

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Гудича Игоря Григорьевича «Исследование одной стохастической модели газа при умеренных числах Кнудсена», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 05.13.18 – математическое моделирование, алгоритмы и комплексы программ)

Несмотря на стремительное развитие компьютерной техники и информационных систем, появление многопроцессорных суперкомпьютеров со сложной архитектурой, высокоскоростных коммуникационных систем, методов параллельных вычислений и обработки данных, сложность прикладных задач растёт опережающими темпами. Поэтому исследование сложных объектов или природных явлений требует совершенствования вычислительных алгоритмов и методов математического моделирования. Одной из наиболее важных проблем механики является решение системы уравнений динамики газа в различных приближениях. Как объект разработки эффективных численных методов стохастическая модель газа представляет значительный интерес, так как служит основой численного моделирования процессов газовой динамики и в более полных моделях.

Диссертация И.Г. Гудича посвящена исследованию стохастической модели газа, которая является звеном в иерархической системе переходной по числу Кнудсена, предложенной А. А. Арсеньевым и развитой С. В. Богомоловым, и отвечает умеренным значениям рассматриваемого параметра. Тематика построения многоуровневых (микро-макро) моделей является весьма актуальной в последнее время на фоне роста спроса на вычислительный эксперимент. Учет кинетических эффектов оказывает большое влияние на точность моделирования.

Рассматриваемая модель получена с использованием аппарата случайных процессов, схема работы с которыми выработана С.В. Скороходом, но не привязана к конкретным физическим системам. Подобный подход предполагает и соответствующие методы стохастического моделирования, рассмотренные в диссертации Гудича. Целью рассматриваемой работы является построение и верификация упрощенной модели газа для умеренных чисел Кнудсена, основанная на вычислительном эксперименте – решении задачи о пространственно-однородной релаксации.

Первая глава диссертации посвящена выводу коэффициентов модели в предположении о локальной максвелловости решения в пространстве скоростей.

Во второй главе рассмотрено уравнение для плотности распределения в пространстве скоростей в сферической системе координат с полученными коэффициентами. Численно найдено стационарное решение задачи о пространственно-однородной релаксации, а так же численно решена нестационарная задача.

В третьей главе проводится сравнение стационара, полученного во второй главе, с решением найденным стохастическим методом частиц для трехмерной задачи о релаксации в пространстве скоростей.

Четвертая глава посвящена численному изучению решение задачи о пространственно-однородной релаксации для модели с исходными коэффициентами в виде трехкратных интегралов по пространству скоростей. Описан алгоритм решения стохастического дифференциального уравнения с учетом закона сохранения энергии в системе. Проведено сравнение стационарных распределений для задач с упрощениями и без упрощений.

К основным результатам следует отнести:

а) в области математического моделирования

Развитие нового подхода к математическому моделированию течения разреженного газа при умеренных числах Кнудсена на основе модели Богомолова, связанной с теорией случайных процессов. Основной проблемой моделирования при помощи данной модели является расчёт коэффициентов основополагающих уравнений, которые представляют многомерные интегралы по функциям распределения. В работе предложен оригинальный метод, связанный с предложением о виде функции распределения, которое позволяет существенно сократить объём вычислений. Значительная часть диссертационной работы посвящена анализу погрешности модели при данной допущении.

б) в области численных методов

Построен консервативный численный метод решения трёхмерного стохастического дифференциального уравнения в пространстве скоростей. Отличительной особенностью разработанного метода является коррекция энергии системы частиц на основе фундаментальных законов сохранения. Преимущества алгоритма показаны на примере решения задачи о пространственно-однородной релаксации.

в) в области создания комплекса программ

Разработанный численный метод реализован в виде комплекса программ для программно-аппаратной архитектуры CUDA.

К недостаткам диссертационной работы следует отнести:

- 1) В диссертационной работе отсутствует обоснование используемой функции распределения в пространстве скоростей для упрощения математической модели, а также оценка возникающей при этом погрешности.
- 2) Отсутствует сопоставление результатов стохастического моделирования по схеме Эйлера-Маруямы с другими схемами, в том числе со схемами высокого порядка аппроксимации.
- 3) Недостаточно подробно описан алгоритм реализации разработанных алгоритмов на архитектуре CUDA.
- 4) В тексте отмечен ряд опечаток (например, слово «декомпозиции» на стр. 3 автореферата) и использование нестандартной терминологии (например, фраза «раскидать» такие частицы так» на стр. 13 автореферата).

Отмеченные недостатки, не влияют на общую положительную оценку диссертации, которая является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором на высоком уровне.

Автореферат диссертации правильно и всесторонне дает представление о проделанной работе, содержит в кратком виде всю необходимую информацию, характеризующую полученные в процессе исследования результаты, основные положения и выводы. Опубликованные работы отражают основное содержание диссертации

Представленная работа является завершённым исследованием в области вычислительной гидродинамики, достоверность и обоснованность всех её положений показана с помощью вычислительных экспериментов. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, имеет теоретическую и практическую ценность. Совокупность полученных в ней результатов представляет интерес для развития численных методов.

Актуальность, научная новизна защищаемых положений, достоверность, практическая ценность результатов работы и личный вклад автора позволяют сделать вывод, что диссертационная работа «Исследование одной стохастической модели газа при умеренных числах Кнудсена» отвечает требованиям пп. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям и ее автор, И.Г. Гудич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Научный сотрудник сектора теплофизики
отдела «Двигатели и химмотология»,
доктор физико-математических наук

С.И. Мартыненко

111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 2.
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»
Телефон: (499) 763-57-47. Факс: (499) 763-61-10
e-mail: spravka@ciam.ru (канцелярия)

Подпись С.И. Мартыненко заверяю
Ученый секретарь ЦИАМ,
кандидат физико-математических наук



Н.П. Исакова
1 сентября 2015 г.