



УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора ИТПМ СО РАН,

д.ф.-м.н.


Краус Евгений Иванович

«08» июня 2026 г.

М.П.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН) на диссертационную работу Волкова Луки Сергеевича на тему: «Интенсификация смещения поперечной струи с высокоскоростным потоком воздуха с помощью электрических разрядов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа Волкова Луки Сергеевича посвящена теме интенсификации перемешивания газов в высокоскоростных потоках воздуха с помощью импульсного выделения энергии посредством искровых разрядов.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 109 наименований, общий объем составляет 133 страницы.

Целью работы является выявление закономерностей отклика поперечной струи в сверхзвуковом потоке на периодические искровые разряды, локализованные на плоскости инъекции, в отрывной зоне с наветренной стороны от инжектора. Эта цель включает в себя исследование структуры течения в присутствии разрядов, а также выявление зависимости эффективности перемешивания от энергии и частоты разрядов.

Актуальность темы диссертации связана с тем, что перемешивание топлива и окислителя является неотъемлемой частью работы устройств, в которых осуществляется горение. Перемешивание, наряду с воспламенением и поддержанием устойчивого горения, является ключевой задачей для оптимизации работы камер сгорания с высокоскоростным потоком. При этом работы, посвященные «активным» способам перемешивания (в том числе с помощью плазменных актуаторов) остаются немногочисленными.

Практическая значимость состоит в том, что данные об эффективности перемешивания сверхзвукового потока с поперечной струей в присутствии искровых разрядов, описание механизма интенсификации перемешивания и проведенный сравнительный анализ нескольких критериев перемешивания могут быть использованы другими научными группами, проводящими исследования в области перемешивания веществ в условиях высокоскоростных потоков.

Новизна работы заключается в том, что предложен оригинальный способ интенсификации перемешивания сверхзвукового потока с поперечной струей, подразумевающий периодическое инициирование искровых разрядов в отрывной зоне с наветренной стороны от инжектора струи (в предельном случае – на передней кромке инжектора). Описан физический механизм воздействия разрядов на течение в данной конфигурации. Исследована зависимость эффективности перемешивания от частоты и энергии разрядов. Проведено сравнение нескольких независимых критериев эффективности перемешивания газов на примере конкретных нестационарных данных моделирования поперечной струи в сверхзвуковом потоке.

Во введении представлены общие сведения о проделанной работе, включая цели и задачи, обоснование актуальности, научной и практической значимости, научную новизну.

В главе 1 представлен обзор литературы по теме диссертации. Сделано обобщение информации об известных методах перемешивания веществ, сформулировано предположение о возможной эффективности искровых разрядов для перемешивания газов в высокоскоростных потоках. Обозначены условные рамки для поиска оптимальных частот разрядов. Представлены некоторые известные количественные критерии перемешивания.

В главе 2 изложена постановка расчетной задачи, выбрана численная модель, и проведена проверка данной численной модели путем сравнения результатов моделирования стандартной задачи с результатами других исследователей, проверки сеточной сходимости и независимости решения от шага по времени, сравнения результатов расчетов двумя методами (URANS и LES).

В главе 3 представлены результаты численного моделирования поперечной газовой струи в сверхзвуковом потоке воздуха в присутствии искровых разрядов на передней кромке инжектора. Рассмотрен цикл формирования поперечных вихрей в отсутствие разрядов и выделен механизм воздействия искровых разрядов на вихреобразование в выбранной конфигурации течения. Исследована зависимость эффективности перемешивания газов от частоты и энергии разрядов.

Глава 4 посвящена экспериментальному исследованию течения в области инжекции поперечной струи в сверхзвуковом потоке, в том числе в присутствии искровых разрядов в отрывной зоне. Высокоскоростные теневые видеозаписи течения проанализированы с помощью периодограмм и спектрального собственного ортогонального разложения.

В заключении представлены основные выводы по результатам диссертационной работы.

Результаты работы отражены в 4 научных статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Результаты докладывались автором на 15 научных конференциях.

К преимуществам работы можно отнести экспериментально-численный подход, который после демонстрации высокой достоверности расчетных данных, позволил провести анализ влияния разряда на исследуемое течение в широком диапазоне параметров. Совместный анализ данных позволил выдвинуть ряд гипотез о механизме формирования возмущений. Необходимо отметить высокое качество экспериментальной работы, в которой особое внимание было уделено реализации требуемого течения с малым уровнем возмущений в набегающем потоке. В работе благодаря методу SPOD удалось выявить нестационарные структуры из зашумленных данных теневой визуализации.

К недостаткам работы можно отнести:

- 1) В работе часто встречается понятие - «вторичная газовая струя», например в задачах работы: «Провести численное компьютерное моделирование вторичной газовой струи в сверхзвуковом потоке воздуха в отсутствии разрядов и в присутствии искровых разрядов с наветренной стороны от инжектора.». При этом непонятно, что принимается за первичную струю. Можно предположить, что диссертант имеет ввиду основное течение, но в применении к исследуемой задаче данная терминология кажется неуместной.
- 2) В работе на стр. 34 сказано: «Ввиду симметрии задачи, для экономии ресурсов рассматривалось только полупространство $Z > 0$. Для наглядности, расчетная область изображена в трехмерном виде на рисунке 2.2.» При этом на рисунке 2.2 демонстрируется, что расчет выполнялся с учетом полной геометрии инжектора (выдуваемой струи), так как плоскость симметрии существенно смещена от отверстия. Необходимо прояснить этот момент.
- 3) При описании граничных условий на стенке не сказано, какое условие использовано для температуры. Этот момент особенно важен при моделировании разряда, поскольку это условие оказывает существенное влияние на тепловой поток, что может повлиять на процесс формирования теплового пятна от разряда. Кроме того, не приведены величины u реализующиеся в расчете.
- 4) В работе делаются очень смелые заявления о механизме неустойчивости, развивающейся при взаимодействии инжектируемой струи со сверхзвуковым потоком. Диссертант в своей работе связывает появление крупномасштабных нестационарных структур (как для случая с разрядом, так и при выключенном разряде) с бароклиными силами. При этом количественных оценок или ссылок на теоретические работы не приводится. С учетом того, что для струйных течений, в основном, механизм неустойчивости связывается с неустойчивостью Кельвина-Гельмгольца, то возникают вопросы относительно корректности данного предположения.
- 5) Одним из важных механизмов воздействия разряда рассматривается область отрыва потока, возникающая перед инжектируемой струей. Очевидно, что на параметры этой отрывной области существенное влияние будет оказывать состояние набегающего пограничного слоя. Однако этот вопрос в работе не рассматривается. Более того, можно предложить, что при исследуемых параметрах в эксперименте реализовывался ламинарный набегающий пограничный слой, тогда как в расчетах использовался турбулентный пограничный слой. Почему в работе пренебрегается этим моментом?
- 6) В тексте диссертации несколько раз встречается понятие абсолютной неустойчивости, которую диссертант относит к своему течению. Непонятно почему используется этот термин, поскольку из данных главы 3 явно следует, что исследуемые крупномасштабные структуры, развивающиеся в струе, скорее всего, связаны с конвективной неустойчивостью.
- 7) Текст работы содержит небольшие ошибки, например: на стр. 8 остался символ $\langle \dots \rangle$; на стр. 64-65 перепутана нумерация рисунков, на стр. 96 перепутаны местами значения безразмерной величины в скобках: 2 г/с и 4 г/с ($J = 1,3$ и $0,6$).

Заключение по диссертации

Отмеченные недостатки не снижают актуальность и значимость полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку работы. Работа выполнена на

высоком уровне, проведенные исследования являются научно-обоснованными и имеют практическую значимость в области исследования активных способов перемешивания газов в условиях высокоскоростных потоков. Диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (утв. Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 №842, в действующей редакции), предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации и включает основные полученные результаты.

Автор работы, Волков Лука Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Положительный отзыв ведущей организации по диссертационной работе Волкова Луки Сергеевича рассмотрен и одобрен на заседании семинара «Теоретическая и прикладная механика» под руководством академика РАН В.М.Фомина (протокол № 127 от 22.05.2026 г.) единогласно.

Даём согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Волкова Луки Сергеевича и их последующую обработку.

Старший научный сотрудник лаборатории Физических проблем управления газодинамическими течениями,

к.ф.-м.н.

polivanov@itam.nsc.ru, 8-383-330-85-28

Поливанов Павел Александрович

Старший научный сотрудник лаборатории Физических проблем управления газодинамическими течениями,

к.т.н.

starov@itam.nsc.ru, 8-383-330-85-28

Старов Алексей Валентинович

Зам. Директора по научной работе ИТМП СО РАН,

к.ф.-м.н.

sindr@itam.nsc.ru, 8-383-330-39-27

Сидоренко Андрей Анатольевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

Телефон: +7(383) 330-39-36

Адрес электронной почты: admin@itam.nsc.ru

Веб-сайт: <https://www.itam.nsc.ru>

Подписи Поливанова П.А., Старова А.В., Сидоренко А.А.

Ученый секретарь института

к.ф.-м.н.

Кравцова Юлия Владимировна
М.П.





**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)**

ПРИКАЗ

22 апреля 2026 г.

Москва

№ 10-2/104 н-о

**О назначении исполняющим обязанности директора
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича Сибирского отделения
Российской академии наук Крауса Е.И.**

Назначить с 23 апреля 2026 года исполняющим обязанности директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук Крауса Евгения Ивановича до замещения должности директора в установленном порядке на срок не более одного года, с оплатой труда по временно замещаемой должности.

Основание: заявление Крауса Е.И. от 11 марта 2026 г., трудовой договор от «22» апреля 2026 г. № 41/6

Министр

В.Н. Фальков