

Вх. № 7/22

от 27.05.2022г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор Тюменского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, доктор физико-математических наук, профессор



Мусакаев Н.Г.

«27» мая 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

Актуальность темы диссертации связана с использованием в различных областях деятельности человека процессов, в которых флюид проникает в другую среду, происходит взаимопроникающее движение сред. Математическое моделирование таких процессов в определенных случаях может быть сведено к актуальной проблеме математического моделирования течения кнудсеновского газа в трехмерной области, границы которой могут изменяться во времени

В работе **Быковских Д. А.** получены **новые научные результаты**. В частности, построены точные решения задачи адиабатического сжатия газа Кнудсена в трехмерной области с подвижной границей. В рамках методов Монте-Карло разработаны вычислительная методика и алгоритмы расчета течений кнудсеновского газа в трехмерной области с изменяющейся границей. Создан комплекс проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов по моделированию течения газа

Кнудсена в областях с подвижными границами с применением технологий параллельных вычислений.

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов работы обеспечивается использованием математической модели, основанной на фундаментальных законах сохранения; вычислительная методика, алгоритмы и программы проверены тестовыми расчетами, сопоставлением численных решений с аналитическими, в том числе полученным автором.

Научная и практическая значимость. Результаты данной работы являются вкладом в развитие теоретических представлений об особенностях процессов, связанных с течением бесстолкновительного газа в пространственной области с подвижной границей. Найденный класс точных решений задачи адиабатического сжатия газа Кнудсена в трехмерной области может быть использован для верификации вычислительных кодов. Созданные вычислительная методика, алгоритмы и комплекс проблемно-ориентированных программ для высокопроизводительных вычислительных систем может быть использован при решении различных практических задач.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Общий объем диссертации составляет 116 страниц, включая 28 рисунков, 17 таблиц и список литературы, состоящий из 143 наименований.

Диссертация изложена на 116 страницах, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и двух приложений. В конце каждой главы формулируются полученные в этой главе результаты. Работа содержит 28 рисунков и 17 таблиц, список используемой литературы состоит из 143 наименований.

Во введении представлена общая характеристика работы. Показана актуальность выбранной темы исследования. Определены цели и задачи исследования. Сформулированы выносимые на защиту положения. Указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

Первая глава посвящена обзору литературы. В результате сделан вывод о необходимости разработки алгоритмов и комплексов программ для высокопроизводительных вычислительных систем по моделированию течений кнудсеновского газа в областях с подвижными границами.

Во второй главе приведено описание математической модели идеального бесстолкновительного газа. Изложен вычислительный метод, основанный на методе Монте-Карло, предназначенный для моделирования течения идеального бесстолкновительного газа в трехмерной области с подвижными и неподвижными границами. Приведены формулы расчета траектории движения частицы в пространстве с учетом многократного взаимодействия с подвижными границами. Рассмотрены способы оценки погрешностей вычислений.

Третья глава посвящена детальному описанию комплекса проблемно-ориентированных программ, разработанному для реализации вычислительного метода моделирования течения кнудсеновского газа в областях с подвижными границами. Описана оптимизация программного кода, позволяющая повысить эффективность использования ресурсов ЭВМ. Проведено тестирование комплекса программ на задаче о движущихся навстречу друг другу двух групп частиц, имеющей аналитическое решение. Выполнена оценка производительности разработанного комплекса программ.

В четвертой главе рассмотрена задача об адиабатическом сжатии газа Кнудсена в одномерной и трехмерной постановках. Описано построение точных решений задачи о нестационарном течении газа Кнудсена в области с подвижной границей. Полученные решения использованы для верификации разработанного комплекса программ. Сравнение точных и численных решений показало их качественное и количественное соответствие.

В пятой главе рассмотрена задача фильтрации идеального бесстолкновительного газа в пористой среде. Описана постановка вычислительного эксперимента. Выполнено численное исследование этой задачи с помощью разработанного комплекса программ.

В заключении кратко сформулированы основные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования.

Замечания по содержанию диссертации.

1. Обзор литературы является довольно пространным, включает учебники, монографии, работы прошлого века. Следовало уделить больше внимания современным работам, близким к теме диссертации.

2. В работе встречаются необоснованные и вызывающие возражения утверждения, например,

с.28 «Смысл функции f состоит в том, что она есть (ожидаемая) массовая плотность в фазовом пространстве одной частицы». Идеальный газ рассматривается как система материальных точек, не имеющих размера, поэтому о какой плотности идет речь?

с.80 «Также предполагается, что динамическая вязкость бесстолкновительного газа, проходящего сквозь пористую среду, зависит от размеров и структуры порового пространства». Вязкость — это внутреннее трение, она не зависит от окружения. Здесь, возможно, имелось в виду, что вязкость проявляется при взаимодействии газа со стенками канала. Отметим, что в механике многофазных сред при выводе уравнения фильтрации (сохранения количества движения флюида) принимается допущение о том, что вязкость флюида учитывается лишь в силе взаимодействия флюида со скелетом пористой среды.

с.82 «В этом случае вязкость газа должна стремиться к бесконечности». Этот вывод делается формально из формулы (5.1), но физического смысла не имеет.

с.94 «Это объясняется тем, что давление зависит от плотности газа, а температура — нет». Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева давление, плотность и температура являются взаимозависимыми.

3. В работе имеется ряд опечаток и стилистических погрешностей, например, с.18 «одномерным покоящимся газом», с.81 «5.1

Коэффициент фильтрации газа в пористой среде», но в параграфе рассматривается коэффициент проницаемости, а не фильтрации, с.107 «движений разжженного газа», с.112 «нелинейных эффектов на течение» и др.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение.

Работа является законченным диссертационным исследованием, выполнена на достаточно высоком научном уровне, а ее результаты имеют научно-практическую значимость. Основные результаты диссертации доложены на ряде международных и всероссийских конференций и опубликованы в научной печати, в том числе в пяти статьях в журналах, включенных в перечень ВАК РФ. Получены два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Автореферат верно отражает основное содержание диссертации.

Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию в научно-исследовательских, проектных и общеобразовательных учреждениях, занимающихся математическим моделированием и разработкой численных методов и комплексов программ для исследования пространственных течений газов в областях с изменяющимися границами и препятствиями, когда применима модель Кнудсеновского газа, и для решения различных соответствующих практических задач.

Диссертационная работа по актуальности, научной новизне, основным положениям и выводам соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, **Быковских Дмитрий Александрович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.**

Диссертация Быковских Д. А. была заслушана на семинаре Тюменского филиала ИТПМ СО РАН. *Протокол семинара № 2 от 27.04.2022.* *Бородин*

Руководитель научного направления
«Математическое моделирование в механике»,
доктор физико-математических наук (01.02.05 –
Механика жидкости, газа и плазмы),
профессор

А.А. Губайдуллин

Подпись А.А. Губайдуллина удостоверенно

Ученый секретарь ТюмФ ИТПМ СО РАН

кандидат физ.-мат. наук



С.Л. Бородин

27.05.2022.

Тюменский филиал федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук
Адрес: 625026, г. Тюмень, ул. Таймырская, д. 74
тел.: +7 (3452) 68 -27-45, e-mail: TBITAMSBRAS@yandex.ru