

## ОТЗЫВ

на автореферат докторской диссертации Титарева Владимира Александровича «Численное моделирование пространственных течений разреженного газа с использованием суперЭВМ», представленной к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертация представляет собой прямо-таки каноническую работу по специальности 05.13.18, которую можно брать за образец с точки зрения соответствия тематике: представлен новый численный метод, для него предложен параллельный алгоритм и создана программная реализация, с помощью которой, в свою очередь, выполнен ряд расчетов актуальных задач.

Данная работа посвящена созданию моделей, методов и суперкомпьютерного программного обеспечения для численного моделирования течения разреженного газа в областях сложной геометрии с использованием неструктурированных пространственных сеток. Расчеты такого типа представляются крайне актуальными в космической промышленности.

Созданные автором модели, параллельные алгоритмы и расчетные коды открыли возможности практического использования суперкомпьютерных расчетов на основе численного решения кинетических уравнений применительно к реальной геометрии космических аппаратов. В частности, к таким задачам можно отнести предсказание аэродинамических и термодинамических характеристик при гиперзвуковом полете орбитальных кораблей многоразового использования и спускаемых аппаратов в верхних слоях атмосферы.

В работе особое внимание уделяется проблемам параллельных вычислений. Это неудивительно, поскольку такие расчеты, в которых решаются многомерные кинетические уравнения, имеют крайне высокую вычислительную стоимость. Автором реализовано двухуровневое MPI+OpenMP распараллеливание, параллельный алгоритм адаптирован к большому числу потоков для использования ускорителей Intel Xeon Phi. Показана достаточно высокая параллельная эффективность в расчетах с использованием 256 ускорителей, что является весьма редким примером практического использования такой вычислительной системы в газодинамических расчетах.

В области параллельных вычислений к работе имеются некоторые замечания. Например, приведены графики параллельного ускорения, которые

показывают, как ускоряется расчет при увеличении числа задействованных ускорителей. А задействуются 60-ядерные ускорители с 4-поточковыми ядрами. На графиках (вероятно, для пущей эффектности) указано суммарное число параллельных потоков, пугающее читателя значениями, превышающими 60 тысяч. При этом данных по параллельной эффективности и по фактической достигаемой производительности на данном ускорителе не приводится. Было бы интересно узнать, например, какое внутреннее ускорение получается при использовании 60 ядер относительно последовательного режима на ускорителе? А какое соотношение в производительности по сравнению с многоядерными центральными процессорами? Используется ли в явном виде векторизация, и какой она дает эффект? Конечно, данные замечания едва ли можно отнести к недостаткам такой большой и комплексной работы. Понятно, что нельзя объять необъятное, чтобы было исследовано совсем уж всё, что только можно, по всем релевантным областям.

Считаю, что диссертация Титарева В. А. соответствует заявленной специальности, автореферат хорошо отражает содержание диссертации и содержит необходимые сведения об основных научных положениях и результатах. Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а Титарева В. А. заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18.

В.н.с. 16 отдела ИПМ им. М. В. Келдыша РАН  
д. ф.-м. н. (05.13.18)

Горобец Андрей Владимирович

Подпись Горобца А. В. удостоверяю.

Ученый секретарь

ИПМ им. М. В. Келдыша РАН

к. ф.-м. н.



А. И. Маслов

14 марта 2018 г.