

ОТЗЫВ

Официального оппонента ведущего научного сотрудника «Научно-Исследовательского Московского комплекса ЦАГИ» доктора физико-математических наук Усачова Александра Евгеньевича на диссертационную работу Лашкина Сергея Викторовича «Повышение эффективности трехмерного численного моделирования течений вязкой несжимаемой жидкости на произвольных неструктурированных сетках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18-«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Диссертационная работа С.В. Лашкина посвящена разработке методов и алгоритмов повышения эффективности трехмерного численного моделирования турбулентных течений вязкой несжимаемой и слабосжимаемой жидкости, включая течения в анизотропных пористых средах, на произвольных неструктурированных сетках с ориентацией на высокопараллельные вычислительные комплексы петафлопного класса. Диссертант рассматривает способы повышения эффективности одного из широко применяемых численных алгоритмов решения уравнений Навье-Стокса и Рейнольдса, а именно, алгоритма SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) для использования его на многоядерных вычислительных системах. Повышение его эффективности возможно путем неявного совмещения полей скорости и давления в единой блочной матрице, так называемый совмещенный алгоритм решения уравнения неразрывности и уравнения сохранения количества движения. Кроме того, повышение эффективности совмещенного алгоритма возможно за счет ускорения этапа решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). **Актуальность темы** определяется, в первую очередь, необходимостью проведения численных расчетов с использованием сеточных моделей, содержащих сотни миллионов и миллиарды расчетных ячеек на многопроцессорных системах, состоящих из десятков тысяч процессорных ядер. Подобное моделирование позволяет значительно расширить круг описываемых физических процессов и повысить точность расчетов, особенно на произвольных неструктурированных сетках, часто являющихся безальтернативным вариантом при расчете промышленно-ориентированных задач.

Во введении дан анализ реализации численных алгоритмов SIMPLE на неструктурированных сетках, теоретическая и практическая значимость и научная новизна работы, основные положения, выносимые на защиту. Представлены, также, достоверность результатов работы, список печатных трудов автора, апробация результатов диссертации на семинарах и конференциях, личный вклад диссертанта в разработку численного алгоритма, его реализацию и применение.

Первая глава диссертации посвящена описанию физико-математической модели для моделирования вязких несжимаемых течений на произвольных неструктурированных сетках, представлены последовательная и параллельная реализация классического алгоритма SIMPLE на основе многосеточного метода с возможностью расчета на десятках тысяч процессоров, включающая особенности хранения и решения распределенных (параллельных) матриц СЛАУ. Рассмотрены особенности внедрения приведенного алгоритма SIMPLE в пакет программ ЛОГОС, а также проведена верификация на задачах, имеющих экспериментальное и аналитическое решение.

Во второй главе дано описание реализации совмещенного алгоритма для расчета на произвольных неструктурированных сетках на основе многосеточного метода. Представлены результаты исследования по сравнению эффективности расчета разделенного и совмещенного алгоритмов на примере решения характерных задач гидродинамики, описывающих внутренние и внешние течения. Также представлены результаты исследований эффективности реализованного алгоритма SIMPLE при моделировании турбулентных течений вязкой несжимаемой жидкости на множестве процессорных ядер.

Третья глава содержит описание математической модели совмещенного алгоритма для моделирования течений в пористых средах, а также его применение для решения промышленно-ориентированных задач авиационной и атомной промышленности. Представленный алгоритм является расширением полностью неявного метода решения уравнений Навье-Стокса для расчета многофазных течений со свободной поверхностью. В главе также приведены результаты расчетов различных прикладных задач: расчет параметров воздушной среды в кабине экипажа маневренного самолета; расчет температурных полей в отсеках оборудования самолета; моделирование естественной и вынужденной конвекции в верхней камере реактора MONJU; моделирование перемешивания разнотемпературных потоков натрия в верхней камере реактора БН-600.

Структура диссертации состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 106 наименований (всего 163 стр. текста).

Научная новизна работы определяется полученными оригинальными результатами, которые подтверждены серией расчетов, выполненных на различных сетках в том числе, на произвольных неструктурированных сетках. В качестве основных моментов, характеризующих научную новизну, нужно отметить следующее:

1. В диссертации представлена и реализована методика параллельной реализации классического и совмещенного алгоритмов SIMPLE на основе алгебраического многосеточного метода AMG, учитывающая особенности распределенного хранения и решения СЛАУ на десятках тысяч вычислительных ядер.

2. Представленная методика реализации классического и совмещенного алгоритмов SIMPLE верифицирована на примере решения характерных задач

гидродинамики, описывающих ламинарные и турбулентные течения вязкой несжимаемой жидкости на произвольных неструктурированных сетках.

3. Исследована эффективность параллельной реализации классического и совмещенного алгоритмов SIMPLE и определены оптимальные настройки многосеточного метода AMG для эффективного использования при решении промышленно-ориентированных задач.

4. Разработан новый метод решения уравнений Бринкмана-Форхгеймера на базе совмещенного алгоритма SIMPLE для моделирования течений вязкой несжимаемой жидкости в анизотропных пористых средах с возможностью полностью неявной аппроксимации линейного тензора сопротивления.

Практическая значимость. Все разработки, выполненные в рамках настоящей работы, реализованы на базе пакета программ ЛОГОС - отечественного программного обеспечения для инженерного анализа. С 2014 года в состав пакета ЛОГОС входят алгоритмы, схемы и решения, представленные в диссертации, которые используются для решения промышленных задач для таких отраслей промышленности, как авиастроение, атомная энергетика, автомобилестроение. Полученные теоретические и практические результаты по разработке и реализации численных методов решения системы уравнений Навье-Стокса могут быть применены при решении промышленно-ориентированных задач высокотехнологичных отраслей промышленности и задач по основной тематике ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

В качестве замечаний по работе отмечу следующее:

1. В первой главе при численном моделировании обращенного назад уступа результаты сравнение расчета с данными эксперимента нельзя считать хорошими (рисунок 24а). Расхождение величины расчетного местного коэффициента сопротивления в рециркуляционной зоне с данными эксперимента составляет более 50%.

2. В главе 2 для наглядности полученных результатов по эффективности распараллеливания для различного числа ядер не хватает графиков ускорения и эффективности распараллеливания для различного числа ядер.

3. В главе 3 при описании результатов решения прикладных задачах желательно указывать число расчетных ядер, на которых выполнен расчет.

Указанные замечания не снижают высокого научного уровня представленной диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Лашкина Сергея Викторовича является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Основные результаты диссертации прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях и в должной мере отражены в научных публикациях, включая издания из перечня ВАК. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

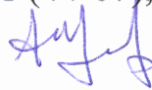
Основываясь на сказанном, считаю, что представленная диссертация по объему и глубине проработки, новизне и достоверности ее результатов соответствует квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, в том числе соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Лашкин Сергей Викторович, безусловно заслуживает присуждения ей искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Ведущий научный сотрудник

«Научно-Исследовательского Московского комплекса ЦАГИ»

г. Москва, ул.Радио17, т.(495)916-90-91 (44-07), usachov_al@mail.ru

д ф.-м. н:



А.Е. Усачов

Подпись Ведущего научного сотрудника «Научно-Исследовательского Московского комплекса ЦАГИ» Александра Евгеньевича. Усачова удостоверяю.

Начальник «Научно-Исследовательского Московского комплекса ЦАГИ», канд. техн.наук



В.П. Соколянский

