

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук Ершова Игоря Валерьевича на диссертацию Литвиненко Юрий Алексеевич «Экспериментальные исследования неустойчивости пограничного слоя, струйных течений и микроструйного горения», представленную 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 с развитием авиационно-космической техники. К числу возникающих при этом проблем относятся: задачи связанные с устойчивостью и турбулизацией пристенных (пограничные слои) и свободных сдвиговых (струи) течений, с необходимостью управления этими процессами. Решение этих задач во многом зависит от понимания механизма ламинарно-турбулентного перехода, влияние на который оказывают различные внутренние (восприимчивость течений, особенности профиля скорости потока) и внешние условия (акустический фон, температурный фактор). Отметим, что возможными выгодами от ламинаризации поверхности являются увеличение аэродинамического качества, уменьшение шума, увеличение дальности полета и грузоподъемности летательных аппаратов.

Диссертационная работа посвящена экспериментальным исследованиям устойчивости макро- и микроструйных течений. Представлены особенности в развитии струй в зависимости от изменений начальных и граничных условий на срезе сопла круглой и плоской макро- и микроструи. Проведена серия экспериментов по реализации микроструйного диффузионного горения пропана в зависимости от скорости истечения микроструи, конфигурации и размера выходного микросопла, а также исследование влияния внешнего акустического воздействия на этот процесс.

Отметим также, что в пользу актуальности диссертационной работы говорит и тот факт, что ранее часть ее материалов была опубликована в монографии

V.V. Kozlov, G.R. Grek, Yu.A. Litvinenko, Visualization of Conventional and Combusting Subsonic Jet Instabilities (Dordrecht: Springer Inter. Publ., 2016), которая насчитывает на сегодняшний день порядка 4500 скачиваний.

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

Во Введении диссертации обоснована актуальность и сформулирована цель исследований, указаны основные положения, которые выносятся на защиту, кратко изложено содержание диссертации. В первой главе представлен обзор теоретических и экспериментальных работ, посвященных исследованиям перехода течения в пристенных и струйных течениях к турбулентному режиму. Вторая глава диссертации посвящена методическим вопросам. В ней даны краткие характеристики аэродинамической трубы, макро- и микроструйных установок, на которых проводились эксперименты. Описана методика пространственно-временной термоанемометрической визуализации при проведении экспериментов в контролируемых условиях. Описаны методики синхронизированной лазерной визуализации струйных течений с использованием периодического сигнала с акустическим воздействием, PIV-измерений комплексом производства Сигма-Про и теневых исследований микроструйного горения с использованием теневого прибора ИАБ-451. В третьей главе изложены результаты экспериментальных и численных исследований нелинейных стадий ламинарно-турбулентного перехода, связанных с возникновением трехмерных структур типа Λ - или Ω -образных вихрей. В четвертой главе обсуждаются результаты исследований механизма турбулизации круглой макроструи с «ударным» профилем скорости на срезе сопла. В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований влияния начальных условий на срезе сопла на структуру и характеристики развития круглой и плоской макроструи. Шестая глава посвящена обсуждению экспериментальных исследований механизма возникновения и развития вихревых структур в свободной круглой струе и круглой струе, развивающейся в поперечном сдвиговом потоке. В седьмой главе анализируются экспериментальные исследования механизма развития плоских и круглых микроструйных тече-

ний при малых числах Рейнольдса во внешнем акустическом поле. В восьмой главе обсуждается экспериментальное изучение влияния начальных условий на срезе сопла и акустического воздействия на структуру и характеристики развития ламинарной и турбулентной круглой и плоской макро- и микроструй как с учетом горения, так и без него.

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

Достоверность результатов диссертации базируется на сопоставлении полученных в ней данных с экспериментальными и расчетными данными других авторов. **Научная и практическая значимость** исследований состоит в том, что впервые поэтапно и детально экспериментально изучена устойчивость круглых и плоских макроструйных течений, механизм развития и взаимодействия кольцевых вихрей с полосчатыми структурами, влияние граничных и начальных условий на эволюцию струй и акустического воздействия на них. Впервые экспериментально исследованы особенности влияния профиля скорости на срезе сопла и воздействия акустического сигнала на устойчивость и характеристики развития макро- и микроструй. Выявлены особенности диффузионного горения микроструй при воздействии внешнего акустического сигнала, приводящего к развитию бифуркации пламени. Экспериментальные данные, полученные в диссертационной работе, могут быть использованы для верификации методов расчета устойчивости и эволюции микроструйных течений. Выводы проведенных исследований позволяют дать рекомендации по разработке и совершенствованию микрорелочных устройств с более эффективными тепло- и массообменными характеристиками.

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

Представленная диссертация и автореферат Ю.А. Литвиненко 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

В автореферате и тексте диссертационной работы автор не приводит информации о своем личном вкладе в разработку рассматриваемой им научной проблемы, однако из личного общения с соискателем я сделал следующий вывод. Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановках задач, разработке методик измерений и проведении экспериментов, в обработке и интерпретации полученной информации, в подготовке материалов для научных публикаций и монографии.

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

Диссертация Ю.А. Литвиненко 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 и науки Российской Федерации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 65 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК в течение 2003 – 2020 годов, а также представлены в материалах 37 различных всероссийских и международных конференций по специальности диссертанта за тот же период.

7. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, высказать мнение о научной работе соискателя в целом

Содержание диссертации Ю.А. Литвиненко отражает и систематизирует объем проделанных диссертантом исследований, изложенных в его публикациях по разрабатываемой теме. Эти комплексные исследования включают в себя экспериментальную работу, обработку, анализ, обобщение и интерпретацию экспериментальных данных.

В диссертации содержится решение заявленных задач устойчивости макро- и микроструйных течений. Исследовано развитие струй в зависимости от изменений начальных и граничных условий на срезе сопла круглой и плоской макро- и микроструй. Проведены исследования микроструйного диффузионного горения пропана в зависимости от скорости истечения струи, конфигурации и размера выходного микросопла, изучено влияния внешнего акустического воздействия на данный процесс. Перечисленные результаты диссертации – новые, а работа имеет практическую значимость.

В диссертационной работе я не смог найти принципиальных недостатков, но, тем не менее, определенные, на мой взгляд, недочеты присутствуют.

1) Стр. 37 – При описании схемы шпирен-метода, которая приведена на рис. 2.12, автор не отметил в тексте, что под цифрой 5 на рис. 2.12 отмечен нож Фуко.

2) Стр. 42 – Автор пишет: *«В работах показано, что механизм воспроизводства турбулентности для различных пристенных переходных (гармонический и субгармонический типы классического перехода)... течениях...»*. Здесь следует привести ссылки на работы, в которых это показано.

3) Общее замечание к стр. 48, 71, 101-102, 125 – Автор пишет: *«Для расчета скорости использовался модифицированный закон Кинга: $U = k_1(E_2 - E_{02})^{1/n} + k_2(E - E_0)^{1/2}$, где E и E_0 – выходные напряжения термоанемометра при скорости потока и ее отсутствии; k_1 , k_2 и n – константы. Показатель экспоненты (n) обычно близок к 0,5, вторая константа (k_2) учитывает свободную конвекцию на стенке при малых скоростях потока»*. Однако в законе Кинга нет экспоненциальной функции, т.е. функции $e^{1/n}$ (или $\exp(1/n)$), а есть только показательные функции вида $y(x)=a^x$ с основанием $a \neq e$. Также на страницах 48, 71, 101-102, 125 при описании параметров k_1 и k_2 нигде в тексте не указаны значения, которые эти параметры могут принимать в тех или иных экспериментах.

4) Стр. 242 – На рис 8.18 показаны бифуркации пламени плоской микроструи при воздействии внешнего акустического воздействия при диффузионном горении пропана. Из представленных снимков видим, что факел пламени рас-

щепляется на два (крайний левый снимок) или три (второй слева снимок) «лепестка». Хотелось бы получить комментарии автора по поводу того, что определяет количество «лепестков» (2, 3 или больше), на которые расщепляется факел пламени при акустическом воздействии.

5) Хотелось бы получить комментарии автора по поводу того, будут ли наблюдаемые на рис. 8.10, 8.13, 8.14 и 8.18 картины расщепления факела пламени сохраняться, если в качестве горючего использовать, например, метан, водород или распыленное в атмосфере жидкое топливо (например, бензин). Каковы причины (химические, физические или гидродинамические факторы) различия или универсальности картин расщепления факела пламени.

6) Стр. 246 – Автор пишет: *«Соотношение смеси пропан (C_3H_8)/воздух составляло 37,2/62,8%, соответственно (коэффициент избытка топлива $\varphi = 14$). При меньшем коэффициенте избытка топлива восприимчивость струи к внешнему воздействию акустическим полем и влияние акустики на процесс горения было значительно слабее, а то и вовсе отсутствовало»*. Хотелось бы получить комментарии автора по поводу того, с чем может быть связано (с химическими, физическими или гидродинамическими факторами) ослабление или вообще отсутствие восприимчивости струи к внешнему акустическому воздействию при уменьшении коэффициента избытка топлива.

7) Общие замечания по тексту диссертации и автореферата следующие:

а) В автореферате и тексте диссертационной работы не приведена информация о личном вкладе соискателя в разработку рассматриваемой им научной проблемы.

б) В тексте диссертационной работы имеется ряд опечаток, например: стр. 13 «Дальнейшее из развитие приводит к лавинообразному росту...», стр. 34 «Такой подходе позволил не учитывать вклад погрешности...», стр. 40 «... в трехмерное образование, так называемую ⊗ -структуру ...», стр. 230 «... что положение фронта горения связано ...», стр. 249 «... счет вовлечения в процесс бó льшего количества...».

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

Диссертация Ю.А. Литвиненко является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретико-практические рекомендации, расширяющие возможности применения современных экспериментальных методов и методов обработки экспериментальных данных в изучении устойчивости макро- и микроструйных течений с учетом диффузионного горения и без него. Совокупность результатов работы можно квалифицировать как существенный вклад в области устойчивости макро- и микроструйных течений, что соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения исковой ученой степени.

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры математики и физики

Новосибирского государственного аграрного университета

Ершов Игорь Валерьевич

«29» сентября 2021г.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Кафедра математики и физики

630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160

Раб. тел.: 8 (383) 349-13-95 Моб. тел.: 8 (961) 847-44-19

E-mail: i_ershov@ngs.ru

URL: <https://sites.google.com/site/ivershov2011/>

Специальность: 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Председателю
диссертационного совета
Д 003035.02
академику В.М. Фомину

ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Я, Ершов Игорь Валерьевич, даю свое согласие выступить в качестве официального оппонента по диссертации Литвиненко Юрия Алексеевича на тему: «Экспериментальные исследования неустойчивости пограничного слоя, струйных течений и микроструйного горения» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

О себе сообщаю:

Ученая степень, отрасли науки	Доктор физико-математических наук
Научные специальности, по которым защищена диссертация	01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы
Ученое звание	доцент
Академическое звание	
Тел:	8 (383) 267-39-11
E-mail:	i_ershov@ngs.ru
Должность	профессор
Подразделение организации	Кафедра математики и физики
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный аграрный университет»
Ведомственная принадлежность организации	Министерство сельского хозяйства РФ
Адрес служебный: Почтовый индекс, город, улица, дом	630039, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160
Web-сайт организации.	https://nsau.edu.ru
Телефон организации.	8 (383) 267-38-11
E-mail организации.	rector@nsau.edu.ru

По теме рассматриваемой диссертации имею 150 научных работ, в том числе в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 работ):

№	Авторы	Название	Издательство, журнал, год, №, страницы	Вид, год
1	Grigoryev Yu.N., Ershov I.V.	Stability and Suppression of Turbulence in Relaxing Molecular Gas Flows	Springer International Publishing, Cham, Switzerland. 2017. 225 p	Монография, 2017
2	Григорьев Ю.Н., Ершов И.В.	Линейная устойчивость сверхзвукового течения Куэтта молекулярного газа в условиях вязкой стратификации и возбуждения колебательной моды	Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2017. № 1. С. 11-27.	Статья, 2017
3	Григорьев Ю.Н., Ершов И.В.	Линейная устойчивость сверхзвукового пограничного слоя релаксирующего газа на пластине	Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2019. № 3. С. 3-15.	Статья, 2019
4	Григорьев Ю.Н., Ершов И.В.	Асимптотическая оценка устойчивости сверхзвукового пограничного слоя в колебательно возбужденном газе на пластине	Прикладная математика и механика. 2019. Т. 83, № 5-6. С. 749-769	Статья, 2019
5	Grigoryev Yu.N., Ershov I.V.	Linear stability of a supersonic boundary layer on a plate under conditions of vibrational excitation and of viscous stratification	Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1268. P. 012021.	Статья, 2019
6	Григорьев Ю.Н., Горобчук А.Г., Ершов И.В.	Расчеты сверхзвукового пограничного слоя в полной и локально автомодельной постановках	Вычислительные технологии. 2020. Т. 25, № 2. С. 50-62.	Статья, 2020
7	Grigoryev Yu.N., Ershov I.V.	Influence of vibration excitation on the zone of laminar-turbulent transition on a plate	Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1666. P. 012015.	Статья, 2020
8	Grigoryev Yu.N., Ershov I.V.	Estimates of stability characteristics of boundary layer on a plate under conditions of vibrational excitation of a gas	AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2228. P. 020013.	Статья, 2020
9	Григорьев Ю.Н., Горобчук А.Г., Ершов И.В.	Сходимость локально автомодельных решений к точным численным решениям уравнений пограничного слоя на пластине	Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2021. № 71. С. 49-62.	Статья, 2021
10	Григорьев Ю.Н., Ершов И.В.	Влияние колебательного возбуждения газа на положение зоны ламинарно-турбулентного перехода на пластине	Прикладная механика и техническая физика. 2021. Т. 62, № 1. С. 14-21.	Статья, 2021

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

/Ершов И.В./

«19» июля 2021г.

отдела кадров
Конова И.И.