

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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23.03.2022 № 5/2022

О присуждении Зарипову Динару Ильясовичу гражданину Российской Федерации
ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Развитие высокопроизводительных панорамных методов диагностики и их приложение к исследованию интенсивных событий в турбулентном пограничном слое» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 15.12.2021, протокол № 8-3/2021 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 Рособрнадзора № 1925-174 от 08.09.2009 г.

Соискатель Зарипов Динар Ильясович 22 декабря 1983 года рождения защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Колебания потока в разветвленных каналах» в 2014 году в диссертационном совете, созданном на базе Казанского (Приволжского) федерального университета, работает старшим научным сотрудником в Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН.

Диссертация выполнена в Лаборатории физических основ энергетических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук и в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Бойко Андрей Владиславович – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, заведующий лабораторией физико-математического моделирования неоднородных течений;

Троицкая Юлия Игоревна – доктор физико-математических наук, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН», заведующая Отделом нелинейных геофизических процессов;

Смирнов Евгений Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбПУ), профессор Высшей Школы прикладной математики и вычислительной физики,

главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроаэродинамики Физико-механического института СПбПУ;

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук – филиал Федерального государственного бюджетного Учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ИМСС УрО РАН), г. Пермь в своем положительном отзыве, подписанном заведующим лабораторией физической гидроаэродинамики, д.ф.-м.н., профессором Фриком Петром Готлобовичем, указала, что: «...Диссертация Зарипова Динара Ильясовича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных соискателем исследований разработаны теоретические положения, направленные на исследование интенсивных событий в турбулентном пограничном слое и разработку высокоточных и высокопроизводительных панорамных методов диагностики потоков, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение в области механики жидкости и газа. Исходя из актуальности, новизны, научной и практической значимости данной работы, можно сделать заключение, что диссертация «Развитие высокопроизводительных панорамных методов диагностики и их приложение к исследованию интенсивных событий в турбулентном пограничном слое», представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы, выполнена на высоком научном уровне, удовлетворяет всем критериям пп. 9-11, 13, 14 «Положения...», предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор Зарипов Динар Ильясович заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук».

По результатам диссертационной работы опубликованы 17 статей в научных журналах, включенных в Перечень ВАК, из них 14 статей – в изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Вклад автора состоит в разработке, обосновании эффективности и реализации методов и алгоритмов расчета полей скорости, оценке их производительности, разработке и реализации метода снижения влияния погрешности измерения, планировании и проведении всех экспериментов, обработке, анализе и интерпретации полученных результатов экспериментов и прямого численного моделирования, формулировании основных полученных результатов и подготовке публикаций.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. (BAK) Zaripov D.I., Ivashchenko V.A., Mullyadzhanzov R.I., Li R., Mikheev N.I., Kahler Ch.J. On a mechanism of near-wall reverse flow formation in a turbulent duct flow // Journal of Fluid Mechanics. – 2021. – Vol. 923, Art. A20. – 15 p.

2. (BAK) Zaripov D.I., Ivashchenko V.A., Mullyadzhanzov R.I., Li R., Markovich D.M., Kahler Ch.J. Reverse flow phenomenon in duct corners at a low Reynolds number // Physics of Fluids. – 2021. – Vol. 33, № 8, Art. 085130. – 11 p.

3. (BAK) Bobrov M.S., Hrebtov M.Y., Ivashchenko V.A., Mullyadzhanzov R.I., Seredkin A.V., Tokarev M.P., Zaripov D.I., Dulin V.M., Markovich D.M. Pressure evaluation from Lagrangian particle tracking data using a grid-free least-squares method // Measurement Science and Technology. – 2021. – Vol. 32, № 8, Art. 084014. – 14 p.

4. (BAK) Zaripov D.I., Li R., Saushin I.I. Extreme events of turbulent kinetic energy production and dissipation in turbulent channel flow: particle image velocimetry measurements // Journal of Turbulence. – 2020. – Vol. 21, № 1. – P. 39-51.

5. (BAK) Zaripov D.I., Li R., Dushin N.S. Dissipation rate estimation in the turbulent boundary layer using high-speed planar Particle Image Velocimetry // Experiments in Fluids. – 2019. – Vol. 60, № 1. – 16 p.

6. (BAK) Zaripov D.I., Li R. High-speed technique based on a parallel projection correlation procedure for digital image correlation // Measurement Science and Technology. – 2018. – Vol. 29, Art. 055405. – 11 p.

7. (BAK) Zaripov D.I., Li R., Mikheev N.I., Dushin N.S. Speed-up algorithm based on parallel projection correlation technique for planar PIV: Accuracy and limitation // Flow Measurement and Instrumentation. – 2018. – Vol. 60. – P. 88-94.

8. (BAK) Зарипов Д.И., Михеев Н.И., Душин Н.С., Аслаев А.К., Шакиров Р.К. Применение метода проекций для ускорения нового алгоритма измерения мгновенных полей скорости потока // Вычислительные технологии. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 33-45.

На автореферат поступило 10 отзывов. Все отзывы положительные, некоторые содержат замечания. В отзывах отмечается новизна, научная и практическая значимость, достоверность полученных результатов, актуальность направления исследований.

Отзыв д.ф.-м.н. Губайдуллина Амира Анваровича, профессора, главного научного сотрудника Тюменского филиала ФГБУН Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН не содержит замечаний.

Отзыв д.ф.-м.н. Стрижака Павла Александровича, профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Национального исследовательского Томского политехнического университета содержит следующие замечания:

1. Практически во всех ключевых выводах по тексту автореферата отмечается, что предложенные методы и алгоритмы ускоряют вычисления и снижают погрешности. Необходимо в каждом конкретном случае отразить количественные примеры, т.е. насколько конкретно удалось продвинуться и при каких внешних и внутренних условиях. Целесообразно отразить эти комментарии в заключении.

2. Из текста автореферата сложно понять границы областей применимости предложенных автором диссертации алгоритмов и методик. Важно отразить эти аспекты по свойствам сред, масштабным эффектам и др.

Отзыв д.т.н. Сапожникова Сергея Захаровича, директора НОЦ «Теплофизика в энергетике», профессора Высшей школы атомной и тепловой энергетики ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» содержит следующие замечания:

1. На с. 5 автор говорит, что достоверность результатов подтверждается «глубоким анализом влияния погрешности измерения на результаты исследований». В настоящее время российский и международный стандарты требуют оценивать *неопределенности*, а это несколько другой подход. В разделах 2.1 – 2.3 анализ действительно глубок, но терминология автора не соответствует упомянутым стандартам, а о методике оценки вообще ничего не сказано.

2. Изложение тяжеловесно. Так, во втором снизу абзаце на с. 4 присутствуют 7 родительных падежей подряд.

Отзыв д.ф.-м.н. Мазо Александра Бенциановича, профессора кафедры аэрогидродинамики Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» и д.ф.-м.н. Поташева Константина Андреевича, заведующего кафедрой аэрогидродинамики Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» содержит следующие замечания:

1. Автор констатирует, что «...выбранная степень дискретизации расчетной области значительно выше, чем требуется для разрешения колмогоровского масштаба турбулентности...». Однако читателю непонятно, о какой степени дискретизации идет речь.
2. В автореферате следовало бы раскрыть детали процедуры трекинга областей обратного течения, поскольку этот инструмент используется при получении одного из основных результатов диссертации, касающегося длины треков и времени жизни обратного пристеночного течения (например, см. 11-й результат заключения, стр. 37 автореферата).
3. На рис. 4.1, призванном продемонстрировать существование явления обратного течения, наличие отрицательного значения продольной скорости у стенки не очевидно. Соискателю следовало бы нанести на графики соответствующую сетку.
4. Из текста автореферата неясна причина колоссальной разницы между долями времени обратного течения, возникающего в центральной части стенки и в углу канала.

Отзыв д.т.н. Молочникова Валерия Михайловича, профессора кафедры реактивных двигателей и энергетических установок ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» содержит следующие замечания:

1. Разработка высокоточных панорамных методов ориентирована на диагностику развитых турбулентных течений. За рамками этих исследований осталась область ламинарно-турбулентного перехода, где уровень пульсаций скорости ниже. Можно ли использовать разработанные автором методы, например, для решения вопросов восприимчивости?
2. Эксперименты по измерению доли обратного течения проводились в канале квадратного поперечного сечения. При этом констатируется, что доля времени обратного течения при приближении к углам канала возрастает практически на три порядка. Причина этого эффекта в автореферате не объясняется. Возможно, обнаруженное явление ОПТ индуцируется особенностями течения вблизи угловых конфигураций? Одним из вариантов ответа на этот вопрос были бы измерения ОПТ в кольцевом канале малой высоты с большим радиусом поперечного сечения, что является хорошим приближением к течению в канале бесконечной ширины.

Отзыв д.ф.-м.н. Исаева Сергея Александровича, заведующего лабораторией фундаментальных исследований ФГБОУ ВО Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации содержит следующие замечания:

1. Следует уточнить, в каких диапазонах определяющих параметров справедливо утверждение о том, что систематическое исследование погрешности метода SIV показало его преимущество перед стандартным методом PIV при измерении больших перемещений относительно крупных изображений частиц при их большой концентрации.

2. Хотелось бы прояснить генезис термина «интенсивное событие» в приложении к пограничному слою.

3. Струйно-вихревой механизм возникновения возвратных токов в пограничном слое, опирающийся на структурный анализ, в частности, на формирование подковообразных вихрей, характеризуется диапазоном малых чисел Рейнольдса. Почему он не работает при более высоких числах Re ?

Отзыв д.ф.-м.н. Знаменской Ирины Александровны, профессора кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества Физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» содержит следующие замечания:

1. Аббревиатура SIV в англоязычной литературе устойчиво используется для обозначения метода “Schlieren Image Velocimetry” см. например [Hargather et al 2011 AIAA Journal 49(3):611-620]. В автореферате следовало бы об этом упомянуть.

2. Формулировка последнего (одиннадцатого) результата носит качественный характер. (“чаще”, “большее”...). Желательны количественные оценки, возможно, они имеются в диссертации.

Отзыв д.т.н. Мошарова Владимира Евгеньевича, доцента, заместителя начальника отделения Измерительной техники и метрологии (НИО-7) ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» содержит следующие замечания:

1. В работе не приводится метрологическая прослеживаемость измерений скорости потока, выполняемых автором, поэтому некорректно говорить о погрешности измерений скорости (в частности, пункты 1, 3 и 4 выводов), можно обсуждать только погрешность предлагаемых алгоритмов обработки синтезированных изображений.

2. В автореферате ничего не сказано, как автор решил проблему рассеяния света на стенке, которое затрудняет, а часто делает невозможными измерения вблизи стенки.

3. Странно, что в работе полностью отсутствуют измерения альтернативными методами, в частности термоанемометром.

Отзыв д.ф.-м.н. Варакина Алексея Юрьевича, член-корреспондента РАН, заведующего лабораторией ФГБУН Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) содержит следующие замечания:

1. Хорошо известно, что погрешность измерения скорости резко возрастает в области околонулевых значений. Например, при использовании ЛДА применяют электронный сдвиг частоты, смещающий «ноль» скорости по шкале частот. Из автореферата не совсем понятно, удалось ли что-то предложить такого же рода при использовании метода PIV?

2. В автореферате не приводятся данные о погрешности (в процентах) измерений многочисленных измеряемых (вычисляемых) характеристик турбулентного течения (разные компоненты пульсационных скоростей, осредненных скоростей, скорость диссипации энергии турбулентности).

3. Изменяются ли основные развитые алгоритмы и выводы диссертации, если отказаться от предположения о локальной осесимметричной турбулентности (с.23)?

Отзыв д.т.н. Попова Игоря Александровича, профессора по кафедре «Теплотехника и энергетическое машиностроение» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» (КНИТУ-КАИ) содержит следующие замечания:

1. Со стадии выступлений на семинарах остается вопрос – оценка неопределенности измерений в эксперименте. Автор, несмотря на ГОСТ 34100.3-2017 продолжает использовать устаревший термин погрешность. Но даже метод определения погрешности почти не упоминается.
2. На стр. 30 автореферата делается вывод по тексту, что вероятность образования обратного пристенного течения более велика в условиях влияния стеснения канала в целевых каналах и вблизи стенок крупных каналов. В практических приложениях чаще всего трубопроводы круглого сечения. Насколько чаще будут там подобные события?
3. Практический вопрос – как может повлиять наличие и развитие обратных пристенных течений на гидравлические и теплообменные процессы в каналах, учитывая продолжительность и размеры их существования? Например, в наиболее критическом техническом приложении, ядерной энергетике? Может ли это привести к прогару стенок? Но это частности, основной вопрос – насколько выявленное явление обратного течения важно для учета в технических приложениях?
4. Возможно ли возникновение этого эффекта при течении жидкостей, насыщенных и перегретых паров?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации являются признанными специалистами в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации. Ведущая организация – ИМСС УрО РАН, несомненно, является одним из лидеров в области механики жидкости, газа и плазмы, в ней работают специалисты, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы (д.ф.-м.н., профессор П.Г. Фрик, д.ф.-м.н., профессор С.Ю. Хрипченко, д.ф.-м.н. Р.А. Степанов и др.). Официальные оппоненты д.ф.-м.н. А.В. Бойко, д.ф.-м.н. Ю.И. Троицкая и д.ф.-м.н. Е.М. Смирнов являются признанными специалистами в области экспериментальной и вычислительной механики жидкости и газа, в частности, турбулентности. Оппоненты имеют многочисленные научные работы в области, изучению которой посвящена диссертационная работа, опубликованные в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что разработана и апробирована серия высокопроизводительных методов и алгоритмов, применение которых позволило обнаружить новые явления и закономерности, протекающие в пристенной области турбулентного пограничного слоя. Разработан новый бессеточный многопроходный метод PIV, позволяющий в 2 раза расширить диапазон допустимых градиентов скорости с одновременным повышением пространственного разрешения и снижением погрешности измерения. Разработана серия алгоритмов, значительно ускоряющих вычисление мгновенных векторных полей скорости потока. Разработан метод, частично устраняющий влияние случайной погрешности измерения. Предложен единый механизм формирования высоких значений локальной мгновенной скорости диссипации и генерации кинетической энергии турбулентности в пристенной области турбулентного пограничного слоя. Впервые экспериментально подтверждено существование явления обратного пристенного течения в каналах при относительно малых числах Рейнольдса ($207 < Re_\tau < 672$), предложен и обоснован сценарий его формирования. Впервые обнаружено явление обратного пристенного течения в углах канала квадратного поперечного сечения и предложен механизм его возникновения.

Теоретическая значимость исследований связана с более глубоким пониманием динамики пристенного турбулентного движения с присущими ему когерентными вихревыми структурами и интенсивными локальными событиями, наблюдаемыми на уровне колмогоровского масштаба, а также обнаружением и объяснением нового явления обратного пристенного течения в течениях в угловых конфигурациях. Проведенные исследования позволили установить механизмы возникновения высоких значений скорости диссипации и генерации кинетической энергии турбулентности, что вносит вклад в развитие общей теории турбулентности. Полученные численные и экспериментальные результаты, объясняющие механизмы возникновения локального мгновенного отрыва потока, т.е. так называемого явления обратного пристенного течения, возникающего в безградиентном турбулентном пограничном слое, позволяет по-новому взглянуть на процесс формирования отрывных течений.

Практическая значимость диссертационной работы обоснована разработкой новых методов и алгоритмов, значительно превосходящих по производительности существующие мировые аналоги и открывающих новые возможности в экспериментальной гидродинамике, особенно при изучении мелкомасштабной турбулентности. Результаты работы могут быть в дальнейшем использованы при разработке следующих поколений панорамных методов, позволяющих измерять мгновенные поля скорости вблизи подвижных границ в режиме реального времени. Использование разработанных методов и алгоритмов позволило обнаружить новые явления и закономерности, которые могут быть использованы при разработке пассивных и активных методов управления сопротивлением трения и новых подходов к созданию моделей турбулентности или модернизации существующих.

Результаты и выводы диссертации могут быть использованы в организациях, занимающихся вопросами теории турбулентности с использованием панорамных методов диагностики потоков: ФГБУН Институте теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН; ФГБУН Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН; ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»; Институте механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук; ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»; ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»; ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»; ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ»; ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»; ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»; ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»; ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН); ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»; АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»; а также коммерческими организациями, занимающимися разработкой экспериментальных методов диагностики.

Результаты исследований, полученные в диссертации, могут быть также использованы в учебном процессе в ВУЗах по дисциплинам «Механика жидкости и газа», «Механика многофазных сред», «Теоретическая и прикладная механика», «Экспериментальные методы диагностики потоков».

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов обусловлена использованием проверенных методик численного и экспериментального исследования, качественным и во многих случаях количественным совпадением полученных численных и экспериментальных результатов друг с другом и с известными и апробированными результатами других авторов, использованием верифицированных алгоритмов обработки данных и глубоким анализом влияния погрешности измерения на результаты исследований.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, разработке, обосновании эффективности и реализации методов и алгоритмов расчета полей скорости, оценке их производительности, разработке и реализации метода снижения влияния погрешности измерения, планировании и проведении всех экспериментов, обработке, анализе и интерпретации полученных результатов экспериментов и прямого численного моделирования.

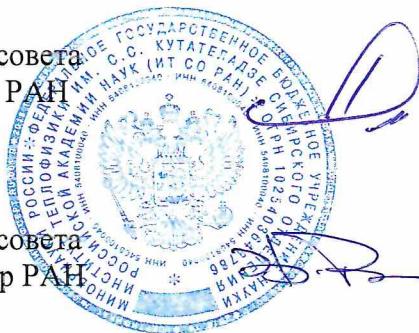
Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Д. И. Зарипова является законченным научным исследованием, выполненным на современном уровне, и может характеризоваться как научно-квалификационная работа, в которой на основании выполненных автором исследований интенсивных событий в турбулентном пограничном слое и разработки высокоточных и высокопроизводительных панорамных методов диагностики потоков разработаны теоретические положения и получены теоретико-экспериментальные результаты, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение в области теории турбулентности в пристенных сдвиговых течениях.

На заседании 23.03.2022 диссертационный совет принял решение присудить Зарипову Динару Ильясовичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 8 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали за - 19, против - 2, не действительных бюллетеней - 0.

Председатель
диссертационного совета
д.ф.-м.н., академик РАН

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.ф.-м.н., профессор РАН



Алексеев Сергей Владимирович

Терехов Владимир Викторович

«25» марта 2022 г.