параллельный алгоритм для неявного метода LU-SGS, доказана его корректность и эквивалентность последовательной версии;

2. Разработан и реализован параллельный комплекс программ для расчета задач газовой динамики на гибридных вычислительных системах с графическими процессорами NVIDIA. Реализована работа со сложной геометрией расчетной области представлением ее на декартовой несвязной сетке с помощью метода свободной границы. Расчеты, проведенные с помощью данного комплекса, подтвердили корректность и эффективность его работы с использованием большого числа графических ускорителей.

3. Верификационные расчеты задач в двух постановках – на связной сетке и на несвязной декартовой с методом свободной границы – подтвердили корректность получаемого решения с помощью разработанного программного комплекса.

Основные научные результаты, полученные диссертантом, следующие:

1. Предложено обобщение математической и численной модели свободной границы под специфику архитектуры графических ускорителей.
2. Разработан параллельный алгоритм модели свободной границы, гибридной явно-неявной схемы и итерационного метода LU-SGS для решения задач газовой динамики на вычислительной системе с графическими ускорителями.
3. Реализован программный комплекс на основе разработанного алгоритма с использованием технологий CUDA и MPI. Показана эффективность счета до 75% при использовании 768 GPU суперкомпьютера “Ломоносов”.
4. Проведены расчеты ряда газодинамических течений, включая моделирование обтекания вокруг профиля NACA0012 и DLR F6 на декартовой структурированной сетке, с помощью разработанного программного комплекса, которые подтвердили высокую эффективность его работы.

Основные результаты работы автора опубликованы в 6 печатных изданиях, 2 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 3 – в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus. Работа прошла апробацию на российских и международных конференциях, была высоко оценена в конкурсах научных работ.

Принимая во внимание всё выше сказанное, считаю, что диссертация П.В. Павлухина представляет собой законченную работу, выполненную на высоком научном уровне, отвечает требованиям Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней. Автор диссертации Павлухин Павел Викторович безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — “Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ”.

Научный руководитель,

Ведущий научный сотрудник _____

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,

профессор кафедры вычислительной механики

механико-математического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова,

д.ф.-м.н.



И.С. Меньшов

Подпись И.С. Меньшова заверяю

Ученый секретарь ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

к.ф.-м.н.



А.И. Маслов

“ 1 ” июля 2019 г.