

Отзыв официального оппонента

к. ф.-м. н. Ильи Витальевича Семенова

на диссертационную работу Павлухина Павла Викторовича

«Эффективное решение задач газовой динамики на

кластерных системах с графическими ускорителями»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – “Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ”

Актуальность исследования. Эффективное решение задач газовой динамики на высокопроизводительных вычислительных системах с гетерогенной архитектурой сопряжено с рядом проблем. Так программные реализации даже относительно простых для распараллеливания явных схем на декартовых сетках для гетерогенных вычислительных систем в ряде случаев имеют небольшую эффективность уже при использовании лишь нескольких десятков графических ускорителей. Для проведения газодинамических расчетов на сильно неоднородных сетках вокруг тел сложной формы с разрешением пограничных слоев широко применяются неявные или гибридные явно-неявные схемы. Однако, эффективное распараллеливание неявных разностных схем сталкивается со значительными трудностями из-за имеющихся в них зависимостей по данным, что приводит к ограничениям масштабируемости или к ухудшению скорости сходимости решения. Другой проблемой, влияющей на эффективность параллельного алгоритма, является широкое использование в расчетах с объектами сложной формы неструктурированных сеток. Это приводит к нерегулярным обращениям в память, что значительно снижает эффективность распараллеливания по сравнению с алгоритмами для декартовых сеток. Но, использование последних для расчетов в областях со сложной геометрией весьма затруднено, и может потребовать применения специальных методов типа свободной (или погруженной) границы. Адаптация подобных методов для использования на системах с графическими сопроцессорами представляет сложную задачу, а её решение открывает новые возможности для численного исследования газодинамических течений в сложных областях. Целями диссертационной работы Павлухина П.В. являются адаптация математических моделей и методов, а также разработка алгоритмов, позволяющих наиболее эффективно использовать вычислительные ресурсы систем с графическими ускорителями для решения задач газовой динамики. Работа, безусловно, носит актуальный характер, поскольку посвящена проблемам эффективного использования высокопроизводительных систем гетерогенной архитектуры для решения задач газовой динамики, а в настоящее время именно эти системы предоставляют значительное количество вычислительных ресурсов и занимают существенную часть в списках Top500.

Общая характеристика работы.

Диссертация состоит из введения, шести основных глав, главы заключения и списка литературы.

Во введении рассматривается актуальность выбранной темы исследования, обоснована необходимость создания и реализации эффективных параллельных алгоритмов решения задач газовой динамики для систем с множеством графических ускорителей. Сформулированы цели и задачи работы, научная новизна и основные положения.

В первой главе приводится обзор тенденций развития архитектур высокопроизводительных систем, рассматриваются модели программирования и проблемы реализаций различных численных методов для них.

Во второй главе описаны используемая математическая модель течения невязкого газа, метод свободной границы, численный метод для дискретной модели, а также метод LU-SGS решения систем линейных уравнений.

В третьей главе изложен параллельный алгоритм для метода LU-SGS, приводится доказательство его корректности и эквивалентности последовательному аналогу. Показана возможность использования асинхронных операций передачи данных для повышения эффективности параллельного алгоритма.

В четвертой главе приводятся детали программной реализации, которые в итоге позволили получить хорошую масштабируемость при расчете задач на суперЭВМ с большим числом графических ускорителей.

В пятой главе представлены результаты расчета ряда модельных задач газовой динамики, включая и крупномасштабное моделирование обтекания профиля DLR F6 на 162 GPU.

В шестой главе описан детальный анализ эффективности работы программного комплекса, который позволил её повысить, оптимизировав работу функций MPI.

В заключении приводятся основные положения, выносимые на защиту, а также перспективы и подходы для использования адаптивных сеток в разработанном программном комплексе.

Научная новизна, ценность и практическая значимость полученных результатов. Результаты, представленные в диссертации, являются новыми. В частности, новыми являются предлагаемый эффективный параллельный алгоритм для метода свободной границы и для решения систем дискретных уравнений методом LU-SGS, а также программный комплекс, разработанный для решения нестационарных задач газовой динамики на вычислительных системах с большим количеством графических ускорителей.

Соответствие работы специальности. Представленные результаты и содержание работы полностью соответствуют паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. В работе предложена адаптация математической и численной модели свободной границы для вычислительных систем гибридной архитектуры, представлен параллельный алгоритм для решения системы дискретных уравнений и

разработан соответствующий программный комплекс. Продемонстрирована его эффективность на системах с большим количеством графических ускорителей.

Основные публикации. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на 9 научных конференциях, в том числе с международным участием, и опубликованы в 6 печатных изданиях, 2 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 3 – в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus. Из недостатков работы можно отметить следующие:

1. К сожалению, в тексте диссертации присутствуют неверные ссылки на источники, в которых не содержится информация, цитирование которой приводится. Так цитируются работы [9] и [67] не содержащие сведений об использовании LU-SGS алгоритма, в тексте диссертации ссылаются на результаты из работы: *И.В. Семенов, И.Ф. Ахмедьянов. Разработка параллельного алгоритма LU-SGS для решения многомерных задач вычислительной газодинамики // Материалы Четвертой Сибирской школы-семинара по параллельным и высокопроизводительным вычислениям. Изд-во Томск: Дельтаплан, 2008. С. 122–129, 2008.* Более того, описание самого алгоритма в тексте диссертации приведено неверно.
2. В разделе 2.1 работы утверждается, что схема (2.36) «обеспечивает третий порядок точности по пространству и второй порядок по времени». Данное утверждение не доказано, и уже не является верным даже для просто неравномерных сеток, тем более для сеток с пересекаемыми границей твердого тела ячейками. Численное исследование порядка аппроксимации предложенной схемы в работе не представлено. Сама схема (2.36) записана в явной форме для всех ячеек, в которых не вводится компенсационный поток, хотя в тексте на нее ссылаются как на гибридную с промежуточным слоем.
3. В работе не содержится данных о влиянии параметра, определяющего объемную долю включения в пересекаемой профилем ячейке, на скорость сходимости. Это представляется важным, тк при уменьшении объема занятого газом в ячейке система становится плохо обусловленной.
4. Для постановок в разделах 5.1 и 5.4 не приведены сведения о числе Куранта с которым проводились расчеты. Сами постановки задач изложены кратко.
5. В разделе 5.5 представлены результаты расчета тягового устройства с числом Куранта 0.2, при этом время расчета на рисунках составляет 3750 с. По результатам расчета неясно получен ли в расчетах стационарный режим и какова эффективность данного расчета по сравнению с расчетом, проведенным на связанной с поверхностью устройства сетке.

Итоговая оценка работы. Указанные замечания, тем не менее, не снижают общей высокой оценки работы. Рассмотренные в ней задачи носят актуальный характер. Используемые и предложенные в работе, алгоритмы и методы имеют ясное изложение. Приведенные результаты являются новыми и обоснованными, обладают как научной, так и практической значимостью.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор, Павлухин Павел Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

ведущий научный сотрудник
Института автоматизации проектирования
Российской академии наук,
кандидат физико-математических наук



И.В. Семенов

26.09.2019

Шифр специальности, по которой защищена кандидатская диссертация Семенова И.В. – 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Москва, 123056, 2-я Брестская ул., 19/18,
Института автоматизации проектирования
Российской академии наук
Телефон: +7 (499) 250-82-86
e-mail: semenov@icad.org.ru

Подпись Семенова И.В. удостоверяю

Начальник отдела кадров
Института автоматизации проектирования
Российской академии наук



Т.В. Турчак