Утверждаю

Директор ИТ СО РАН

Академик РАН Д.М. Маркович

22.06.2026

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе

Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)

По диссертации «Экспериментальное исследование вклада крупномасштабных вихревых структур в турбулентный перенос и тепловыделение при горении в закрученной струе» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертация выполнена Лобасовым А.С. в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук» (ИТ СО РАН).

В 2012 году Лобасов Алексей Сергеевич окончил магистратуру в Сибирском Федеральном Университете по направлению «Техническая физика», номер диплома магистра Н 40622, регистрационный номер 2/2551. В период с 2012 по 2016 год соискатель проходил очное обучение в аспирантуре ИТ СО РАН. В период подготовки диссертации, с 2012 по 2022 гг. Лобасов А.С. работал в ИТ СО РАН, в лаборатории основ энергетических технологий. В период с 2022 по 2025 гг. Лобасов А.С. работал в Имперском Колледже Лондона в должности постдокторанта, в Clean Energy Processes (CEP) лаборатории под руководством профессора Кристоса Маркидеса. С 2025 г., после возвращения из Англии, и по настоящее время Лобасов А.С. работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории роторных систем для ветроэнергетики и транспорта Арктической зоны.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор РАН, заведующий лабораторией физических основ энергетических технологий (7.4) ИТ СО РАН Дулин Владимир Михайлович.

По итогам обсуждения принято следующее **заключение**:

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что развитие энергетики и авиадвигателестроения напрямую связано с решением фундаментальных задач теплофизики, касающихся процессов горения в закрученных потоках. Растущие экологические требования, в том числе международные стандарты (например, ICAO CAEP/8), приводят к ужесточению ограничений на выбросы NO_x и CO от газовых турбин и авиационных установок. Это стимулирует широкое внедрение технологий сжигания предварительно перемешанных обеднённых топливно-воздушных смесей. Однако такие режимы горения характеризуются повышенной неустойчивостью, что требует глубокого понимания механизмов стабилизации пламени в условиях сильной закрутки потока.

Современные методы диагностики и обработки экспериментальных данных, такие как PIV, PLIF по HCHO/OH и POD-анализ, позволяют одновременно измерять поля скорости, визуализировать фронт пламени и идентифицировать вихревые структуры в трёхмерном пространстве. Практическое значение таких исследований очевидно: полученные данные помогут разработать рекомендации по выбору степени закрутки и геометрии горелочных устройств для устойчивой стабилизации бедных пламён - критически важного режима горения, необходимого для снижения выбросов NO_x. Кроме того, понимание связи между вихревыми структурами и пульсациями тепловыделения позволит предложить эффективные методы подавления термоакустических колебаний за счёт управления динамикой вихрей. Повышение точности прогнозирования выбросов CO и NO_x благодаря внедрению детальных моделей, точно описывающих взаимодействие вихрей с фронтом пламени, непосредственно скажется на проектировании малоэмиссионных камер сгорания.

Цель работы

Целью работы является применение панорамных оптических методов для количественной оценки вклада крупномасштабных вихревых структур в турбулентный перенос и тепловыделение при горении в струе с различной степенью закрутки.

В рамках поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- Развитие панорамных оптических методов для количественной оценки локального турбулентного переноса.
- Экспериментальное исследование вихревых винтовых структур и турбулентного переноса в струе с различной степенью закрутки потока.
- Исследование винтовых вихревых структур в пламени с сильной закруткой потока прямыми трёхмерными измерениями.

- Определение роли винтовых вихревых структур при наличии прецессирующего вихревого ядра на стабилизацию пламени в закрученных струях.

Научная новизна основных положений, результатов и выводов, полученных в диссертации:

- Впервые оценено влияние пространственного разрешения и оптических искажений на количественные измерения панорамными оптическими методами.
- Впервые получена количественная оценка вклада крупномасштабных вихревых структур в турбулентный перенос и продемонстрировано подтверждение применимости моделей градиентного переноса в турбулентных струях с различной степенью закрутки потока.
- Впервые подтверждено наличие вихревых винтовых структур в пламени прямым трёхмерным измерением скорости с использование томографического PIV и исследовано их влияния на форму пламени.
- Впервые проведено исследование роли винтовых вихревых структур в процессе стабилизации пламени.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Проведённое исследование существенно расширяет понимание механизмов взаимодействия вихревых структур с фронтом пламени в турбулентных закрученных течениях. Созданная научная база позволяет развивать теорию реагирующих течений и совершенствовать физико-математические модели, учитывая влияние спиральных вихревых структур на процессы тепломассообмена в потоке. Практическая ценность работы заключается в возможности использования полученных результатов для оптимизации конструкции современных энергетических установок. Установленные закономерности влияния вихревых структур на динамику фронта пламени и зоны локального тепловыделения создают основу для разработки более эффективных систем стабилизации горения и снижения выбросов вредных веществ. Результаты исследования могут быть применены при проектировании камер сгорания газотурбинных установок нового поколения, модернизации существующих горелочных устройств и создании систем управления процессами горения. Разработанная база экспериментальных данных позволяет верифицировать численные модели турбулентного горения и совершенствовать методы диагностики реагирующих течений, что способствует повышению эффективности и экологичности энергетических установок.

Степень достоверности результатов:

Достоверность полученных результатов основана на использование современных верифицированные оптических методов диагностики, с обязательным проведением анализа погрешности этих методов применительно к исследуемым в работе объектам. Особое внимание уделялось воспроизводимости результатов при повторных испытаниях и их согласованности с данными других исследователей для сопоставимых условий течения и горелочных устройств схожей геометрии, а также с результатами численного моделирования. Комплексный подход к обработке и анализу данных, включающий современные методы статистического анализа, обеспечил надёжность и достоверность полученных выводов. Результаты исследования прошли апробацию на международных конференциях и были опубликованы в рецензируемых научных журналах, что дополнительно подтверждает их научную обоснованность.

На защиту выносятся:

- Дана количественная оценка влияния пространственного разрешения и оптических искажений на результаты измерений панорамными оптическими методами, что позволяет минимизировать систематические погрешности при измерении скорости и оценке турбулентного переноса в закрученных струях в том числе с горением.
- Количественно исследован вклад крупномасштабных вихревых структур в турбулентный перенос в рассмотренных режимах течения и экспериментально подтверждена применимость моделей градиентного переноса в струях с различной степенью закрутки потока.
- Экспериментально подтверждено наличие винтовых вихревых структур в пламени прямыми измерениями скорости методом томографического PIV и проанализировано их влияние на деформации фронта пламени.
- Определена роль винтовых вихревых структур в процессе стабилизации пламени в закрученных струях, установлена их связь с локальными областями тепловыделения.

Личный вклад соискателя

Выносимые на защиту научные результаты и выводы, являющиеся основой диссертации, получены соискателем самостоятельно. Постановка решаемых задач исследования проводилась диссертантом совместно с научным руководителем д. ф. -м. н.,

профессором РАН В.М. Дулиным. Автор лично или при непосредственном участии осуществлял комплекс работ, обеспечивших получение экспериментальных данных: создание и модернизация экспериментальных стендов, отладка и адаптация измерительных методик под специфику изучаемых течений, проведение серий измерений с последующей обработкой и анализом полученных данных, а также подготовки результатов исследований к публикации. Обработка исходных PIV данных в томографической конфигурации и реконструкция трехмерных полей скорости осуществлялась к. ф. -м. н. М. П. Токаревым.

Список из 16 работ автора по тематике диссертации, включая одну главу в монографии, 15 из которых опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Tokarev M. P., Sharaborin D. K., **Lobasov A. S.**, Chikishev L. M., Dulin V. M., Markovich D. M. 3D velocity measurements in a premixed flame by tomographic PIV //Measurement Science and Technology. – 2015. – Т. 26. – №. 6. – С. 064001.

2. Чикишев Л.М., Дулин В.М., **Лобасов А.С.**, Маркович Д.М. Исследование формы пламени в закрученном турбулентном потоке методом панорамной лазерно-индуцированной флуоресценции формальдегида // Горение и взрыв. – 2017. – Т. 10. – №. 3. – С. 4-9.

3. **Lobasov A.S.**, Chikishev L.M., Dulin V.M. Comparison between premixed and partially premixed combustion in swirling jet from PIV, OH PLIF and HCHO PLIF measurements //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. – 2017. – Т. 899. – №. 6. – С. 062002.

4. **Лобасов А.С.**, Абдуракипов С.С., Чикишев Л.М., Дулин В.М., Маркович Д.М. Исследование формы пламени в нестационарном потоке закрученной турбулентной струи методом HCHO PLIF// Физика горения и взрыва. – 2018. – Т. 54, № 6. – С. 47-54.

5. Чикишев Л.М., Дулин В.М., **Лобасов А.С.**, Маркович Д.М. О влиянии крупномасштабных вихревых структур на форму пламени в потоке закрученной струи// Горение и взрыв. – 2018. – Т. 11. № 2. – С. 31-39.

6. Dulin V., **Lobasov A.**, Markovich D., Alekseenko S. Coherent structures in the near field of swirling turbulent jets and flames investigated by PIV and PLIF // In: Swirling Flows and Flames (Ed. Boushaki T.). – 2018. – 22 p.

7. **Lobasov A.S.**, Chikishev L.M. Investigation of turbulent swirling jet-flames by PIV/OH PLIF/HCHO PLIF // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. – 2018. – Vol. 980. – 012033 – 6p.

8. Chikishev L.M., Dulin V.M., **Lobasov A.S.**, Markovich D.M. Combined application of OH PLIF, HCHO PLIF and stereo PIV to a turbulent premixed swirling flame // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing. – 2018. – Vol. 2027. – 030142 – 10 p.

9. **Лобасов А.С.**, Дулин В.М., Дектерев Ар.А., Минаков А.В. Турбулентный перенос в закрученной струе с распадом вихревого ядра. PIV/PLIF-измерения и численное моделирование //Теплофизика и аэромеханика. – 2019. – Т. 26. – №. 3. С. 381 – 389.

10. Dulin V.M., **Lobasov A.S.**, Chikishev L.M., Markovich D.M., Hanjalic K. On Impact of Helical Structures on Stabilization of Swirling Flames with Vortex Breakdown //Flow, Turbulence and Combustion. – 2019. – С. 1-25. – 2019. – Vol. 103, № 4. – P. 887-911.

11. Dulin V., **Lobasov A.**, Markovich D., Hanjalic K. Turbulent transport in the near field of swirling jets//Proceeding of 11th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena. – 2019.

12. Markovich D., **Lobasov A.** Vortex structures effect on mixing and combustion in swirling jets //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing. – 2019. – Vol. 2125. – No. 1. – paper 020012. – 5 p.

13. Abdurakipov S. S., **Lobasov A. S.**, Chikishev L. V., Dulin V.M. Analysis of eigenmodes in a swirling jet and flame: 3D PIV and PLIF study //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. – 2019. – Т. 1382. С. 012051.

14. **Лобасов А.С.**, Чикишев Л. М., Дулин В. М., Маркович Д. М. Когерентные структуры и турбулентный перенос на начальном участке струй и пла́мени в потоке с закруткой //Прикладная механика и техническая физика. – 2020. – Т. 61. – №. 3. – С. 42-51.

15. **Lobasov A. S.**, Alekseenko S. V., Markovich D. M., Dulin V. M. Mass and momentum transport in the near field of swirling turbulent jets. Effect of swirl rate //International Journal of Heat and Fluid Flow. – 2020. – С. 108539.

16. **Lobasov A. S.** Effect of hydrodynamic coherent structures on local mixing in a model GT-burner //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. – 2020. – Т. 1677. – №. 1. – С. 012042

Апробация работы:

Результаты диссертационной работы обсуждались на российских и международных конференциях и семинарах: Международная научная конференция «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики» (Алушта, 2014), International Symposium on Flow Visualization (Окинава, 2014), Международная научно-техническая конференция «Оптические методы исследования потоков» (Москва, 2015), Asian Symposium on Visualization (Новосибирск, 2015), International Symposium On Turbulence Heat and Mass Transfer (Сараево 2015, Рио-де-Жанейро 2018), Всероссийская конференция с

международным участием «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения» (Новосибирск, 2015, 2018), International Symposium on Combustion (Сеул, 2016), Научная конференция отдела горения и взрыва ИХФ РАН (Москва, 2017, 2018), Всероссийская школа-семинар молодых ученых и специалистов под руководством А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках» (Санкт-Петербург, 2017), International Symposium on Particle Image Velocimetry (Пусан, 2017), International Seminar on Flame Structures (Новосибирск, 2017), International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (Бостон, 2017), Всероссийская конференция Сибирский теплофизический семинар (Новосибирск, 2017, 2019, 2020), Всероссийская научная конференция «Теплофизика и физическая гидродинамика» (Ялта, 2017), Всероссийской конференции с международным участием «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках» (Новосибирск, 2017, Рыбинск 2019), Annual Meeting of the American Physical Society (Денвер, 2017), Международная конференция по методам аэрофизических исследований (Новосибирск 2018, 2020), International Symposium on Applications of Laser and Imaging Techniques to Fluid Mechanics (Лиссабон, 2018), International Retreat on Vortical Flow and Aerodynamics (Новосибирск, 2018), International ERCOFTAC symposium on engineering, turbulence, modelling and measurements (Montpellier, 2018), Всероссийская конференция с международным участием «Высокоэнергетические процессы в механике сплошной среды» (Новосибирск 2019), International Conference on Multi-scale Computational Methods for Solids and Fluids (Сараево, 2019).

Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите:

Диссертация Лобасова А.С., посвященная экспериментальному исследованию вклада крупномасштабных вихревых структур в турбулентный перенос и тепловыделение при горении в закрученной струе с применением методов панорамной оптической диагностики, соответствует паспорту специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника для физико-математических наук, а именно – натурному моделированию теплофизических процессов в технических приложениях, соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом от 23.08.1996 г.№ 127-83 «О науке и государственной научно-технической политике».

Решение о рекомендации к защите

Диссертация «Экспериментальное исследование вклада крупномасштабных вихревых структур в турбулентный перенос и тепловыделение при горении в закрученной струе» Лобасова Алексея Сергеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Настоящее заключение подготовлено на основании решения Секции Ученого совета по научному направлению Теплофизические основы энергетики (включая горение) Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) под руководством руководителя секции академика РАН С.В. Алексеенко.

Присутствовало на заседании 13 человек из 22 членов списочного состава секции №5, в том числе 1 академик РАН, 1 член-корреспондент РАН, 3 докторов наук 3 кандидата наук. Результаты голосования: «за» - 13 человек, «против» - 0 человек, «воздержалось» - 0 человек. Протокол № 04-2026 от 18 июня 2026 года.

Председатель семинара
Алексеенко Сергей Владимирович
академик РАН,
научный руководитель ИТ СО РАН

Секретарь семинара
Лукашов Владимир Владимирович, к.т.н.,
в.н.с. лаборатории физических основ
энергетических технологий