

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.129.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 28.12.2022 № 25/2022

О присуждении Чикишеву Леониду Михайловичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Физическое моделирование процессов переноса в камерах сгорания с закруткой потока» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 28.10.2022, протокол № 21/2022 диссертационным советом 24.1.129.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказы Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк, от 03.06.2021 № 561/нк.

Соискатель Чикишев Леонид Михайлович, 20.01.1985 года рождения, на момент защиты диссертации работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории физических основ энергетических технологий ИТ СО РАН. В 2008 году соискатель окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ), в 2011 году окончил очную аспирантуру ИТ СО РАН по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертация выполнена в научно-исследовательской лаборатории физических основ энергетических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Научный руководитель – Маркович Дмитрий Маркович, доктор физико-математических наук, академик РАН, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии, директор.

Официальные оппоненты:

Кичатов Борис Викторович – доктор технических наук (01.04.14 - Теплофизика и молекулярная физика), ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Лаборатория активных коллоидных систем, ведущий научный сотрудник;  
Фурсенко Роман Викторович – доктор физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, Лаборатория физико-математического моделирования процессов горения, заведующий - дали положительные отзывы на диссертацию Чикишева Леонида Михайловича.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, г. Москва в своем положительном заключении, подписанном Крупкиным Владимиром Герцовичем - доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником, указала, что в рамках данной диссертационной работы «Впервые проведены одновременные измерения мгновенных полей скорости и концентрации пассивной примеси, моделирующей топливо, что позволило оценить вклад когерентных структур в массоперенос и оценить применимость градиентных моделей замыкания при решении уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу для данного типа течений. Впервые для модельного двухконтурного устройства проведены измерения структуры течения и положения фронта пламени при повышенном давлении и температуре, что позволило получить количественные оценки вклада крупномасштабных вихревых структур, включая прецессирующее вихревое ядро, в турбулентный перенос и перемешивание как для топлива в основной, так и в дежурной зоне. Измеренные поля скорости для различных режимов горения показали присутствие когерентных структур, соответствующих как продольным, так и поперечным модам гидродинамической неустойчивости. Данная информация чрезвычайно полезна и может быть использована при проектировании современных малоэмиссионных камер сгорания газотурбинного типа, работающих по принципу сжигания «обедненной» смеси».

Соискатель имеет 50 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 24 работы, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 24 работы. Вклад автора заключается в создании и подготовке экспериментальных стендов, постановке и проведении экспериментальных исследований, а также осуществлении с участием научного руководителя анализа результатов и подготовке публикаций.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации Чикишева Леонида Михайловича:

1. Markovich D.M., Abdurakipov S.S., Chikishev L.M., Dulin V.M., Hanjalic K. Comparative analysis of low- and high-swirl confined flames and jets by proper orthogonal and dynamic mode decompositions // *Physics of Fluids*. – 2014. – 26. – 065109.
2. Чикишев Л.М., Дулин В.М., Гобызов О.А., Маркович Д.М. Исследование смесеобразования в модели камеры сгорания ГТУ с использованием панорамных оптических методов // *Теплофизика и аэромеханика*. – 2017. – Т. 24, № 3. – С. 357-364.
3. Sharaborin D.K., Savitskii A.G., Bakharev G.Y., Lobasov A.S., Chikishev L.M., Dulin V.M. PIV/PLIF investigation of unsteady turbulent flow and mixing behind a model gas turbine combustor // *Experiments in Fluids*. – 2021. – Т. 62. – № 5. – P. 1-19.
4. Dulin V.M., Chikishev L.M., Sharaborin D.K., Lobasov A.S., Tolstoguzov R.V., Liu Z., Shi X., Li Y., Markovich D.M. On the Flow Structure and Dynamics of Methane and Syngas Lean Flames in a Model Gas-Turbine Combustor // *Energies*. – 2021. – V. 14. – P. 8267.
5. Chikishev L.M., Sharaborin D.K., Lobasov A.S., Dekterev Ar.A., Tolstoguzov R.V., Dulin V.M., Markovich D.M. LES simulation of coherent flow structures in a model gas-turbine lean combustor. Impact on the temperature field and concentration of CO and NO // *Energies*. – 2022. – V. 15. – P. 4362.

На автореферат диссертации поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что исследования выполнены на высоком научном уровне, тема работы является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной и способствуют восполнению имеющихся пробелов в области исследования структуры и динамики закрученных потоков в камерах сгорания, смесеобразования и переноса, в том числе при горении газофазного топлива для развития технологий малоэмиссионных камер сгорания.

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Стрижака П.А. – профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова, заведующего лабораторией теплопереноса ФГАУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», сформулированы следующие рекомендации: «1. Изучением характеристик закрученных потоков в камерах сгорания занимаются коллективы в нескольких ведущих центрах и инновационных компаниях Китая, США, Японии, Европы и России. Целесообразно в автореферате кратко описать их достижения и нерешенные задачи, привести сравнение ключевых результатов по некоторым постановочным экспериментам и строго определить, какие основные достижения получены по сравнению с ними в текущей работе. 2. В разделе с описанием научной новизны приведено пояснение, что «впервые выявлена пространственная структура и динамика спиральных вихрей в модели камеры сгорания с сильной закруткой потока». Непонятно, какие были основания для предположения о непространственной структуре соответствующих вихрей. Данные структуры по своей

природе являются пространственными. Новизна диссертационных исследований состоит, скорее всего, в установлении конкретных характеристик вихревых структур. 3. В автореферате диссертации приведены первичные данные экспериментальных исследований в виде распределений, профилей и полей скоростей компонентов в потоке с учетом эффектов закрутки. Интерес представляет математическая обработка экспериментальных данных с использованием общепринятых безразмерных критериев и соотношений. Целесообразно наиболее ценные результаты такой обработки входных данных и их обобщения привести в заключительной части автореферата».

В отзыве на автореферат д.т.н., доцента Гурьянова А.И. – и.о. директора института «Авиационные технологии и инженерная физика» и к.т.н., доцента кафедры общей и технической физики Евдокимова О.А. ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева» отмечено, что «В диссертации получены важные практические результаты, в частности, даны количественные оценки вклада крупномасштабных вихревых структур, включая прецессирующее вихревое ядро, в турбулентный перенос и перемешивание топлива как в основной, так и в дежурной зоне. К автореферату имеются следующие замечания: 1. Автор использует качественные определения к режимам и характеристикам модельных камер сгорания, например, «реалистичные значения расхода», «повышенное давление и температура» и др. Следует использовать количественные значения, приводя при этом конкретные сопоставления с существующими камерами сгорания, а также их рабочими характеристиками. 2. В автореферате отсутствует постановка исследований при горении синтез-газа. Не указан состав топлива, способ его получения и основные физико-химические свойства. Это значительно затрудняет анализ реализаций фронта пламени на рисунке 14. 3. Не представлена информация о постановке оптического PIV эксперимента с горением. В частности, нет данных об используемых трассерах, их свойствах, условиях их накопления и уноса из замкнутого пространства модельных камер сгорания».

В отзыве на автореферат к.т.н. Кулалаева В.В. – главного специалиста отдела 500 ОКБ им. А. Люльки, филиал ПАО «ОДК-УМПО» отмечено, что «научная новизна и теоретическая значимость, полученных результатов исследований в диссертации не вызывает сомнений. Публикации и апробация материалов исследований в полной мере отвечает требованиям ВАК РФ к научным квалификационным работам», однако указаны следующие замечания: «1. На стр. 7 автореферата указано, что диссертация состоит из *трех глав* (прописью). В дальнейшем в автореферате рассматривается 5 (пять) глав, что нарушает требования к полному соответствию материалов автореферата тексту диссертации. 2. В работе отсутствуют формулы обработки теоретического материала исследований и количественные оценки, на которые указано в тексте автореферата. 3.

Отсутствует анализ оценок адекватности физического моделирования с экспериментальными замерами, не приведены погрешности стендовых измерений. 4. На стр. 11 автореферата автором указан Q -критерий без числового значения, анализа и сравнения, что предъявляется к общепринятым свойствам критериев при научных исследованиях. 5. В заключении автором диссертации указан перечень результатов работы без конкретных рекомендаций их применения».

Отзыв на автореферат к.ф.-м.н. Князькова Д.А. – старшего научного сотрудника лаборатории кинетики процессов горения ФГБУН Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук – положительный, не содержит замечаний.

Отзыв на автореферат д.т.н. Лукачева С.В. – профессора, заведующего кафедрой «Теплотехника и тепловые двигатели» Самарского университета и к.т.н. Диденко А.А., - старшего научного сотрудника, научного руководителя лаборатории лазерной диагностики структуры потока Научно-образовательного центра газодинамических исследований (НОЦ ГДИ) Самарского университета отмечено, что к представленным результатам имеются следующие замечания: «1) Созданные в работе объекты исследования – однофорсуночные рабочие участки и отсек с боковыми оптическими окнами для лазерно-оптических измерений представлены схематично, мелко и без сообщения количественных значений геометрических, расходных и режимных параметров по воздушному и топливному контурам; не показаны места подвода пилотного и основного топлива. 2) Отсутствуют, аналогично замечанию из п. 1, какие-либо сведения о созданном экспериментальном стенде – нет фотографий, схемы ПГС, перечня основных стендовых параметров и погрешностей их измерения; 3) В подрисуночных надписях и по тексту не приведены значения технических параметров – параметров режима, координаты сечений (не везде), иллюстрирующих результаты, в т.ч. нигде по тексту не приведены значения основных критериев подобия – приведенной скорости, числа Маха, числа Рейнольдса, чисел тепло-массообмена, в т.ч. потерь полного давления, полноты сгорания топлива или эмиссии вредных веществ (за исключением в одном месте числа Шмидта и в другом - Струхалия). Также отсутствуют значения конкретных условий экспериментов и расчетов – давления, температуры, времени пребывания газа, расходы топлива, коэффициентов избытка воздуха, в т.ч. коэффициентов избытка воздуха вблизи границы «бедного» срыва пламени и т.п., что важно для отработки технологии МЭКС; не приведено сравнение собственных результатов экспериментов и численного моделирования с результатами других известных исследований; 4) Не приведены, в частности под рисунком 2 и по тексту автореферата сведения о марках и технических параметрах используемых электронно-оптических

компонентов измерительных систем PIV и PLIF – энергии, мощности и длины волны излучения, частоты импульсов лазерного излучения, CCD-камер, типы органических красителей; 5) В автореферате, в сведениях по обзорной главе, отсутствует упоминание или ссылки на владеющих подобной лазерно-оптической диагностикой и полученные результаты национальных лабораторий, двигателестроительных фирм, институтов/университетов, ученых, работы которых изучались и результаты которых брались для сравнения. Рассчитываем, что автор диссертационной работы часть замечаний сочтет полезными и учтет их при подготовке диссертационного доклада. В то же время, диссертационная работа своими используемыми сложными технологиями лазерно-оптических измерений мирового уровня, получением и обработкой уникальных результатов вносит существенный вклад в развитие критических для российской науки и практики технологий, является активным продолжением ранее выполненных российских диссертационных исследований и, в связи этим, достойна быть одобренной».

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Киверина А.Д. - заведующего лабораторией Вычислительной физики и к.ф.-м.н. Яковенко И.С. – старшего научного сотрудника лаборатории Вычислительной физики ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук содержатся следующие замечания: «1. Не всегда удачным является выбор терминологии. Так, течение без учета химических превращений в автореферате называется «изотермическим». Также следует отметить, что перенос как процесс не может иметь знака, и более корректно говорить о направлении потока и интенсивности переноса. 2. На стр. 14, сравниваются радиальные компоненты турбулентного потока массы и среднего градиента концентраций. Изложение не позволяет понять, какое из этих распределений является предсказанным согласно модели. Суть модели также не раскрывается в автореферате. 3. В автореферате дублируются англоязычные названия используемых экспериментальных методов и допущен ряд грамматических ошибок и опечаток.»

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации. Ведущая организация является одним из лидеров в области исследования процессов горения и переноса, в ней работают специалисты, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы (д.ф.-м.н. Фролов С.М., д.ф.-м.н. Финяков С.В., д.ф.-м.н. Дубовик А.А., д.ф.-м.н. Ассовский И.Г., д.т.н. Матюшин Ю.Н. и др.). Официальные оппоненты д.ф.-м.н. Фурсенко Р.В. и д.т.н. Кичатов Б.В. являются признанными специалистами в области теплофизики и механики жидкости и газа, в частности, в вопросах исследования процессов переноса и

горения. Оппоненты имеют научные работы в области, изучению которой посвящена диссертационная работа, опубликованные в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: впервые даны количественные оценки вклада крупномасштабных вихревых структур, включая прецессирующее вихревое ядро, в турбулентный перенос и перемешивание в модельных камерах сгорания газотурбинного типа, получен значительный массив экспериментальных данных о потоках с закруткой в модельных камерах сгорания газотурбинного типа, в том числе в условиях близких к натурным по числу Рейнольдса и давлению; впервые получены данные о распределении смешанных корреляций пульсаций скорости и пульсаций концентрации топлива за двухконтурным фронтальным устройством камеры сгорания; даны оценки применимости градиентных моделей замыкания уравнений переноса; выявлены принципиальные особенности и механизмы стабилизации пламени в модельных камерах сгорания газотурбинного типа при повышенном давлении.

Фундаментальная значимость исследования обоснована вкладом в развитие теплофизики, связанным с расширением эмпирической базы знаний о характеристиках процессов переноса в сложных потоках с закруткой и горением; получением достоверной детальной информации о структуре и динамике потоков, необходимой для верификации физико-математических моделей и валидации результатов моделирования процессов в перспективных устройствах.

Значимость полученных соискателем результатов для практики определяется применимостью полученных результатов при решении актуальных задач совершенствования технологий малоэмиссионных камер сгорания газотурбинного типа, реализующих принцип горения «обедненной» топливовоздушной смеси.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: методы статистического анализа экспериментальных данных обеспечивают приемлемую неопределенность данных, полученных с использованием высокопроизводительных измерительных систем на основе хорошо зарекомендовавших себя бесконтактных методов диагностики многофазных потоков; сделанные выводы не выходят за пределы применимости методик; имеется удовлетворительная повторяемость результатов экспериментов при идентичных параметрах.

Соискатель внес определяющий вклад в создание экспериментальных стендов, отладку и адаптацию измерительных методик, проведение измерений, обработку и анализ экспериментальных данных и подготовку результатов исследований к публикации. Основные научные результаты и выводы, послужившие основой диссертации и

выносимые на защиту, получены соискателем лично. Постановка решаемых задач проводилась диссертантом совместно с научным руководителем д.ф.-м.н., академиком РАН, Д.М. Марковичем.

Диссертационным советом 24.1.129.01 сделан вывод о том, что диссертация Чикишева Леонида Михайловича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержатся новые результаты комплексных исследований процессов турбулентного переноса, смесеобразования и горения газофазного топлива в модельных камерах сгорания с закруткой потока, что имеет существенное значение для развития критических технологий создания малоэмиссионных камер сгорания. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013.

На заседании 28 декабря 2022 года диссертационный совет 24.1.129.01 принял решение присудить Чикишеву Леониду Михайловичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по профилю специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 7 человек, входящих в состав совета, проголосовали за присуждение ученой степени – 19, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета  
академик РАН



Алексеев Сергей Владимирович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
профессор РАН

Терехов Владимир Викторович

28 декабря 2022 года