

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного учреждения



«Федеральный исследовательский
центр «Информатика и управление»
Российской академии наук»

И.А.Соколов

« 04 » сентября 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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 темы диссертационной работы

Диссертационная работа посвящена разработке и программной реализации неявных численных методов решения уравнений невязкого сжимаемого газа на структурированных сетках на современных гибридных вычислительных системах, включающих в себя сотни узлов, каждый из которых состоит из центрального процессора и графического ускорителя (графоплаты). Вычислительные системы такого типа являются в настоящее время наиболее популярными и занимают верхние строчки в известном мировом рейтинге самых быстрых суперЭВМ мира – Top500 (top500.org). При этом разработка эффективных численных методов решения уравнений газодинамики на неструктурированных сетках является нетривиальной задачей. Требование использования неявного метода по времени значительно усложняет задачу ввиду существенной зависимости по данным в численном алгоритме. Как правило, большинство параллельных реализаций неявных методов решения уравнений газодинамики не являются строго эквивалентными последовательному алгоритму, что может приводить к существенному замедлению

процесса сходимости решения к стационарному решению. С ростом числа используемых процессоров / графоплат параллельный расчет может требовать в несколько раз большего числа шагов по времени или вообще расходиться. Другая трудность состоит в возможном падении эффективности ускорения счета с ростом числа используемых узлов кластера. Актуальной является задача построения численного метода и программного алгоритма, лишенных описанных недостатков.

Оценка новизны и практической значимости

Одним из популярных методов решения системы уравнений, получающийся при использовании неявного метода решения, является подход LU-SGS. Основная идея метода LU-SGS состоит в приближенной факторизации матрицы, в результате которой значения расчетных величин на верхнем слое по времени получаются с помощью простых циклов, аналогичных методу решения LU. В настоящей работе разработан и реализован в параллельном программном коде новый вариант метода LU-SGS в приложении к неявной схеме в комбинации с методом свободной границы. Основное отличие нового алгоритма от стандартного LU-SGS состоит в эквивалентности параллельной и последовательной версий программной реализации на практически произвольном числе узлов и нитей в рамках одного узла гибридной вычислительной системы. Данное свойство метода позволяет избавиться от зависимости (падения) скорости сходимости к стационарному решению с ростом числа узлов используемой гибридной суперЭВМ и открывает дорогу к эффективному использованию будущих отечественных компьютеров производительностью десятки петафлоп.

Созданный в работе программный комплекс использует технологии параллельного программирования CUDA и MPI (message passing interface). Благодаря тщательному анализу и устранению узких мест программной организации автору работу удалось добиться хорошей масштабируемости кода при использовании до 768 узлов гибридного суперкомпьютера Ломоносов-2, установленного в НИВЦ МГУ им. М. В. Ломоносова. Созданный программный комплекс может быть использован в институтах РАН и высших учебных заведениях как для решения научных и прикладных задач, а также для дальнейшего совершенствования методов решения LU-SGS и подхода со свободной границей.

Оценка достоверности результатов

Разработанный метод решения и программный комплекс верифицированы на большом количестве тестовых расчетов, включающих в себя моделирование обтекания профиля

NACA0012 и модели самолета DLR F6 на декартовых сетках и измерения эффективности параллельной реализации с ростом числа узлов вычислительной системы.

Замечания по работе

1. Используемый в работе численный метод и декартовы расчетные сетки хорошо подходят для решения невязких уравнений, в то время как для практических приложений необходимо учитывать эффекты вязкости и теплопроводности. В работе не рассмотрена возможность обобщения представленных результатов на уравнения вязкого сжимаемого газа.
2. В работе представлен новый вариант параллельной MPI реализации метода LU-SGS, основанный на разбиении сетки на “черные” и “белые” блоки. Насколько применимым является такой подход для произвольных неструктурированных сеток, например тетраэдрических сеток с призматическими пограничными слоями?
3. На наш взгляд, параллельная многопоточная реализация LU-SGS в рамках одной графоплаты существенно использует декартовость расчетной сетки, в отличие, например, от подхода, предложенного в работе *М.Н. Петров, В.А. Титарев, С.В. Утюжников, А.В. Чикиткин. Многопоточная реализация метода LU-SGS с использованием многоуровневой декомпозиции сетки // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2017. Т. 57. N 11. С.1895-1905.* К сожалению, в диссертационной работе не исследована возможность обобщения предлагаемого метода на неструктурированные сетки, состоящие из произвольных элементов.
4. Список литературы в тексте диссертации содержит опечатки и пропуски фамилий авторов.

Заключение ведущей организации

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости полученных результатов и общей положительной оценки работы. В работе предложен новый вариант параллельной версии метода LU-SGS и его комбинация с методом свободной границы. Созданный на основе этих методов программный комплекс позволяет проводить вычисления на сотнях графических ускорителей без заметного падения эффективности счета и/или требуемого числа шагов по времени. Результаты работы имеют существенное значение для численного моделирования задач газовой динамики. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполнена автором самостоятельно и удовлетворяет требованиям ВАК, включая пп. 9–14 «Положения о порядке присуждения

ученых степеней ВАК». Соискатель Павлухин П.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждены и одобрены на семинаре отдела 24 «Механика» ФИЦ ИУ РАН 3 сентября 2019 года.

Титарев Владимир Александрович,
доктор физико-математических наук
ведущий научный сотрудник отдела 24 «Механика» ФИЦ ИУ РАН

Полное наименование организации: Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук»

Адрес: 119333, Москва, ул. Вавилова, д.44, корп. 2

Телефон: +7 499 135-62-60

Сайт организации: <http://www.frccsc.ru>

Электронная почта: frccsc@frccsc.ru