

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Горобца Андрея Владимировича «Параллельные технологии математического моделирования турбулентных течений на современных суперкомпьютерах», представленной к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертация Горобца А. В. посвящена актуальной проблеме создания эффективных параллельных алгоритмов и программных комплексов, применимых на широком спектре современных высокопроизводительных вычислительных систем при моделировании трехмерных нестационарных задач механики сплошной среды.

Актуальность тематики диссертации достаточно очевидна и следует из все более широкого применения методов моделирования задач гидродинамики для решения практических задач, возникающих в различных высокотехнологичных областях науки и техники. Как правило, это сложные турбулентные течения жидкости и газа, решение которых невозможно без применения высокопроизводительных вычислительных систем. В условиях многообразия архитектур суперкомпьютерных систем, имеющих множество уровней параллелизма, их эффективное использование требует разработки новых универсальных подходов к проблеме распараллеливания, в том числе при сочетании вычислителей принципиально различных типов. Проблема находится на стыке вычислительной математики и вычислительной технологии и является сложной научной задачей.

Научная новизна работы определяется следующими результатами:

- сформулирована новая комплексная технология создания переносимых параллельных алгоритмов с многоуровневым распараллеливанием и реализующих их расчетных кодов, применимых для моделирования турбулентных течений на высокопроизводительных вычислительных системах, в том числе с использованием гибридной архитектуры на основе ускорителей GPU и других типов;
- разработаны новые параллельные алгоритмы и построенные на их основе исследовательские программные комплексы для моделирования

сжимаемых и несжимаемых турбулентных течений с использованием десятков тысяч процессоров;

- выполнена серия прикладных расчетов турбулентных течений с использованием методов прямого численного моделирования (DNS), продемонстрировавших высокую эффективность предложенных методик и алгоритмов.

Практическая значимость диссертации обусловлена тем, что предложенные алгоритмы параллельных вычислений реализованы в виде расчетных кодов для моделирования сжимаемых и несжимаемых турбулентных течений жидкости и газа с использованием суперкомпьютерных вычислительных технологий. Эффективность разработанных методов продемонстрирована на решении ряда актуальных физических задач по турбулентной гидродинамике и теплообмену.

Обоснованность сформулированных в диссертационной работе научных положений, а также достоверность полученных в ней научных результатов не вызывают сомнения, поскольку они представлены в десятках статей в международных рецензируемых журналах и в многочисленных докладах на ведущих международных конференциях.

К автореферату диссертации имеются следующие замечания:

1. Автор предлагает различные методы параллельных вычислений, однако, судя по автореферату, применяются ортогональные декартовы координаты и соответствующие сетки. Автор в большинстве случаев не приводит характеристик используемых сеток – равномерные, неравномерные, что особенно важно для моделирования турбулентности.
2. Результаты, представленные в главах 3 – 5, как правило, оперируют относительно небольшими сетками (16 млн узлов) при достаточно большом числе процессоров (вплоть до 24000), что означает, что на одно расчетное ядро приходится относительно небольшое число узлов (до 1000). Было бы целесообразно привести эффективность предлагаемых алгоритмов в зависимости от количества узлов на одно расчетное ядро (или процессор при использовании гибридной технологии MPI и OpenMP).

3. Не всегда понятны утверждения автора относительно эффективности распараллеливания. Так, на странице 18 – 20 обсуждаются результаты применения технологий распараллеливания MPI и OpenMP. При этом на стр. 18 говорится об эффективности 10 – 15% от пиковой производительности CPU ядра, в то же время на 8 ядерном процессоре и сетке 1 млн узлов эффективность составляет 85 и 65% для явной и неявной схем. На рисунках 6 и 7 эффективность для различных вычислительных систем составляет 60 – 80%. Не ясно также, для каких задач получено то или иное ускорение. В подписи к рисунку говорится о модели турбулентности, однако не говорится ничего о решаемой задаче, методе её решения, модели турбулентности. Целесообразно указывать для какой задачи и какой модели получены приведенные результаты, поскольку на стр. 16 анонсируется создание кода NOISEtte, включающего различные модели турбулентности – RANS, LES, DES, DDES, IDDES.
4. По пятой главе, в которой приводится описание программы STG-CFD&HT для DNS расчетов с использованием гибридной технологии распараллеливания, на рис. 14 приведена результирующая производительность алгоритма для различных графических ускорителей, однако не говорится, для какой задачи и на каких сетках получены данные результаты.
5. На стр. 28 говорится: «Полученные результаты расчета [13] лучше подходят для валидации моделей турбулентного течения, чем экспериментальные данные, поскольку явление естественной конвекции изолировано, а вклад излучения, который существенно влияет на течение в физическом эксперименте, отсутствует в DNS расчете». Это утверждение требует уточнений, поскольку неясно, что автор имеет в виду, говоря об изолированности явления конвекции, и о вкладе излучения, вклад которого, безусловно, сказывается при достаточно высоких температурах, и определяет граничное условие на поверхности, которое может и должно быть учтено в расчете при его наличии в эксперименте.
6. Задача естественной конвекции между разнотемпературными вертикальными стенками, приведенная в параграфе 6.2, – классическая

задача конвективного массопереноса и теплообмена, исследованная при различных числах Рэлея. Целесообразно для подтверждения правильности расчетов привести сравнение с данными экспериментов. То же можно сказать о результатах исследования по расчету естественной конвекции между разнотемпературными вертикальными и горизонтальными стенками с помощью кода STG-CFD&HT, приведенными в параграфе 6.7. Целесообразно провести сравнение с экспериментом как по локальным, так и по интегральным характеристикам тепломассопереноса.

Работа не лишена опечаток и небольших текстовых ошибок:

- на стр. 4 7 строка сверху – неверное окончание у слова eddies;
- на странице 8 (3 строка сверху) пропущен предлог;
- на странице 8 (абзац «Теоретическая ценность») пропущен предлог;
- на стр. 26 подпись к рисунку 12 – неверный падеж;
- на стр. 27 4 строка снизу – незаконченное предложение.

Вышеуказанные недостатки и замечания не снижают высокий уровень диссертационной работы и ее научную и практическую значимость. Автором решена важная научно-техническая задача: разработаны и реализованы в виде завершенных программ методы проведения высокопроизводительных расчетов на параллельных вычислительных системах различной архитектуры, в том числе гибридной с использованием графических ускорителей. Разработанные автором программы используются для проведения практических расчетов механики жидкости и газа с использованием подробных сеток, содержащих сотни миллионов узлов. Новые принципы и подходы к разработке параллельных алгоритмов и расчетных кодов достаточно универсальны и могут быть использованы для решения других задач математической физики, что представляется значимым как для научных, так и для промышленных приложений.

Судя по автореферату, большому количеству публикаций в научной печати, можно сделать вывод о том, что по актуальности темы, степени новизны и достоверности полученных результатов работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор, Горобец Андрей Владимирович,

заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заместитель директора ИБРАЭ РАН
по разработке интегрированных программных
комплексов анализа безопасности АЭС и ЯТЦ,
доктор физико-математических наук

Стрижов Валерий Федорович
тел. (495) 955-22-08
e-mail: vfs@ibrae.ac.ru

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт проблем безопасного
развития атомной энергетики
Российской академии наук
115191, Москва, ул. Б.Тулльская, 52
+7 495 955-22-08
vfs@ibrae.ac.ru

Подпись д.ф.-м.н. Стрижова В.Ф. удостоверяю

Ученый секретарь ИБРАЭ РАН
кандидат технических наук



Калавтаров В.Е.