

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Литвиненко Юрия Алексеевича «Экспериментальные исследования неустойчивости пограничного слоя, струйных течений и микроструйного горения», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа Литвиненко Юрия Алексеевича главным образом посвящена экспериментальным исследованиям развития волн неустойчивости в пограничных и сдвиговых слоях при акустическом возбуждении. Представленные исследования показывают характерные этапы развития неустойчивости при различных начальных условиях и внешнем воздействии.

Во введении дано обоснование актуальности исследований, особенности выбранных методических подходов, сформулированы цели и задачи, кратко изложено содержание диссертации, а также наиболее важные научные результаты, выносимые на защиту.

В Гл.1 приводится обзор теоретических и экспериментальных исследований связанных с развитием локализованных возмущений, развитием неустойчивости струйных и микроструйных течений, а также микроструйного диффузионного горения. Более детально эти вопросы рассмотрены в каждой из глав, в которых представлены конкретные результаты исследований.

В Гл.2 приводится описание использованного оборудования и методик. Исследования проводились на различных экспериментальных стендах и трубах, в том числе зарубежных. Широкий спектр использованных методик подтверждает достоверность полученных результатов. Автор представил и использовал усовершенствованную методику термоанемометрических измерений, которая позволила наблюдать развитие процесса бифуркации на ранних стадиях и помогла обнаружить ряд особенностей. В частности развитие так называемой переходной области со спиральной неустойчивостью Гл.7. Также были получены мгновенные поля скоростей с использованием методики PIV. Для исследований при наличии процессов горения используется шпирен-метод метод обнаружения неоднородностей.

Для низкоскоростных струй характерно быстрое развитие неустойчивости, переходящей в нелинейную стадию с генерацией крупных периодических вихрей. В тоже время необходимо понимать, что процесс развития волн неустойчивости в ближнем поле струи, в целом, одинаков как для низкоскоростных струй, так и для высокоскоростных струй. Что делает объект исследований еще более актуальным. Как правило, развитие неустойчивости происходит с начальными условиями в виде цилиндрического профиля скорости, который формируется на конфузорных или коротких соплах. Затем происходит резкий рост амплитуды волны и переход к нелинейной стадии развития с образованием осесимметричных вихрей Кельвина-Гельмгольца. Исследования, описывающие этот процесс представлены в Гл.4. Между тем на практике начальные условия при истечении струй могут отличаться, и в этом случае необходимо понимать, как повлияет изменение длины сопла на развитие струи. Такие исследования до сих пор выполнялись, как правило, для конкретной конфигурации задачи, без обобщения и анализа характерных свойств течения и их отличий. В Гл.5 и Гл.6 соискатель представил, результаты исследований которые описывают влияние начальных условий на срезе сопла на структуру струйного течения. Особенно ценно, что исследования систематизированы и проводятся поэтапно, что позволяет четко проследить связь параметров и условий, а также провести сравнение. Учитывая активный процесс миниатюризации технических устройств, растет актуальность исследований микроструйных течений. В диссертации этим исследованиям посвящены Гл.7 и Гл.8. В течение долгого времени процессы горения были центром внимания только химической науки. Однако горение также включает в себя физические явления, такие как теплопередача и массоперенос, генерация и эволюция когерентных вихревых структур и т.д. При этом, как химические, так и физические особенности процессов горения необходимо рассматривать совместно. Например, процесс непосредственного воспламенения гомогенной газовой смеси - химическая реакция; однако, различные действительно наблюдаемые особенности самопроизвольного воспламенения вызваны физическими явлениями. Основные физические аспекты диффузионного горения и развития пламени связаны с процессами диффузии и смешения. Кроме того, важными факторами в процессе горения являются акустические эффекты. Как известно, когерентные вихревые структуры очень восприимчивы к акустическим возмущениям. Следовательно,

искусственные возмущения могут использоваться для значительного изменения и даже управления эволюцией струй. С другой стороны, акустические волны обычно вовлекаются в процессы горения, воздействуя на фронт пламени. В поднятых струйных пламенах акустические волны могут быть использованы для снижения выбросов загрязнителей и эмиссии  $\text{NO}_x$ . Также проведены исследования раздвоения (бифуркации) пламени под воздействием внешнего акустического сигнала при струйном горении метана. Механизм бифуркации был предварительно исследован на примере воздушной круглой микроструи и описан в Гл. 7.

В заключении диссертационной работы представлены выводы. Обоснованность выводов не вызывает сомнений и противоречий с физической точки зрения.

После прочтения диссертации возникли следующие замечания:

1. Обзор работ, представленный во Введении и Гл.1 диссертационной работы не в полной мере отражает исследования, выполненные ранее по струйной тематике другими научными группами.
2. Каким образом производились измерения величины акустического давления?
3. Не вполне ясно, каким образом диагностировано наличие спиральной неустойчивости микроструи, если автор проводит измерения однопточным термоанемометром?

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку работы.

### **Заключение**

Диссертационная работа Ю.А. Литвиненко «Экспериментальные исследования неустойчивости пограничного слоя, струйных течений и микроструйного горения», представленная на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» является законченной научной работой, выполненной на высоком научном уровне. Результаты работы широко опубликованы. Основные положения диссертационной работы отражены в рецензируемых российских и международных научных журналах, рекомендованных ВАК (60 публикаций) и трудах конференций (37 публикаций). Автореферат полно и правильно отражает содержание и суть диссертационной работы. Диссертационная работа полностью соответствует паспорту специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» и соответствует всем критериям «Положения о порядке

присуждения ученых степеней» предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор Литвиненко Юрий Алексеевич заслуживает присуждения ему искомой степени.

Официальный оппонент

Д.ф.-м.н., профессор

В.Ф. Копьев

15 сентября 2021 г.

Сведения о составителе отзыва:

Виктор Феликсович Копьев, доктор физико-математических наук, профессор; почтовый адрес: 140180, г. Жуковский, ул. Жуковского 1; адрес электронной почты: [vkopiev@mktsagi.ru](mailto:vkopiev@mktsagi.ru); наименование организации: Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ЦАГИ); должность: начальник отделения

Подпись Копьева В.Ф. заверяю:

Заместитель начальника комплекса по организационно-административному управлению НИМК ЦАГИ

Дзёма

Адрес организации: 140180, г. Жуковский, ул. Жуковского 1, тел.: 8(903) 668 07 29

обл., ул.

Председателю  
диссертационного совета  
Д 003035.02  
академику В.М. Фомину

## ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Я, **Копьев Виктор Феликсович**, 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, отрасль науки	Доктор физико-математических наук
Научные специальности, по которым защищена диссертация	01.02.05 механика жидкости, газа и плазмы
Ученое звание	Профессор
Академическое звание	
Тел:	8 (903) 668 07 29
E-mail:	vkopiev@mktsagi.ru
Должность	Начальник отделения
Подразделение	НИО-9
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»
Ведомственная принадлежность орг.	Министерство промышленности и торговли РФ
Адрес служебный: почтовый индекс, город, улица, дом	140180, Российская Федерация, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, 1
Web-сайт организации	<a href="http://www.tsagi.ru/">http://www.tsagi.ru/</a>
Телефон организации	8 (495) 556-42-05
E-mail организации	info@tsagi.ru

По теме рассматриваемой диссертации имею 95 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	Копьев В.Ф., Чернышев С.А.	Об использовании методов лагранжевой механики для анализа баланса энергии в вихревых течениях сжимаемого газа	Акустический журнал. -2021, - Т.67, №1, -С. 98-160.	Статья, 2021
2	Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Юдин М.А.	Неустойчивость цилиндра в циркулярном потоке несжимаемой идеальной жидкости	Прикладная математика и механика. -2017, -Т.81, №2. -С. 216-229	Статья, 2017
3	Акиншин Р.В., Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Юдин М.А.	Стационарное вихревое кольцо с изохорным течением в вихревом ядре	Механика жидкости и газа. -2018, № 2. -С. 50-61.	Статья, 2018
4	Копьев В.Ф., Казанский П.Н., Копьев В.А., Моралиев И.А., Зайцев М.Ю.	HF DBD Plasma Actuators for Reduction of Cylinder Noise in Flow	Journal of Physics D: Applied Physics. -2017, - Т.47, №50. - С. 475204	Статья, 2017
5	Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Акиншин Р.В., Юдин М.А.	The study of stationary flow in the core of thin vortex ring	Journal of Physics: Conference Series. - 2017, №894. - С.012122.	Статья, 2017
6	Копьев В.Ф., Зайцев М., Ахметов Д., Никулин В.	Aerodynamic Noise Generated by Large-Scale Vortex Ring	25h International Congress on Sound and Vibration. -2018, №1493-1501	Тезисы, 2018
7	Беляев И.В., Бычков О.П., Зайцев М.Ю., Копьев В.А., Копьев В.Ф., Остриков Н.Н., Фараносов Г.А., Чернышев С.А.	Разработка стратегии активного управления волнами неустойчивости в невозбужденных турбулентных струях	Механика жидкости и газа. -2018, №3. -С. 14-27	Статья, 2018
8	Копьев В.Ф., Чернышев С.А.	Методы лагранжевой и гамильтоновой механики в задачах аэроакустики	Акустический журнал. -2018, - Т.64, №6. С. 692-703.	Статья, 2018
9	Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Акиншин Р.В., Юдин М.А.	Базисные деформации в задаче о возмущениях ядра тонкого изохорного вихревого кольца	Механика жидкости и газа. -2018, №6. -С. 52-63	Статья, 2018
10	Копьев В.Ф., Храмцов И.В.,	Параметрическое исследование шума	Акустический журнал. -2018, -	Статья, 2018

	Зайцев М.Ю., Черенкова Е.С., Кустов О.Ю., Пальчиковский В.В.	вихревых колец различного диаметра	Т.64, №4. С. 499-507.	
11	Копьев В.Ф., Храмцов И.В., Ершов В.В., Пальчиковский В.В.	О возможности использования единичной временной реализации для исследования шума вихревых колец	Акустический журнал. -2019, - Т.65, №1. С. 49-58.	Статья, 2019
12	Копьев В.Ф., Храмцов И.В., Пальчиковский В.В.	Исследования частоты пика в шуме турбулентного вихревого кольца	Акустический журнал. -2019, - Т.65, №3. С. 353-361.	Статья, 2019
13	Бычков О.П., Фараносов Г., Копьев В.Ф., Копьев В.А., Беляев И.В., Моралев И.А., Казанский П.Н.	Plasma-based active closed-loop control of instability waves in unexcited turbulent jet. Part 1. Free jet.	Proceedings of 25h AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference. 2019, -№2019-2557	Тезисы, 2019
14	Копьев В.Ф., Чернышев С.А.	Low frequency correlation theory of noise sources in subsonic turbulent jet	Proceedings of 25h AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference. 2019, -№2019-2568.	Тезисы, 2019
15	Копьев В.Ф., Чернышев С.А.	Лагранжев формализм в задачах о малых колебаниях вихревых течений и его связь с вариационным принципом для идеальной несжимаемой гидродинамики вихревых нитей	Океанологическое исследование. 2019, -Т47, №1. – С. 74-77.	Статья, 2019

Не являюсь членом экспертного совета ВАК.

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

Дата 30 июня 2021г.

Подпи

сьев В.Ф./

Подпись Копьева Виктора Феликсовича заверяю:

Заместитель начальника комплекса по организационному управлению НИМК ЦАГИ

ративному

М. Дзема