

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук Бойко Андрея Владиславовича
на диссертацию Зарипова Динара Ильясовича «Развитие высокопроизводительных
панорамных методов диагностики и их приложение к исследованию интенсивных событий в
турбулентном пограничном слое», представленной на соискание ученой степени доктора
физико-математических наук, по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

1. Оценка актуальности темы диссертационного исследования

Актуальность темы диссертационной работы связана со слабой изученностью динамических процессов, происходящих в вязком подслое турбулентного пограничного слоя. Известно, что эти процессы обусловлены развитием различных когерентных вихревых структур, которые способны оказывать существенное влияние на многие осредненные величины пограничного слоя, например, на важную для практических приложений величину сопротивления трения.

Основная проблема слабой изученности рассматриваемых динамических процессов связана со сложностью их экспериментального изучения, требующего разработки специальных методов исследования и, как следствие, невозможностью во многих случаях проверить результаты расчетов прямого численного моделирования. Кроме того, возможности современных расчетов такого рода ограничены лишь областью относительно низких чисел Рейнольдса. Поэтому существенную часть работы составляет развитие экспериментальных методов, без которых получение новых экспериментальных результатов не было бы возможным.

Методы, разработанные автором, позволили существенно продвинуться в исследовании двух важных явлений, экспериментальное изучение которых до недавнего времени было невозможным. Во-первых, это экспериментальное измерение скорости диссипации кинетической энергии турбулентности, основной величины в теории однородной турбулентности, знание которой в пристенной области важно, например, для построения продвинутых моделей турбулентности в угловых конфигурациях. Во-вторых, это численное изучение явления обратного пристеночного течения, механизм формирования которого до сих пор оставался неизвестным. Особенно примечательно то, что это явление исследовано в двух разных областях потока — в существенно двумерном турбулентном пограничном слое и вблизи вершины продольно обтекаемого угла. Следует отметить, что изучение сдвиговых течений вдоль угловых конфигураций вызывает неизменный интерес на протяжении последних десятилетий, т. к. они широко представлены на практике (стыки фюзеляж-крыло и т.п.), но сопряжено с существенными трудностями из-за наличия двух стенок.

Таким образом, тема актуальная, а продвижение в изучении рассматриваемых эффектов имеет как фундаментальное значение, так и прикладное значение. Следует также отметить, что разработанные экспериментальные методы являются передовыми по точности и скорости обработки данных и могут служить основой разработки нового поколения панорамных методов, направленных на изучение динамических процессов в сдвиговых течениях.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и практических рекомендаций, сформулированных в диссертации

Во Введении диссертации Д.И.Зариповым приводится обзор актуальных проблем механики жидкости и газа, связанных с исследованием интенсивных динамических процессов, протекающих в турбулентных пристенных течениях на уровне колмогоровского масштаба вихрей. Делается вывод, что их решение требует дальнейшего развития существующих экспериментальных методов диагностики, в частности, в сторону увеличения их точности, пространственно-временного разрешения и быстродействия, формулируются цели и задачи диссертации. Каждая из следующих четырех глав посвящена решению одной из этих сформулированных задач. В каждой главе приводится детальный обзор существующих экспериментальных и численных подходов, описываются их недостатки и достоинства в плане решения научной проблемы, разрабатываемой в конкретной главе. В соответствии с этим предлагаются свои пути их решения, приводится аргументация на основе существующих физических представлений, проведенных автором экспериментов и расчетов. Полученные экспериментальные результаты Д.И.Зарипов сравнивает с известными данными по рассматриваемой проблеме, делает их глубокий и неформальный анализ, на основе которого обосновывает преимущество предлагаемых им решений и существенную научную новизну результатов. В четвертой главе проведен анализ результатов расчетов, выполненных на основе прямого численного моделирования кодом NEk5000. Надежность этого анализа также не вызывает сомнений, т. к. расчеты верифицированы по данным экспериментов.

3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов работы подтверждается использованием известных, широко используемых методик экспериментального и численного исследования, сравнением полученных автором и другими исследователями результатов друг с другом и тщательным анализом влияния погрешностей измерения.

Д.И.Зариповым получено существенное продвижение в методах экспериментального исследования динамических процессов в пристенных турбулентных потоках бесконтактными панорамными методами PIV. В частности, им разработан новый бессеточный многопроходный метод PIV, характеризующийся повышенным пространственным разрешением и сниженной погрешностью измерений по пространству; разработаны новые алгоритмы обработки данных PIV, значительно ускоряющие получение мгновенных полей скоростей потока в широком диапазоне управляющих параметров. На основе многостороннего анализа результатов измерений сделан вывод о том, что достоверность оценки скорости диссипации кинетической энергии турбулентности зависит от пространственного разрешения, метода измерения и его погрешности. Был разработан метод, улучшающий оценку скорости диссипации кинетической энергии турбулентности за счет уменьшения влияния случайной погрешности измерений.

Методы, разработанные Д.И.Зариповым, позволили существенно продвинуться в исследовании ряда важных явлений, экспериментальное изучение которых до недавнего времени считалось практически невозможным. На основе этих исследований им предложен единый механизм формирования больших величин локальных мгновенных скоростей генерации и диссипации кинетической энергии турбулентности в пограничном слое вблизи стенки и впервые экспериментально подтверждено существование и обоснован механизм возникновения явления обратного течения в вязком подслое при относительно малых числах Рейнольдса; впервые обнаружено имеющее иную природу явление обратного пристеночного течения в углах канала квадратного сечения и также предложен оригинальный механизм его возникновения.

4. Соответствие диссертации и автореферата требованиям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней

Представленная диссертация и автореферат Д.И.Зарипова соответствует установленным требованиям к специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы, а полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам. Оформление диссертации удовлетворяет требованиям ВАК. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

5. Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы

Работа в целом не имеет аналогов в России и за рубежом и имеет безусловно пионерский характер. Часть работы выполнена Д.И.Зариповым в соавторстве с другими исследователями. В Предисловии к диссертации и в автореферате автор приводит информацию о своем ключевом

личном вкладе в разработку рассматриваемой им научной проблемы. Анализ списка литературы автора и публикаций его соавторов также свидетельствуют о ключевой роли соискателя в разработке рассматриваемой научной проблемы.

6. Оценка содержания диссертации, её завершённости, подтверждение публикаций автора

Диссертация Д.И.Зарипова содержит совокупность новых научных результатов и положений в соответствии с заявленными целью и задачами и имеет внутреннее единство. Ее оформление соответствует требованиям, устанавливаемым Министерством образования Российской Федерации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 17 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК в течении 2016-2021 годов, а также представлены в материалах различных всероссийских и международных конференций и симпозиумов по специальности диссертанта за тот же период.

7. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации

Содержание диссертации Д.И.Зарипова отражает и систематизирует значительный объем проделанных диссертантом исследований, изложенных в его публикациях по разрабатываемой теме. Эти комплексные исследования включают в себя методическую работу, анализ и обобщение существующих экспериментальных данных, а также эксперименты и расчеты, выполненные на высоком научно-техническом уровне с применением широкого арсенала современных известных и разработанных автором методов. Диссертация содержит доказательство ряда важных положений теории турбулентности, что в совокупности позволяет как более полно характеризовать скорости генерации и диссипации кинетической энергии турбулентности в пограничном слое вблизи стенки, так и обосновать механизмы возникновения явления обратного течения в вязком подслое.

Таким образом, в диссертации содержится решение заявленной задачи существенного развития высокопроизводительных панорамных методов диагностики и их приложения к исследованию интенсивных событий в турбулентном пограничном слое. Получены существенно новые научные результаты диссертации, а работа в целом имеет практическую значимость.

В представленной работе, на мой взгляд, принципиальные недостатки отсутствуют. Тем не менее, определенные недочеты, на которых следует остановиться отдельно, имеют место.

1. Диссертация написана грамотно, а иллюстрации информативны. Однако на рис. 1.3.1 (стр. 84) нет белой точки. Возможно, имеется ввиду красная? На рис. 3.3.11 легенда дана почему-то на английском, а не русском.
2. Стр. 40: утверждается, что для высокоскоростного двумерного PIV характерно использование расчетной области и области поиска со сторонами 32 на 32 пикселя, но это ничем не подтверждено. Например, в работе [Boiko, A., Dovgal, A., Hein, S., & Henning, A. (2011). Particle image velocimetry of a low-Reynolds-number separation bubble. *Experiments in Fluids*, 50(1), 13–21], как и во многих других, были успешно использованы области других размеров.
3. На стр. 49 отмечается, что при использовании планарного PIV в турбулентных потоках частицы могут выходить за плоскость светового ножа из-за наличия перпендикулярной ему компоненты скорости. Однако не обсуждается, насколько критична для качества получаемых результатов толщина светового ножа. Также автор предпочитает использовать слова «шире» и «уже» для ножа при описании проблемы измерения обратного пристенного течения на стр. 68. Следовало бы привести какие-то обоснованные количественные оценки его приемлемой толщины.
4. На стр. 70 упоминается возможность наличия теней и бликов на изображениях. Избавлялся ли автор от них в своих исследованиях и как?
5. На стр. 88 в начале раздела главы 2.2 формулируется цель главы как “иллюстрация влияния различных параметров эксперимента на погрешность измерения с использованием различных алгоритмов обработки PIV-изображений”. Это не совпадает с целями и задачами, сформулированными во введении. Почему?
6. На стр. 152 отмечается, что «...организаторы PIV Challenge 2008 ... не располагают точным решением этого теста, поэтому в данном подразделе придется ограничиться лишь качественными рассуждениями». Странно, что автор выбрал такой тест, для которого возможно только качественное сравнение. Чем это обосновано?
7. На стр. 182 отмечается, что при обработке полученных PIV-изображений по сравнению с рассмотренным ранее модельным течением настройки были изменены. Также в разделе 3.4 используется канал квадратного, а не прямоугольного сечения, как ранее. Почему?
8. На стр. 185 приводится формула для логарифмической части профиля продольной компоненты средней скорости в канале. Справедлива ли эта формула при отношении ширины к высоте канала равной 2? Насколько применение этой формулы важно для получаемых в разделе 3.3.2 выводов?

8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Таким образом, диссертация «Развитие высокопроизводительных панорамных методов диагностики и их приложение к исследованию интенсивных событий в турбулентном пограничном слое» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены результаты и сделаны выводы, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение в области теории турбулентности в пристенных сдвиговых течениях, соответствует требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, а ее автор Зарипов Динар Ильясович заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент

Член-корреспондент РАН

Доктор физико-математических наук

(01.02.05 — «Механика жидкости, газа и плазмы»)

Заведующий лабораторией физико-математического
моделирования неоднородных течений

ИТПМ СО РАН

+7 (383) 334 42 78, boiko@itam.nsc.ru, 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

21.02.2022

Подпись Бойко А.В. заверяю

У.о. ученого секретаря, к.ф.м.н.

Почтовый адрес: 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

Телефон: +7 (383) 334 42 78

Адрес электронной почты: admin@itam.nsc.ru

Адрес сайта: <http://www.itam.nsc.ru>

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского
отделения Российской академии наук. Сокращенное наименование института: ИТПМ СО РАН

Бойко Андрей Владиславович

