

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 02.03.2022 г. № 3/2022

О присуждении Шестакову Максиму Владимировичу гражданину Российской Федерации учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Экспериментальное исследование пространственной структуры квазидвумерных турбулентных струй и следов в щелевых каналах» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 29.12.2022, протокол № 13/2021 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, приказ о создании диссертационного совета Рособнадзора № 1925-174 от 08.09.2009.

Соискатель Шестаков Максим Владимирович, 08 декабря 1980 года рождения, в 2005 году окончил магистратуру Новосибирского государственного университета, в 2008 г. закончил очную аспирантуру ИТ СО РАН, работает младшим научным сотрудником в ИТ СО РАН.

Диссертация выполнена в Лаборатории физических основ энергетических технологий (№ 7.4) 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 - д.ф.-м.н., академик РАН Маркович Дмитрий Маркович - директор ИТ СО РАН.

Официальные оппоненты: Фрик Петр Готлобович – д.ф.-м.н., профессор, «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, заведующий Лабораторией физической гидродинамики № 4; Качанов Юрий Семенович – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, Лаборатория № 8 Аэрофизических исследований дозвуковых течений, главный научный сотрудник, – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН), г. Новосибирск, в своём положительном заключении, подписанном Пухначевым Владиславом Васильевичем - д.ф.-м.н., профессором, чл.-корр. РАН главным научным сотрудником Лаборатории прикладной и вычислительной гидродинамики ИГиЛ СО РАН и Чесноковым Александром Александровичем - д.ф.-м.н. главным научным сотрудником Лаборатории дифференциальных уравнений ИГиЛ СО РАН, указала, что в диссертационной работе Шестакова М.В. «Получены новые экспериментальные данные о трехмерной пространственной структуре турбулентных сдвиговых течений в щелевом канале при высоком пространственном и временном разрешении... На основе полученных данных могут быть разработаны эффективные методы управления смещением и тепломассопереносом, а также может быть проведена верификация расчетных методов».

Соискатель имеет 40 опубликованных работ по теме диссертации, включая 25 статей в рецензируемых научных изданиях, из них 8 статей общим объемом 60 стр. в ведущих рецензируемых журналах, входящих с перечень ВАК. Вклад автора состоял в подготовке и проведении всех представленных в работах экспериментов, анализе и интерпретации результатов, подготовке текста статей для публикаций.

Наиболее значимые статьи по теме диссертации:

1. (Из перечня ВАК) M.V. Shestakov, D. M. Markovich, M. P. Tokarev, V.M. Dulin, D. Ph. Sikovsky PIV study of large-scale flow organization in slot jets // International Journal of Heat and Fluid Flow. – 2015. – V. 51. – P. 335–352.
2. (Из перечня ВАК) Шестаков М.В., Токарев М.П., Маркович Д.М. Применение метода Time-Resolved Tomographic PIV для исследования процессов формирования когерентных вихревых структур в квази-двумерной турбулентной струе // Научная визуализация. – 2015. – Т.7, – № 3. – С. 1 – 8.
3. (Из перечня ВАК) Shestakov M.V., Mullyadzhyanov R.I., Tokarev M.P., Markovich D.M. Modulation of large-scale meandering and three-dimensional flows in turbulent slot jets // Journal of Engineering Thermophysics. – 2016. – V.25, – №2. – P. 159 – 165.
4. (Из перечня ВАК) М.В. Шестаков, Д.М. Маркович Трехмерная структура потока в ближнем следе за цилиндром в щелевом канале // Теплофизика и аэромеханика. – 2021. – Т. 28, – № 6. – С. 807–812.
5. (Из перечня ВАК) Shestakov M.V., Tokarev M.P., Markovich D.M. 3D structure of flow in the near field of the quasi-two-dimensional turbulent jet // J. Phys.: Conf. Ser. – 2017. – V. 899. - P. 062006–1–062006–5.

На автореферат поступило 7 отзывов. Все отзывы положительные.

В отзыве на автореферат ФГБУН «ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КазНЦ РАН), подписанном д.т.н., профессором Михеевым Н.И. руководителем Института энергетики и перспективных технологий ФИЦ КазНЦ РАН и к.т.н. Душиным Н.С. старшим научным сотрудником Лаборатории гидродинамики и теплообмена Института энергетики и перспективных технологий ФИЦ КазНЦ РАН, сообщается о важности решаемых фундаментальных и прикладных задач в диссертации для развития методов управления теплообменом в элементах ядерных технологиях и элементах микроэлектроники. В отзыве имеются следующие замечания: «1. Из автореферата не понятна мотивация использования Q-критерия, а, например, не λ_2 -критерия или Spectral proper orthogonal decomposition? 2. Из рисунка 12 следует, что полная энергия пульсаций скорости (E_{full}) ниже, чем для энергии компоненты E_{uu} . Нет ли путаницы между полной и средней энергией пульсаций скорости? 3. На

рисунке 4 при частотах выше порядка 100 Гц и числе Струхала выше 1 в спектре, по-видимому, преобладает шум, связанный со случайными ошибками измерений. Кроме того, для корректного определения закона изменения энергии по частоте или волновым числам необходимо рассматривать гораздо больший диапазон частот (волновых чисел). В автореферате диапазон частот для оценки показателя степени не дотягивает даже до одного порядка».

В отзыве на автореферат д.т.н., профессора Сапожникова С.З. директора НОЦ "Теплофизика в энергетике", профессора Высшей школы атомной и тепловой энергетики ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" отмечен удачный выбор инструментария и высокая культура исследования. В отзыве имеются два замечания: «1. На с. 6. автор говорит об оценке *погрешностей* измерений. В настоящее время российские и международные стандарты требуют оценивать *неопределенности*, а это несколько другой подход. В автореферате не сказано о точности измерений, разбросе результатов и пр. На графиках отсутствуют пределы, соответствующие расширенной относительной неопределенности, с какой измерены величины. 2. Отсутствуют отсылки к данным литературы, полученные методами численного моделирования, тогда как в главе 1 им уделено достаточное внимание».

В отзыве на автореферат чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. Вараксина А.Ю. заведующего лабораторией ФГБУН Объединенного института высоких температур Российской академии наук говорится об актуальности исследований, научной новизне и практической значимости работы, а также указывается на важность экспериментальных данных для развития качественно новых внутренних конструкций систем охлаждения газотурбинных лопаток и пластинчатых теплообменников. В отзыве по материалу автореферата диссертации имеются следующие вопросы и замечания «1. В автореферате не приводятся данные о погрешности измерений многочисленных измеряемых (вычисляемых) характеристик турбулентного течения (разные компоненты пульсационных скоростей, осредненных скоростей, завихренности, второй инвариант тензора градиента скорости). 2. В автореферате не приводятся данные о свойствах частиц-трассеров, используемых для проведения измерений в турбулентном потоке,

характеризуемых наличием высоких частот. 3. Может ли быть использована развитая в работе методология исследования, если рабочей средой будет газ? Изменятся ли основные выводы диссертации?»

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н., профессора Исаева С.А. заведующего Лабораторией фундаментальных исследований ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации» имеются четыре замечания: «1. Недостаточно раскрыт бекграунд диссертации. Не упомянуты предшественники. 2. Не проанализировано влияние масштабного фактора прежде всего на профиль входной скорости. Не понятно, как изменятся выводы при варьировании размерами высоты канала. 3. Хотелось бы уточнить характеристику «глубина канала». d – это D , а U_q – среднемассовая скорость? 4. Все-таки какова физическая причина возникновения спиралеобразных вихрей?

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Лободы Е.Л. заведующего кафедрой физической и вычислительной механики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» отмечается, что в диссертации решена важная научная задача, связанная с изучением пространственной структуры квазидвумерных турбулентных струи и следов в щелевых каналах с применением оптических методов, имеющих значение для развития механики жидкости газа и плазмы применительно к турбулентным течениям. В отзыве есть одно замечание: «В качестве замечания можно отметить, что было бы полезно установить взаимосвязь масштабов турбулентных структур в струе с соответствующими характерными частотами в спектре пульсации скорости.».

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н., профессора Кузнецова Г.В. главного научного сотрудника Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» отражена значимость впервые полученных экспериментальных данных о процессах формирования, развития и взаимодействия трехмерных вихревых структур, образующихся в квазидвумерных сдвиговых турбулентных течениях, в частности, струях и следах в щелевых каналах для процессов смешения и теплопереноса. В отзыве имеется одно замечание: «Классическая теория эксперимента в качестве основных результатов экспериментальных исследований полагает математические модели

исследовавшийся процессов. Такие модели в дальнейшем могут быть использованы на практике. Так, например, типичными математическими моделями, обобщающими результаты выполненных экспериментов, могут быть аппроксимационные выражения, связывающие функцию цели эксперимента с основными значимыми факторами. В автореферате рецензируемой диссертации таких математических моделей нет.»

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Стрижака П.А. профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» отражается уникальность экспериментальных результатов, полученных при помощи современных оптических систем регистрации и методик обработки изображений. В отзыве имеются следующие замечания: «1. В экспериментальной диссертационной работе ключевой раздел – описание систематических и случайных погрешностей проведенных измерений, обоснование выбора условий проведения опытов, варьируемых параметров и регистрируемых характеристик. В автореферате эти вопросы не обсуждены. Целесообразно было отразить, как фактор масштаба влияет на воспроизводимость результатов опытов какие необходимы модификации методик измерений и обобщения результатов исследований для минимизации отмеченных погрешностей. 2. В автореферате не отражены характеристики использованного программно-аппаратного комплекса при проведении измерений. Для читателей важно понимать, какая база необходима для соответствующих измерений, какие имеются ограничения. 3. Диссертация представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Целесообразно отразить в автореферате результаты математической обработки экспериментальных данных в виде формул и выражений для установленных зависимостей».

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что основное направление научной деятельности организации является фундаментальные исследования в области механики жидкости и газа и имеет в своём составе признанных специалистов в области механики жидкости и газа таких, как чл.-кор. РАН Пухначев В.В., д.ф.-м.н. Ерманюк Е.В., д.ф.-м.н. Ляпидевский В.Ю., д.ф.-м.н. Чесноков А.А. и др., которые могут провести компетентную экспертную оценку представленной соискателем работы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что д.ф.-м.н. профессор Фрик П.Г. является признанным специалистом по теории турбулентности, внёсшим существенный вклад в исследование и построение каскадных моделей развитых турбулентных течений, а также скейлинговых свойств турбулентности, защитил докторскую диссертацию по теме “Крупномасштабная квазидвумерная турбулентность в тонких слоях жидкости”, непосредственно относящуюся к теме диссертации Шестакова М.В. Д.ф.-м.н. Качанов Ю.С. является ведущим мировым специалистом по проблемам возникновения турбулентности в пристенных погранслойных течениях. Оппоненты имеют научные работы в области, которой посвящена тема диссертации, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях в области механики жидкости и газа.

Диссертационный совет отмечает, что соискателем представлены новые экспериментальные результаты исследования нестационарных режимов течения квазидвумерной турбулентной струи, характерные пространственно-временные масштабы трехмерной вихревой структуры, развивающейся в квазидвумерных турбулентных струях и следах в щелевом канале. Предложена оригинальная научная гипотеза о формировании продольных вихревых структур, позволяющая объяснить образование локальных вторичных течений в квазидвумерных турбулентных струях и следах в щелевых каналах, новая экспериментальная методика, позволившая выявить новые закономерности распространения квазидвумерных турбулентных струй и следов в щелевых каналах, повысить точность измерений трех компонент мгновенной скорости в объеме потока. Доказана необходимость учета продольных вихревых структур на практике при расчете процессов смешения и тепломассопереноса в щелевых каналах; введено новое понятие модуляции амплитуды меандрирования квазидвумерной турбулентной струи, описывающее нестационарное течение квазидвумерной турбулентной струи связанной с циклической сменой режимов течения.

Теоретическая значимость исследований состоит в том, что эффективно, с получением результатов, обладающих новизной, использован современный оптический метод анемометрии по изображениям частиц на основе малоракурсной оптической томографии (Tomographic Particle Image

Velocimetry); показана противоречивость предложенных ранее моделей формирования вторичных течений, основанных на деформации вихревых трубок, предложена новая гипотеза образования вторичных течений; изучена связь модуляции амплитуды меандрирования квазидвумерной турбулентной струи с процессами образования и объединения вихревых структур, изучена взаимосвязь между развитием крупномасштабных сдвиговых вихревых структур с процессами формирования и развития продольных вихревых структур в сильно анизотропных сдвиговых турбулентных течениях.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что определены условия влияния ограничивающих стенок на трехмерную структуру течения, определены основные закономерности распространения квазидвумерных турбулентных струй при существенном влиянии придонного трения, определены характерные пространственно-временные масштабы квазидвумерных турбулентных струй и следов в щелевых каналах, на основании которых могут быть проведены оценки динамических нагрузок в широком классе технических приложений. Создана экспериментальная база 3D данных, необходимая для верификации численных кодов и программ для расчета ограниченных сдвиговых течений, реализующихся в элементах атомной энергетики, в частности, тепловыделяющих сборках, трубчатых и пластинчатых теплообменниках. Данная база данных может быть использована в организациях Росатома в институтах: АО «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежала» (предприятие Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», НИКИЭТ), ФГБУН Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ), а также для верификации программ Логос во ФГУП Российский федеральный ядерный центр Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ФГУП "РФЯЦ - ВНИИЭФ").

Оценка достоверности результатов исследования выявила: результаты измерения мгновенных распределений скорости получены на сертифицированном оборудовании с использованием обоснованной методики калибровки; в широком диапазоне исследуемых параметров чисел Re и соотношений высоты канала к диаметру цилиндра/ширине сопла

показана воспроизводимость проводимых в работе измерений трех- и двухкомпонентных распределений скорости; согласуются с данными численными расчетами других авторов, для апробации полученных данных использованы сравнение авторских данных и данных, полученных ранее на той же экспериментальной установке другими авторами при помощи альтернативных методов измерения; установлено количественное совпадение результатов диссертации с результатами, представленными в независимых источниках по исследованиям ограниченных турбулентных струи; для получения экспериментальных данных использованы современные оптические методики и алгоритмы сбора и обработки данных, апробированные и верифицированные в различных условиях и при различных параметрах течений.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи исследования, создании экспериментального стенда, апробации методик измерений, проведении калибровки методик. Все эксперименты, обработка и интерпретация экспериментальных данных выполнены лично автором, анализ экспериментальных результатов и сопоставление с данными из независимых источников проведены автором, а также автором выполнена подготовка основных публикаций.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Шестакова Максима Владимировича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержатся новые результаты комплексного экспериментального исследования процессов формирования трехмерных вихревых структур в сложных квазидвумерных турбулентных сдвиговых течениях, имеющие важное значение для развития теории гидродинамической турбулентности. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013.

На заседании 02.03.2022 диссертационный совет принял решение присудить Шестакову Максиму Владимировичу учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – Механика жидкости и плазмы.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 9 докторов наук по профилю специальности 1.1.9 - Механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали за 22, против 0, не участвовали в голосовании 0.

Председатель
диссертационного совета
академик РАН



Алексеев Сергей Владимирович

И.о. ученого секретаря
д.т.н.

Низовцев Михаил Иванович

« 3 » марта 2022 г.