

## Отзыв официального оппонента

на диссертацию Долбня Дарьи Илларионовны

«Воздействие наносекундного объемного разряда на нестационарное высокоскоростное течение в канале», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17. – «химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

Диссертационная работа Долбня (Татаренковой) Д.И. посвящена изучению воздействия импульсного (наносекундного) объемного разряда с предионизацией на структурированное высокоскоростное течение в прямоугольном канале с измененным профилем. Представлено экспериментальное исследование плазмодинамических, газодинамических процессов, протекающих при инициировании разряда в потоке в широком диапазоне скоростей включая сверхзвуковые.

Наносекундные разряды используются для решения довольно широкого круга практических задач. В частности, посредством инициирования наносекундных разрядов возможно импульсно осуществить энергоподвод, что способствует зажиганию, в частности, в импульсном детонационном двигателе, в результате чего зажигание становится более эффективным; удержанию пламени в ГПВРД; стабилизации пламени в горелке газовой турбины с вихревой стабилизацией.

Диссертация Долбни Д.И. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Объем основной части диссертации 106 страниц. В работу входит 50 рисунка и 2 таблицы; список литературы состоит из 109 названий.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель данной работы, описаны решенные задачи, исследования, даны основные положения, которые выносятся на защиту,

аргументирована их научная новизна, научная и практическая значимость, описаны методология и методы исследования, апробация основных результатов и достоверность.

В первой главе проведен анализ научных работ по взаимодействию газовых разрядов и высокоскоростных газодинамических течений. Показано, что газовые разряды позволяют значительно влиять на конфигурацию и свойства потока и газодинамические структуры, что открывает возможности для их эффективного применения в практических целях. В частности, как один из основных факторов, выделяется ударно-волновое воздействие, формируемое при инициировании импульсных разрядов. Приводится обзор основных современных панорамных методов визуализации потоков, который показывает, что использование цифровых технологий за последние два десятилетия позволило осуществить качественный рывок в области применения традиционных методов, основанных на рефракции и трассировании.

Во второй главе приводится подробное описание экспериментального стенда УТРО-3 с разрядной секцией, где реализуется импульсный объемный разряд с ультрафиолетовой предыонизацией; методов визуализации плазменных и газодинамических структур, существующих в нано- и микросекундном диапазоне. Приводятся экспериментальные данные по эволюции газодинамического течения, формируемого к моменту достижения области разрядной секции. Полученные результаты необходимы для решения задач, поставленных в настоящей диссертации. Представлены экспериментальные результаты визуализации пограничного слоя на кварцевой поверхности канала в потоке за ударной волной.

В третьей главе представлены результаты исследования влияния диэлектрической вставки, помещенной в зону плазменного листа и являющейся препятствием для протекания тока наносекундного разряда, на перераспределение его плазмы в условиях неподвижного газа. Описанное

явление наблюдается, в первую очередь, при интегральной регистрации свечения импульсного разряда, что свидетельствует о перераспределении энергии импульсного разряда и приводит к генерации усиленных взрывных волн.

Четвертая глава посвящена исследованию перераспределения плазмы импульсного разряда в потоках с различной скоростью и набором газодинамических структур.

Выделяется четыре режима обтекания препятствия по локализации (полю свечения) разряда в высокоскоростном потоке. Так, в режиме I - в сверхзвуковом режиме, ИОР локализуется в сильнооточный плазменный канал в зоне отрыва в подветренной зоне препятствия, при этом часть энергии объемной фазы разряда перераспределяется в зону пространственных скачков; режим II - трансзвуковой режим, ассоциированный с началом контактного перехода, наблюдается в виде двух плазменных каналов (с подветренной зоны и наветренной стороны вдоль передней кромки верхней грани); режим III - трансзвуковой режим, связанный с движением псевдоскачков, наблюдается в виде устойчиво локализуемого плазменного канала на верхней грани препятствия в выраженной зоне отрыва; в режиме IV - дозвуковом режиме обтекания, ИОР локализуется на поверхности канала вдоль боковых образующих диэлектрического препятствия.

В пятой главе приведены количественные данные по динамике взрывной волны для каждого из четырех выделенных режимов самолокализации импульсного разряда в потоке. Обнаружено, что ударно-волновое воздействие, осуществляемое в каждом из четырех режимов, существенно отличается. Показано, импульсная объемная ионизация за счет ударно-волнового механизма воздействия способна вносить значительные возмущения, воздействуя на структуру и параметры потока, в частности, на

косой скачок в сверхзвуковом поле течения, на псевдоскачки, реализовывать условия для распада разрыва на косом скачке.

В заключении формулируются основные результаты и выводы диссертационной работы.

Результаты, приведенные в диссертации, являются новыми. Достоверность результатов обеспечена значительным объемом экспериментальной работы и полученных данным с высокой степенью повторяемости при одинаковых условиях проведения эксперимента.

Наиболее существенными научными результатами, полученными автором, представляются следующие:

1. Диэлектрическая вставка, установленная поперек потока, приводит к перераспределению энергии импульсного разряда.
2. На интервале скоростей до 850 м/с выделяется 4 различных режима локализации импульсной плазмы разряда.
3. Зоны основной локализации становятся источниками взрывных волн, вносящих значительные возмущения и воздействующих на газодинамические структуры. Длительность ударно-волнового воздействия на течение увеличивается от 25 мкс до 600 мкс по мере уменьшения скорости набегающего потока от 850 м/с до перехода к неподвижной среде.

К несомненным достоинствам работы относится владение автором набором прецизионных высокотехнологичных методов экспериментальных исследований и диагностики сложных нестационарных течений газа и плазмы. Использована высокоскоростная теневая регистрация, цифровое трассирование, визуализация сверхзвукового нестационарного течения импульсным разрядом.

Результаты работы Долбня Д.И. были апробированы на ряде международных и российских конференциях и семинарах. По теме диссертации было опубликовано 16 печатных работ, 6 из которых, в

рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, RSCI.

По диссертационной работе имеются следующие ЗАМЕЧАНИЯ:

1. Не рекомендуется использование аббревиатур в заголовках секций и подсекций. Так, в оглавлении на стр. 3 читатель встречает аббревиатуру ИОР, которая не является общеупотребимой. Расшифровку этой аббревиатуры можно найти только в конце 16-й страницы: импульсный объёмный разряд. А то, что ВВР – это веер волн разрежения (впервые встречается на рис. 2.1 стр.25) я понял только дочитав работу до стр. 88. А почему считывающее устройство имеет аббревиатуру ПЗС осталось неясным.

2. Прямые измерения проводились по теневым фильмам с суммарной погрешностью измерения 0,5 - 1,0 мм для вертикального смещения фронта волны. Погрешность для времени определяется экспозицией камеры и равняется

$1/2 tK = 0,5$  мкс. При этом погрешность в измерении скорости полагается равной 100 м/с, что не вполне понятно при отсутствии данных о пространственной базе и временном интервале, на которых образовывались данные погрешности.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования и несут рекомендательный характер.

Содержание диссертации на тему «Воздействие наносекундного объёмного разряда на нестационарное высокоскоростное течение в канале» соответствует паспорту специальности 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества», удовлетворяет критериям, определенным пп. 2.1 – 2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно п. 3.1 этого Положения.

Соискатель Долбня Дарья Илларионовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы», профессор, профессор кафедры газовой и волновой динамики, механико-математического факультета (отделение механики),

МГУ им. М.В. Ломоносова

Н.Н. Смирнов

05.09.2023

Рабочий телефон: +7(495)939-37-54

E-mail: [gvd.msu@mail.ru](mailto:gvd.msu@mail.ru)

Адрес места работы:

119991, Москва, Ленинские горы 1, МГУ им. М.В. Ломоносова, механико-математический факультет, кафедра газовой и волновой динамики

Подпись профессора Николая Николаевича Смирнова удостоверяю:

Декан механико-математического факультета «Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова»

член-корр. РАН

А.И. Шафаревич