

**ОТЗЫВ Федерального государственного унитарного предприятия
"Центральный научно-исследовательский институт машиностроения"**

на автореферат диссертации Титарева Владимира Александровича на тему "Численное моделирование пространственных течений разреженного газа с использованием супер ЭВМ", представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Представленная работа посвящена созданию методики численного моделирования течений разреженного газа с использованием высокопроизводительных компьютеров. Для выполнения этой задачи решается модельное дифференциальное уравнение с упрощённым интегралом столкновения, являющееся приближением кинетического интегрально-дифференциального уравнения Больцмана. В виду необходимости больших вычислительных ресурсов, методика расчёта адаптирована для супер ЭВМ. В работе описан метод численного решения, применительно к течениям одноатомного газа в микроканалах и около космических аппаратов (КА) при движении в атмосфере Земли с гиперзвуковой скоростью на больших высотах в разреженном газе.

Актуальность избранной темы.

Актуальность работы связана как необходимостью совершенствования численных методов решения задач аэродинамики, так и с практическими задачами определения аэродинамических характеристик и параметров тепло-массообмена КА, а также расчёта их тепловых режимов. Проведение летных экспериментов очень дорого, поэтому при проектировании КА особое значение приобретает создание надежных методов математического моделирования.

Научная новизна.

В ходе выполнения диссертационной работы автором создана методика численного моделирования течения одноатомного газа с помощью решения модельного уравнения Больцмана (с заменой интеграла столкновения упрощённым выражением), адаптированная для супер ЭВМ. В частности, проводились расчёты на суперкомпьютере "Ломоносов" МГУ. Методом,

предложенным автором, решены задачи о течении газа в микроканалах и истечения разреженного газа из сопла в вакуум. Разработан новый полностью неявный метод решения кинетического уравнения на произвольных сетках.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований.

Теоретическая ценность работы заключается в разработке математической модели, позволяющей решать модельное уравнение Больцмана. Для решения указанного уравнения с использованием методики автора, необходимы значительные вычислительные мощности, поэтому методика численного моделирования адаптирована для супер ЭВМ.

Практическая значимость исследований состоит в разработке методики расчёта течения в микроканалах и модельных расчётах обтекания гиперзвуковых аппаратов с помощью предложенной автором диссертации методики.

Обоснованность и достоверность работы.

Проведена верификация методики путем сравнения полученных с ее помощью результатов численного моделирования с расчётами методом прямого статистического моделирования Монте-Карло. Для течений в микроканалах проведена валидация методики путём сравнения с экспериментальными данными.

Замечания.

Наряду с положительными сторонами диссертационной работы Титарева В.А. следует отметить недостаток:

1. В работе проведены расчёты обтекания модели перспективного транспортного корабля потоком гиперзвукового одноатомного газа, но при этом не учтены эффекты реального газа, поэтому данные расчёты можно рассматривать лишь как модельные, демонстрирующие возможность решения упрощённого уравнения Больцмана для гиперзвуковых течений около КА.

В целом диссертационная работа, судя по автореферату, выполнена на высоком научном уровне, содержит новые результаты в части вычислительной аэрогазодинамики и моделирования течения в микроканалах, которые могут быть использованы в технических приложениях. Результаты исследований опубликованы в рецензируемых научных журналах.

Диссертационная работа Титарева Владимира Александровича соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Министерства образования и науки РФ (Постановление Правительства РФ

от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к докторским диссертациям по физико-математическим наукам и, несмотря на отмеченные недостатки, заслуживает положительной оценки.

Отзыв рассмотрен на заседании подсекции 2-1 НТС центра теплообмена и аэрогазодинамики ФГУП ЦНИИМаш (протокол № 9 от 28 февраля 2018 г.).

Начальник Центра 2

кандидат физико-математических наук

Р.В. Ковалёв

Ковалёв Роман Вячеславович, тел. 8-495-513-41-00, 141070, г. Королёв, ул. Пионерская, д.4, kovalevrv@tsniimash.ru

Главный научный сотрудник отдела 2101

доктор технических наук

Г.Н. Залогин

Залогин Георгий Николаевич, тел. 8-495-513-43-73, 141070, г. Королёв, ул. Пионерская, д.4

Старший научный сотрудник отдела 2101

кандидат физико-математических наук

А.Л. Кусов

Кусов Андрей Леонидович, тел. 8-495-513-54-67, 141070, г. Королёв, ул. Пионерская, д.4, kusoval@tsniimash.ru

Подписи Ковалёва Р.В., Залогина Г.Н. и Кусова А.Л. удостоверяю

Главный ученый секретарь института

доктор технических наук



Ю.Н. Смагин

Смагин Юрий Николаевич, 141070, г. Королёв, ул. Пионерская, д.4.