

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Титарева Владимира Александровича
«Численное моделирование пространственных течений разреженного газа
с использованием супер-ЭВМ»,

представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ»

Диссертация В.А. Титарева посвящена численному моделированию течений разреженного газа на основе решения модельных кинетических уравнений. Особенностью диссертационной работы является то, что основное внимание в ней уделено моделированию трехмерных течений в областях достаточно сложной формы. Проведение такого рода расчетов предъявляет высокие требования к быстродействию и памяти используемых ЭВМ, поскольку уравнение для функции распределения приходится решать в шестимерном фазовом пространстве. Фактически это возможно только на мощных суперкомпьютерах.

Автором диссертации разработаны два комплекса вычислительных программ для решения двумерных, осесимметричных и трехмерных задач динамики разреженного газа. Эта работа выполнена им на очень высоком уровне. Пакеты обладают завидной универсальностью и гибкостью. При аппроксимации уравнений могут быть применяться как многоблочные структурированные сетки, так и неструктурированные сетки, включающие одновременно элементы различных типов: тетраэдры, гексаэдры, пирамиды и призмы; причем это возможно и в физическом, и в скоростном пространстве. Для интегрирования по времени реализована неявная схема, позволяющая существенно ускорить вычисления, особенно при расчете стационарных течений. Код включает два уровня параллелизации: интерфейс MPI для обмена данными между различными вычислительными узлами и технологию OpenMP для распределения вычислений между ядрами, входящими в состав одного узла. Приводимые примеры показывают высокую эффективность расчетного кода при проведении расчетов на больших, в ряде случаев состоящих из миллиардов и даже десятков миллиардов ячеек, сетках.

В двух главах диссертации описываются результаты конкретных расчетов: одна посвящена течениям в микроканалах, в том числе со сложной пространственной геометрией, вторая — решению задач внешнего обтекания при больших скоростях. Существенным достижением является разработка алгоритма построения адаптивной сетки в пространстве скоростей, что дало возможность эффективно, без заметного увеличения числа ячеек в пространстве скоростей, проводить расчеты при гиперзвуковых числах Маха вплоть до $M_\infty = 30$. Впечатляющей демонстрацией возможностей разработанного пакета являются расчеты обтекания реальных тел сложной формы: воздушно-космического аппарата и спускаемой капсулы.

Я хотел бы, однако, высказать следующее замечание по представленным в последней главе расчетам обтекания тел азотом (раздел 5.3) и воздухом (раздел 5.5). Непонятно, каким образом с помощью модельного кинетического уравнения Шахова автору удалось провести расчеты для двухатомных газов. Если просто положить число Прандтля равным значению для данного газа, то это, как мне кажется, не означает, что показатель адиабаты примет правильное значение. Далее, при тех значениях числа Маха и температуры торможения, что используются в расчетах, несомненно

происходит возбуждение колебательных степеней свободы и идут химические реакции. Иметь ли смысл сравнивать результаты решения модельного кинетического уравнения, где все эти эффекты не учитываются с данными метода прямого статистического моделирования, в которых они, очевидно, присутствуют?

Высказанное замечание не снижает мою оценку работы В.А Титарева. Это интересное исследование, выполненное на актуальную тему и имеющее несомненную теоретическую и практическую значимость. Полученные в диссертации результаты, несомненно, являются крупным и ценным вкладом в разработку методов численного моделирования разреженных течений и разработку комплексов программ для проведения подобных расчетов. Многие вычислительные технологии, развитые и реализованные в ней, могут быть использованы также при разработке вычислительных пакетов для решения задач механики сплошной среды.

Считаю что диссертация полностью соответствует специальности 05.13.18 - «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней. Уверен, что автор диссертации, Владимир Александрович Титарев, заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по данной специальности.

Отзыв на автореферат обсужден и одобрен на семинаре Лаборатории вычислительной аэродинамики ИТПМ СО РАН (протокол №3 от 22.03.2018).

Старший научный сотрудник
ИТПМ СО РАН, д.ф.-м.н.

22.03.2018 г.



/Кудрявцев А.Н./

Кудрявцев Алексей Николаевич,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Лаборатории вычислительной аэродинамики
Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича Сибирского отделения
Российской академии наук
Тел. (383) 354-30-44
E-mail: alex@itam.nsc.ru
<http://www.itam.nsc.ru/users/alex>
630090, г. Новосибирск,
ул. Институтская, 4/1

