

Вх. № 6/22

от 27.05.2022г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Быковских Дмитрия Александровича  
«**Моделирование течения газа Кнудсена в трехмерной области методом Монте-Карло**»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Исследование параметров течения газа Кнудсена в трехмерной области с подвижными и неподвижными границами имеет важное прикладное значение в задачах, связанных с управлением высокотехнологичными процессами и созданием передовых разработок в современных отраслях промышленности. С появлением и развитием атомной энергетики возник ряд новых задач с требующими учета областями фокусировки, в которых при сжатии нейтронного газа происходит неограниченный рост энергии в определенный момент или короткий промежуток времени. Все большую популярность приобретают исследования, связанные с фильтрацией газа в пористых средах. В энергетике и металлургии проводятся исследования переносов фоонов с целью получения улучшенных термоэлектрических характеристик в совокупности с низкой теплопроводностью для наноматериалов, имеющих пористую структуру. Поиск нового класса точных решений для течения газа Кнудсена в области с подвижными и неподвижными границами дает возможность расширить набор уже существующих решений для использования при тестировании комплекса программ. Сказанное означает, что тема моделирования течения газа Кнудсена в трехмерной области методом Монте-Карло является актуальной, и именно ее исследованию посвящена настоящая диссертационная работа.

В своей диссертации Быковских Д.А. поставил целью разработку алгоритмов расчета движения газа Кнудсена в трехмерной области с подвижными и неподвижными границами методом Монте-Карло; создание комплекса проблемно-ориентированных программ, позволяющего визуализировать моделируемые процессы, для современных высокопроизводительных вычислительных систем и его верификацию; проведение вычислительных экспериментов по исследованию задачи фильтрации газа в пористой среде.

Для достижения поставленной цели им был решен ряд задач, а именно:

- разработаны метод и алгоритмы расчета движения кнудсеновского газа в трехмерной изменяющейся во времени области;
- разработаны тестовые задачи с подвижными границами для проверки комплекса проблемно-ориентированных программ;

- разработан, отлажен и протестирован комплекс проблемно-ориентированных программ для численного решения задач кинетики идеального бесстолкновительного газа в трехмерном пространстве, позволяющий визуализировать динамику процессов;

- выполнены распараллеливание и оптимизация программного кода для проведения расчетов на высокопроизводительных вычислительных системах;

- проведено численное исследование задачи фильтрации идеального бесстолкновительного газа в пористой среде и осуществлен анализ полученных результатов расчета.

Теоретическая значимость работы состоит в нахождении класса точных решений для модели адиабатического сжатия газа Кнудсена в трехмерной области.

Практическая значимость работы заключается в разработке эффективных алгоритмов расчета течения газа Кнудсена с подвижными и неподвижными границами, основанных на методе Монте-Карло. Созданный комплекс программ может быть использован для эффективного решения инженерно-технических задач, требующих моделирования процессов газовой динамики с использованием высокопроизводительных вычислительных систем. Результаты диссертационной работы имеют практическое значение для исследований проблем динамики разреженного газа, статистической физики, нефтегазовой отрасли, атомной и промышленной энергетики и оптики.

Достоверность полученных результатов работы обеспечивается использованием математической модели идеального бесстолкновительного газа, основанной на фундаментальных законах сохранения массы, импульса и энергии; моделированием методом Монте-Карло и проведением тестовых расчетов на задачах газовой динамики, показывающих степень близости численного решения к аналитическому в зависимости от количества частиц, участвующих в вычислительном эксперименте.

В качестве замечаний на автореферат можно отметить следующее:

- на рисунках 4 – 9 автореферата не указаны размерности физических величин (температуры, скорости, давления, объема), что затрудняет понимание представленной информации. Например, неясно, что значит температура  $T=0,04009$  на рисунке 5 (с. 13);

- в тексте автореферата на с. 20 отмечено, что выполнена верификация разработанного комплекса программ на задачах газовой динамики с аналитическими решениями. Однако сравнение результатов численного моделирования с аналитическим решением представляет собой тестирование, верификация же подразумевает сравнение результатов расчета с экспериментальными данными;

- имеются погрешности редакционного характера. Например, на с. 9 читаем «расчет... вычисляется», на с. 16 «с полностью» вместо «с плотностью».



Несмотря на сделанные замечания, общая ценность полученных результатов весьма высока. Выполненная диссертация имеет хороший уровень и представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему.

Основные результаты диссертации отражены в научных публикациях в журналах из перечня ВАК, Scopus, а также в докладах на всероссийских и международных конференциях.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертация Быковских Д.А. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатским диссертациям и соответствует п. 9 и п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор, Быковских Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Директор,  
кандидат технических наук

Левченко Валерий Алексеевич

Главный научный сотрудник,  
доктор технических наук, доцент

Кащеев Михаил Васильевич

Заведующий лабораторией,  
кандидат технических наук

Зайцев Алексей Александрович

Общество с ограниченной ответственностью Экспериментальный научно-исследовательский и методический центр «Моделирующие системы»

249035, Калужская обл., г. Обнинск, пр-т Ленина, д. 133.

Тел.: (48439) 6-35-98;

e-mail: [MihailKasheev@ssl.obninsk.ru](mailto:MihailKasheev@ssl.obninsk.ru)

Подписи Кащеева М.В., Зайцева А.А. заверяю:

Директор ООО ЭНИМЦ  
«Моделирующие системы», к.т.н.



Левченко  
Валерий Алексеевич

13 мая 2022 г.