

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Понькина Евгения Игоревича

*«Кумуляция энергии при безударном сжатии двумерной мишени для
термоядерного синтеза»*

представленную на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук по специальности:

1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы

1. Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Понькина Евгения Игоревича посвящена аналитическому и численному определению параметров кумуляции энергии при безударном сжатии двумерной мишени для управляемого термоядерного синтеза.

Рассматривается традиционный для научной школы академика А.Ф. Сидорова подход к описанию сжатия мишени, когда решение задачи о разлете газа в вакуум при $t > 0$ применяется к описанию сжатия специального объема при $t < 0$. С целью определения физических законов, описывающих явление сжатия двумерных мишеней, в диссертации был выбран путь построения аналитических, а не численных решений системы уравнений газовой динамики (СУГД) для рассматриваемых двумерных течений.

Традиционно используемый метод решения подобных задач, предполагает сведение СУГД к одному дифференциальному уравнению для функции $\Psi(t, u, v)$, где u, v – компоненты вектора скорости газа V в декартовой системе координат. Решение дифференциального уравнения второго порядка для функции $\Psi(t, u, v)$ строится в виде ряда по степеням v (в пространстве годографа). В диссертации рассматривается новый подход, в рамках которого СУГД сводится к характеристической задаче Коши стандартного вида в пространстве физических автомодельных переменных. Как итог, построенное решение имеет физическое содержание, на основании которого можно строить

законы движения поршней, сжимающих газ в рассматриваемом объеме мишени.

Актуальность работы обусловлена необходимостью понимания сути физических процессов, происходящих в результате внешнего воздействия на мишень в течениях сжатия. Перед постановкой эксперимента по безударному сжатию необходимо проведение тщательных аналитических и численных исследований, что позволит исключить в эксперименте факторы, препятствующие успешному «зажиганию» термоядерного горючего, а также поможет дать рекомендации по конкретным конфигурациям мишени для управляемого термоядерного синтеза (УТС).

Исследование дополняет и развивает теоретические результаты по вопросам безударного сильного сжатия специальных призматических объемов. Практическая значимость заключается в том, что на основании построенных локально-аналитических решений, описывающих сжатие политропного газа в специальном призматическом объеме, и анализа их газодинамических характеристик даны рекомендации по конкретным конфигурациям мишеней для управляемого термоядерного синтеза.

2. Научная новизна результатов диссертационного исследования

Впервые построено локально-аналитическое решение начально-краевой задачи (НКЗ) о разлете политропного газа в вакуум на косой стенке при $t > 0$ в общем несогласованном случае, когда нет алгебраической связи между γ и α , в виде ряда по степеням θ , где θ – известная функция автомодельных переменных $\xi = x/t$, $\eta = y/t$. Впервые определена область абсолютной сходимости построенного решения.

Впервые построен критерий для определения значений γ , для которых решение транспортного уравнения для коэффициента $c_1(\xi)$ можно построить в явном виде для любых значений $0 < \alpha < \pi/2$. Впервые транспортное уравнение для коэффициента $c_1(\xi)$ проинтегрировано в явном виде для значений $\gamma = 5/3$, $\gamma = 2$, $\gamma = 5/2$.

Впервые определена конфигурация течения разрежения в области двойной волны в несогласованном случае для квазисогласованного приближения в зависимости от значений γ и α .

В интерпретации решения на сжатие в квазисогласованном приближении впервые определен критерий возникновения в течении градиентной катастрофы в зависимости от значений γ и α . Впервые показано, что для рассматриваемой двумерной мишени в несогласованном случае режим безударного сильного сжатия ограничен критическим значением скорости звука, определяемой из построенного критерия, при достижении которой режим течения сжатия переходит в ударную волну.

Впервые построены законы движения проницаемых и непроницаемых поршней, сжимающих водород в специальном призматическом объеме с косою стенкой, с использованием построенного локально-аналитического решения исходной НКЗ в согласованном случае, определены параметры кумуляции газа и мощности энерговложения в мишень.

3. Степень обоснованности и достоверности основных положений и выводов диссертации

Обоснованность и достоверность результатов диссертационного исследования обеспечивается корректным использованием хорошо известной и проверенной математической модели – система уравнений газовой динамики, описывающей течения политропного газа, применением классических математических методов для построения решений систем дифференциальных уравнений с частными производными, использованием эффективных численных методов для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

Описанные в диссертационной работе результаты были опубликованы в 25 научных работах, из которых: 5 – научные статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, индексируемых MathSciNet, zbMATH; препринт; 20 – в трудах различных конференций;

получено три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

4. Общая оценка содержания работы

Диссертация Е.И. Понькина «Кумуляция энергии при безударном сжатии двумерной мишени для термоядерного синтеза» является логически завершенным исследованием, посвященным актуальной научной проблеме, в ней получены существенные результаты, обладающие новизной, теоретической и практической значимостью. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, списка рисунков, списка таблиц и одного приложения. Объем работы составляет 155 страниц печатного текста, список литературы включает 109 наименований.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследования, сформулированы цели, определены задачи работы, приведены сведения о научной новизне, практической значимости, сформулированы основные результаты, выносимые на защиту, указана апробация результатов и публикации.

В первой главе представлен литературный обзор источников, посвященных исследованиям задач сильного безударного сжатия газа. Здесь описываются проблемы реализации УТС, которые приводят к задачам сильного безударного сжатия в том числе сложных многомерных конструкций. В обзоре показывается, что на сегодняшний день аналитические решения задач сжатия не полностью описывают рассматриваемые явления. В заключении главы формулируется и рассматривается актуальность задач, решению которых посвящено настоящее исследование.

Во второй главе излагается математическая постановка и построение локально-аналитического решения НКЗ об истечении газа в вакуум на косой стенке в пространстве физических автомодельных переменных в общем несогласованном случае. Доказывается теорема существования и единственности локально-аналитического решения исходной

характеристической задачи Коши стандартного вида в виде степенного ряда. На основании доказанной теоремы предлагается алгоритм решения задачи и далее находятся коэффициенты ряда в аналитическом виде, как решения специальных обыкновенных дифференциальных уравнений. В конце находится область сходимости рассматриваемого ряда.

В третьей главе диссертации выполнен газодинамический анализ течений разрежения и сжатия в области ДВ, которые описываются автомодельным решением задачи об истечении газа в вакуум на косой стенке в согласованном и общем несогласованном случае, при произвольном значении угла наклона косой стенки $0 < \alpha < \pi/2$, не связанном со значением политропы γ . Показана зависимость конфигурации течения в двойной волне при разлете газа в вакуум на косой стенке от параметров α и γ . В интерпретации на сжатие показано, что при достижении критического значения скорости звука, зависящего от значения α и γ , режим безударного сильного сжатия переходит в ударную волну.

В четвертой главе приведено математическое описание сильного безударного сжатия призматического объема с косой стенкой заполненного водородом с использованием построенного решения при $t < 0$ в согласованном случае. Построены законы движения проницаемых и непроницаемых поршней, сжимающих водород в специальном призматическом объеме с косой стенкой. На основании анализа трех параметров кумуляции сделан вывод о том, что сжатие мишени непроницаемым поршнем энергетически более выгодно, в сравнении с воздействием на мишень заданным давлением. Найден специальный закон внешнего воздействия на мишень непроницаемым поршнем.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования, указано соответствие полученных результатов специальности: 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы, а также указано возможное продолжение темы исследования.

5. Основные вопросы и замечания по работе

1. В задаче рассматривается идеальный газ и изэнтропическое течение. Какова погрешность используемого решения с идеальным газом, вместо реального газа?
2. К чему приведет учет температуры при безударном сжатии газа?
3. Можно ли как-то оценить радиус окрестности существования аналитического решения? Как этот радиус соотносится с конфигурацией течения при разлете газа в вакуум, найденной в квазисогласованном приближении?
4. В диссертации не приводятся эксперименты по безударному сильному сжатию мишеней для УТС. Желательно сослаться на эксперименты по безударному сжатию, если они были. Если таких экспериментов не было, указать на существующие трудности и возможности их преодоления.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости работы.

6. Заключение о соответствии диссертационного исследования установленным положениям о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Понькина Евгения Игоревича «Кумуляция энергии при безударном сжатии двумерной мишени для термоядерного синтеза» представляет собой завершенную научно квалифицированную работу, в которой решается актуальная научная задача.

Представленная диссертационная работа по своему содержанию соответствует формуле специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы: *«Построение и исследование математических моделей для описания параметров потоков движущихся сред в широком диапазоне условий, проведение экспериментальных исследований течений и их взаимодействия с телами и интерпретация экспериментальных данных с целью прогнозирования и контроля природных явлений и технологических процессов,*

включающих движения текучих сред», а также следующим областям исследования из паспорта специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы:

- в рамках направления исследования *«Точные, асимптотические, приближенные аналитические, численные и комбинированные методы исследования уравнений континуальных и кинетических моделей однородных и многофазных сред.»* (пункт 19): построено аналитическое решение задачи о разлете политропного газа в вакуум на косой стенке в пространстве физических автомодельных переменных в общем несогласованном случае;

- в рамках направления исследования *«Течения сжимаемых сред и ударные волны»* (пункт 5): выполнен газодинамический анализ свойств течений разрежения и сжатия газа в области двойной волны, определено условие перехода изначально безударного режима течения газа в ударно-волновой режим течения сжатия рассматриваемой мишени для управляемого термоядерного синтеза;

- в рамках направления исследования *«Разработка математических методов и моделей гидромеханики»* (пункт 20): построенное точное решение задачи о разлете газа в вакуум на косой стенке было интерпретировано на сжатие специального призматического объема (мишени) и определены законы движения поршней, сжимающих газ в области двойной волны, а также параметры кумуляции газа.

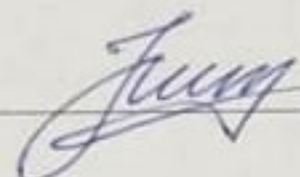
Автореферат достоверно отражает полное содержание работы и основные положения, выносимые на защиту.

Диссертация Понькина Евгения Игоревича *«Кумуляция энергии при безударном сжатии двумерной мишени для термоядерного синтеза»* соответствует пп. 9 – 14 *«Положения о присуждении ученых степеней»*, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям,

а ее автор Понькин Евгений Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН), доктор физико-математических наук (специальность 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы).

 Литвиненко Юрий Алексеевич

Почтовый адрес: 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

Телефон: 330-42-68

Подпись Литвиненко Юрия Алексеевича заверяю,

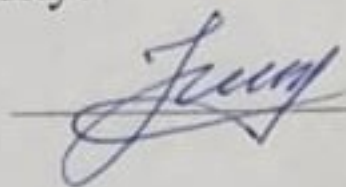
Ученый секретарь ИТПМ СО РАН, к.ф.-м.н.





Кратова Ю.В.

Я, Литвиненко Юрий Алексеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



/Литвиненко Юрий Алексеевич

«28» 10 2025 г.