ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Сухомлина Владимира Александровича

на диссертацию Рыбакова Алексея Анатольевича

«Методы и средства повышения производительности программ для моделирования объектов со сложной геометрией»,

представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.5 - математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Актуальность темы

В настоящее время высокопроизводительные вычисления являются важным инструментом, используемым для изучения физических процессов, протекающих в природе и технических системах. Для этого применяется компьютерное моделирование, при котором изучаемый объект представлен в виде модели. В процессе развития математического аппарата и вычислительной техники наблюдается усложнение моделей изучаемых объектов, и сегодня можно говорить об использовании в расчётах сложных геометрий и конфигураций, которые достаточно точно описывают эти объекты. Для возможности выполнения моделирования изучаемых процессов на длительных отрезках времени необходимо обеспечить надёжность и высокую производительность выполняемых расчётов. Работа Рыбакова Алексея Анатольевича охватывает вопросы повышения надёжности вычислений при перестроении расчётной сетки, описывающей границу тела со сложной геометрией, а также повышения производительности используемого программного кода на всех доступных уровнях распараллеливания вычислений, что определяет актуальность проводимых исследований и востребованность результатов работы.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов, их научная новизна

В работе представлен ряд новых результатов, имеющих теоретическую и практическую значимость. Эти результаты включают в себя методы организации вычислений, выполняемых с использованием поверхностных неструктурированных расчётных сеток, которые изменяют свою геометрию в процессе счета, а также методы повышения производительности программ с помощью распараллеливания вычислений на всех уровнях распараллеливания. Представленные результаты теоретически обоснованы и подтверждены

численными экспериментами на высокопроизводительных вычислительных системах, что определяет их теоретическую значимость. Полученные результаты в совокупности формируют комплекс математических методов и алгоритмов, которые нашли своё отражение в законченном программном комплексе «Кристалл», который используется при проектировании современных образцов авиационной техники.

Степень обоснованности научных положений и достоверность результатов

В работе проведён анализ существующих методов работы с расчётными сетками и методов повышения производительности программ с использованием разных уровней распараллеливания. Предложены и теоретически обоснованы новые методы. Разработанные решения реализованы в программных кодах, достоверность и применимость полученных решений подтверждены экспериментами, проводимыми на высокопроизводительных вычислительных системах Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН и НИЦ «Курчатовский институт».

Апробация результатов работы и общая характеристика публикаций автора

Основные результаты диссертационной работы обсуждались на 12 конференциях. По теме диссертации автором опубликовано 30 статей в журналах, включённых в списки ВАК, Web of Science и Scopus. По результатам диссертационной работы получено 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и содержание диссертации

Диссертация включает введение, пять глав, заключение, список сокращений и библиографию (383 источника). Объем работы - 337 страниц; в ней представлены 126 рисунков, 9 таблиц и 17 листингов.

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи работы, приведена теоретическая и практическая значимость результатов, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится обзор темы исследования, а также рассматривается конкретное применение разрабатываемых методов и алгоритмов в рамках программного комплекса моделирования процесса обледенения.

Во второй главе приведены геометрические аспекты диссертационной работы: методы перестроения, сглаживания, коррекции поверхностных сеток, удаление их самопересечений, сопряжение с объёмной сеткой.

Третья глава посвящена организации вычислений на блочно-структурированной сетке, предлагается архитектура сетки с поддержкой дробления блоков и алгоритмы распределения вычислительной нагрузки между вычислительными узлами.

Четвёртая глава посвящена организации вычислений на поверхностной сетке, куда входит декомпозиция сетки для балансировки вычислительной нагрузки, снижение объёма межпроцессных обменов, разрешение конфликтов по доступу в память при выполнении параллельных вычислений.

В пятой главе освещается проблема повышения производительности программного кода с помощью векторизации вычислений. Предлагаются методы оптимизации кода с учётом особенностей управляющих конструкций. Предлагается методика векторизации, применимая к широкому спектру приложений.

В заключении приведены основные результаты работы и сведения об их внедрении.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации и позволяет достаточно точно оценить основные полученные результаты, степень их обоснованности и достоверности.

Замечания

Несмотря на высокую научную значимость работы, можно отметить следующие замечания.

1) В разработанном во второй главе методе удаления самопересечений поверхностной сетки для избавления от погрешности при нахождении пересечения геометрических объектов используются рациональные координаты. Однако при обходе внешней поверхности применяется вычисление углов между смежными ячейками сетки. При выполнении этой операции возможен выход за пределы поля рациональных чисел, что может привести к погрешности при работе с числами с плавающей точкой.

2) Касательно вычислений, выполняемых на объёмных расчётных сетках, в работе делается упор на блочно-структурированные сетки. Было бы уместно упоминание объёмных неструктурированных сеток, методов распараллеливания вычислений на таких сетках, а также расширение для них методов повышения производительности вычислений, предложенных для поверхностных неструктурированных сеток.

3) Из приведённых в пятой главе диссертации листингов векторизации программного кода с помощью встроенных функций-интринсиков можно

заключить, что написание и сопровождение кода таким образом слишком ресурсозатратно с точки зрения усилий программиста.

Указанные замечания не являются критическими и не снижают научную и практическую ценность работы и проведённых исследований.

Заключение

Диссертация Рыбакова Алексея Анатольевича представляет собой самостоятельное и завершённое научное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Сформулированная в диссертации цель и поставленные задачи обладают высокой научной актуальностью, а полученные практические результаты решают широкий спектр задач в области моделирования объектов со сложной геометрией, что говорит о том, что в работе решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение. Основные результаты диссертации полностью и своевременно опубликованы, реализованы в программных продуктах, внедрение и эксплуатация которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертация Рыбакова Алексея Анатольевича полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к работам на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.5 - математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей, а Рыбаков Алексей Анатольевич заслуживает присуждения ему указанной степени.

Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационной безопасности Факультета вычислительной математики и кибернетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» Сухомлин Владимир Александрович

«23» октября 2026 г.