

## **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**

Одной из важных проблем науки и техники является конструирование источников энергии, которые должны ее генерировать длительное время в необходимых мощностях и с соблюдением мер предосторожности для человечества и природы. Безусловно, важную роль в современной механике, физике и энергетике играет управляемый термоядерный синтез. Основное его преимущество заключается как в управляемости процесса в отличие от взрывного термоядерного синтеза. Это позволяет разрабатывать новые технологии и способы получения энергии.

Известно, что в экспериментах по управляемому термоядерному синтезу инженеры и исследователи используют такую же схему инициализации горения дейтерий-тритиевого топлива в термоядерных зарядах, но при этом используют излучение лазера вместо ядерного взрыва. В результате данного технологического процесса после лазерного излучения на поверхности мишени происходит абляция и части оболочки, нагретые до различных температур, разлетаются в разные стороны по закону радиационной имплозии. Таким образом, для инициализации дейтерий-тритиевого топлива необходимо сжать водород необходимо несколько раз использовать сходящиеся сферические ударные волны.

Известно, что ранее был теоретически разработан другой способ инициализации термоядерных реакций в мишени. Речь идет о безударном сильном сжатии. Повторим, что до недавнего времени безударное сильное сжатие рассматривался только в теоретических расчетах, в которых были

предложены различные простейшие геометрические фигуры мишеней с различными видами симметрии для разработки алгоритмов управляемого термоядерного синтеза.

Проведение экспериментов с последующей разработкой технологии генерации энергии безударным сильным сжатием осложняется недостаточным количеством математических моделей для описания начально-краевых задач двумерных или трехмерных существенно нестационарных течений разрежения и сжатия.

Данные проблемы исследуются последние пятьдесят лет, но преимущественно для одномерных задач. Конечно, нельзя переоценивать роль одномерных начально-краевых задач газовой динамики, но исследование устойчивости (неустойчивости) одномерных потоков для сжимаемых сред развито недостаточно.

В связи с этим важной и актуальной задачей является исследование качественных и количественных свойств двумерной и трехмерной системы уравнений газовой динамики аналитическими методами для построения новых вычислительных схем и обнаружения новых физических механизмов в управляемом термоядерном синтезе. Таким образом, выбор Е.И. Понькиным темы диссертационного исследования является чрезвычайно злободневным и важным для современной науки в механике жидкости, газа и плазмы. Научные результаты, полученные в диссертационной работе, могут найти применение в теоретических и экспериментальных исследованиях университетов или научно-исследовательских организациях, а также станут отправной точкой для разработки новых технологических процессов управляемого термоядерного синтеза.

## **2. Научная новизна результатов диссертационного исследования**

При проведении исследований автором были сконструированы локально-аналитические решения поставленных задач, которые были представлены в виде ряда по степеням независимых переменных с коэффициентами, выраженными неизвестными функциями, которые

определяются из специальных обыкновенных дифференциальных уравнений со специальной структурой.

В диссертации приведено много интересных результатов, в том числе сформулированных в виде математических утверждений, что в последнее время для механики жидкости, газа и плазмы является редким событием. Выделим наиболее важные и интересные:

- Впервые построено локально-аналитическое решение начально-краевой задачи двумерной системы уравнений газовой динамики о разлете политропного газа в вакуум на наклонной (косой) стенке в общем несогласованном случае в пространстве автомодельных переменных;
- Впервые построен конструктивный критерий пригодный для определения значений показателя политропы, для которых решение транспортного уравнения для определения коэффициента ряда скорости звука можно построить в явном виде для любых значений угла наклона косой стенки и показателя политропы;
- Впервые определена структура течения разрежения в области двойной волны в несогласованном случае для квазисогласованного приближения в зависимости от значений угла наклона косой стенки и показателя политропы.

Эти научные результаты, очевидно, обладают новизной и вносят существенный вклад в решение актуальных задач управляемого термоядерного синтеза.

### **3. Степень обоснованности и достоверности основных положений и выводов диссертации**

Обоснованность и достоверность результатов диссертационного исследования подтверждаются строгой постановкой задачи, математическими доказательствами, корректным использованием математического аппарата теории, описывающей течения политропного газа, численных методов решения задач газовой динамики, методов решения краевых задач

математической физики и сравнением частных случаев полученных аналитических решений с аналитическими, численными и экспериментальными результатами других авторов.

Описанные в диссертационной работе результаты исследований неоднократно обсуждались на научных семинарах. Они были опубликованы в 25 научных работах, из которых: 5 – научные статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и индексируемых в различных международных базах данных; 20 – в трудах всероссийских и международных конференций; получено 3 свидетельства 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 по математическому описанию кумуляции энергии при безударном сжатии двумерной мишени для термоядерного синтеза посредством построения локально-аналитического решения системы уравнений газовой динамики для двумерного течения в области разрежения при разлете политропного газа в вакуум с косоугольной стенки или при сжатии в призматическом объеме, в пространстве автомодельных переменных.

Диссертационная работа 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, в котором имеются 36 рисунков и 1 таблица, список литературы включает 109 библиографических источников.

**Во введении** диссертации обосновывается актуальность, цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные результаты и положения, выносимые на защиту, апробация работы и публикации, методы исследования, личный вклад и степень разработанности темы, а также достоверность результатов.

**В первой главе** представлен литературный обзор библиографических источников по теме диссертационного исследования. В хронологическом порядке излагаются постановки и методы решения задач сильного безударного сжатия газа. Уделено внимание реализации управляемого термоядерного синтеза, сводящиеся к решению задач сильного безударного сжатия простых одномерных и сложных многомерных конструкций. Отмечу, что приведен обстоятельный и, как представляется оппоненту, полный обзор научных публикаций по аналитическим методам решения задач для математического описания управляемого термоядерного синтеза.

**Во второй главе**, самой обширной в тексте, достаточно подробно приведена математическая постановка начально-краевой задачи двумерной системы уравнений газовой динамики об истечении газа в вакуум в пространстве автомодельных переменных в так называемом несогласованном случае (соотношение между углом наклона стенки и показателем политропы газа). Кроме того, в этой главе рассматриваются алгоритмы построения локально-аналитического решения начально-краевой задачи, сводящейся к характеристической краевой задаче Коши стандартного вида.

Уровень математических выкладок является строгим. Сформулированы теоремы о структуре решения краевой задачи Коши стандартного вида в виде специальных рядов, сходимость которых доказана. Отметим, что обосновывается структура системы обыкновенных дифференциальных уравнений, из решения которой определяют коэффициенты локально-аналитического решения. В заключительном параграфе главы произведено установление области сходимости функционального ряда Тейлора, то есть производится оценка радиуса сходимости (окрестности), где справедливо аналитическое решение.

В третьей главе диссертации проведен газодинамический анализ течений разрежения и сжатия в области двойной волны, описываемые предложенным автомодельным решением задачи об истечении газа в вакуум

на косо́й стенке в согласованном и несогласованном случае для произвольного значения угла наклона стенки и произвольного значения политропы.

**Четвертая глава** посвящена численному исследованию сильного (неограниченного) безударного сжатия призматического объема с наклонной (косо́й) стенкой, заполненного водородом с использованием построенного в предыдущих главах локального решения в согласованном случае.

**Заключение** включает в себя итоги диссертационного исследования, заключающегося в аналитическом и численном моделировании двумерных течений разряжения и сжатия при истечении газа в вакуум с наклонной (косо́й) стенки и сжатии призматического объема газа. В этом разделе также указаны дальнейшие перспективы разработки темы.

При ознакомлении с авторефератом можно констатировать, что его содержание полно и ясно отражает структуру диссертации.

При ознакомлении с текстами диссертации и автореферата было обнаружено незначительное количество опечаток, которые не влияют на восприятие текста. Здесь они не приводятся. Список замеченных опечаток передан автору. Хотелось бы все-таки привести ряд замечаний по тексту работы.

#### **5. Основные вопросы и замечания по работе:**

1. Как оценивался радиус сходимости функционального ряда при проведении численных расчетов? Какая мажоранта использовалась, чтобы от функциональной оценки перейти к числу?
2. Как проводилась оценка сходимости численных расчетов?
3. Требуется пояснение применения численных методов решения системы уравнений газовой динамики: известные методы или алгоритмы, разработанные автором?

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости работы. Они во многом являются всегда дискуссионными, но оппонент обязан их озвучить.

**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 законченную научно квалифицированную работу, в которой решается актуальная научная задача. Полученные результаты соответствуют паспорту научной специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы. Данная диссертационная работа соответствует пп.9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Понькин Евгений Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы.

Профессор кафедры информационных технологий и систем управления  
ФГАОУ ВО «Уральского федерального университета  
имени Первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
доктор физико-математических наук (по специальности 01.02.05. – Механика жидкости, газа и плазмы), доцент (по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы)



Просвирыков Евгений Юрьевич  
27 октября 2025 года

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Почтовый адрес: 620002, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.19. Телефон: +7 (343) 375-44-44. Эл. почта: contact@urfu.ru

Я, Просвирыков Евгений Юрьевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета Д 004.036.01, и их дальнейшую обработку

ПОДПИСЬ  
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ  
МОРОЗОВА В.А.



27 октября 2025 года