

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук Ершова Игоря Валерьевича на диссертацию Тамбовцева Александра Сергеевича «Исследование сценариев диффузионного горения микроструй водорода при их взаимодействии», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы

1. Оценка актуальности темы диссертационного исследования

Актуальность темы связана с широким распространением микрогорелочных устройств, которые применяются в сфере производства тепла, электроэнергии, освещения, получения различных веществ и материалов. Такие устройства по сравнению с крупномасштабными горелочными установками более безопасны, а также позволяют легко управлять режимами их работы. Кроме того, путем изменения числа микрогорелок в устройстве можно легко масштабировать процесс в целом. Использование в качестве горючего водорода обусловлено экологичностью и тем фактом, что водород демонстрирует наилучшие характеристики по стабилизации и скорости отрыва пламени в сравнении с углеводородными видами топлива.

Диссертация посвящена экспериментальному исследованию:

1. диффузионного горения одиночных микроструй водорода, истекающих в затопленное пространство на до- и сверхзвуковых скоростях;
2. диффузионного горения микроструй водорода при их истечении из сопловых аппаратов, обеспечивающих соосную подачу воздуха с до- и сверхзвуковыми скоростями;
3. диффузионного горения двух одиночных взаимодействующих микроструй.

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

Во Введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи диссертации, научная новизна и практическая значимость результатов работы, основные положения, выносимые на защиту, кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе приводится анализ современного состояния исследований, посвященных свободным макро- и микроструйным течениям, макро- и микроструйным течениям в процессе диффузионного горения, процессов диффузионного горения водорода при его истечении из микросопел. Собраны результаты работ по экспериментальному и численному исследованию вопроса.

Во второй главе представлены исследования диффузионного горения одиночной микроструи водорода, истекающей в затопленное воздушное пространство. В экспериментах использовалось сопло, представляющее собой тонкостенную металлическую трубку. Представлено описание экспериментальной установки, на которой проводилось исследование диффузионного горения одиночной микроструи водорода, визуализация проводилась с помощью теневого метода. Изложены результаты проведенного экспериментального исследования, обнаружены основные сценарии диффузионного горения и проведено сравнение с результатами, полученными в предыдущих работах.

В третьей главе экспериментально исследуется диффузионное горение микроструи водорода, истекающей из соплового аппарата, обеспечивающего одновременную подачу воздуха из соосно расположенного кольцевого сопла таким образом, что потоки смешиваются только на выходе из соплового аппарата. Приведено описание экспериментальной установки, изложены результаты проведенного экспериментального исследования, обнаружены основные сценарии процесса и показан полезный практический эффект, позволяющий дополнительно стабилизировать процесс диффузионного горения при воздействии потока агрессивной среды, не поддерживающей горение на примере потока водяного пара.

В четвертой главе экспериментально исследуются особенности горения спутной струи водорода в присутствии соосного потока воздуха, истекающей с

дозвуковой и сверхзвуковой скоростью, о чем свидетельствует наличие сверхзвуковых ячеек в течении. В экспериментах используется тот же сопловой аппарат, обеспечивающий независимую подачу газов, что и в третьей главе, при этом изменен способ подачи водорода и воздуха. Воздух подается через круглое микросопло, водорода подается через соосно расположенное кольцевое сопло. Представлено описание экспериментальной установки, на которой проводилось исследование, изложены результаты проведенного экспериментального исследования, выявлены основные сценарии процесса, сделаны соответствующие выводы. Обнаружен эффект запирания процесса горения сверхзвуковой струей воздуха в узкой области вблизи среза сопла.

Пятая глава посвящена исследованиям взаимодействия двух одиночных микроструй водорода в процессе диффузионного горения. Определены основные условия взаимодействия одиночных микроструй водорода, ориентированных под углом, друг относительно друга, в процессе диффузионного горения. Представлено описание экспериментальной установки, на которой проводилось исследование, изложены результаты проведенного экспериментального исследования, сделаны соответствующие выводы.

В Заключении сформулированы основные результаты работы.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключения и Списка литературы, включающего 32 наименования. Материал изложен на 105 страницах, содержит 63 рисунка и 3 таблицы.

Обоснованность результатов диссертации обеспечивается тем, что при решении поставленных задач А.С. Тамбовцева использовал современные и проверенные измерительные приборы, аппаратные и программные средства обработки экспериментальных данных, сопоставление и согласование полученных результатов с известными в литературе данными и экспериментами других исследовательских групп.

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

Достоверность результатов обеспечивается сопоставлением и согласованием полученных результатов с известными в литературе данными и экспериментами других исследовательских групп.

Научная новизна полученных результатов определяется следующим. Впервые экспериментально показана возможность стабилизации процесса диффузионного горения микроструи водорода соосным потоком воздуха, истекающим из соосно расположенной кольцевой щели, и обнаружен полезный эффект позволяющий поддерживать горение при воздействии на процесс диффузионного горения потока агрессивной среды на примере водяного пара. Обнаружены основные сценарии диффузионного горения микроструи водорода, истекающей из кольцевого сопла. Отметить, что впервые обнаружен эффект «запирания» процесса горения в узкой области конусовидной формы вблизи среза сопла при взаимодействии водорода, истекающего из кольцевого сопла, со сверхзвуковой струей воздуха, истекающей из соосно расположенного микросопла. Экспериментально показаны условия и особенности взаимодействия двух одиночных микроструй водорода, ориентированных под углом друг к другу, в процессе диффузионного горения.

Научная и практическая значимость работы определяется тем, что полученные экспериментальные данные, открывающие новые способы стабилизации процесса диффузионного горения микроструи водорода, что позволяет использовать полученные данные при создании горелочных устройств различного вида.

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

Представленная диссертация и автореферат А.С. Тамбовцева соответствует установленным требованиям к специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы, а полученные результаты поставленным целям 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 приводит информацию о своем личном вкладе в разработку рассматриваемой им научной проблемы. Все основные результаты работы получены при участии автора. При выполнении работ по теме диссертации, опубликованных совместно с научным руководителем и другими соавторами, диссертант принимал участие в выполнении тестовых опытов и основной программы экспериментов; проведении обработки и анализа результатов экспериментов; формулировке выводов; написании научных статей.

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

Диссертация А. С. Тамбовцева содержит совокупность новых научных результатов и положений в соответствии с заявленными целью и задачами и отражает внутреннее единство. Оформление работы соответствует требованиям, установленным Министерством образования и науки Российской Федерации. Результаты диссертации в полной мере отражены в публикациях автора. Всего по теме диссертации с 2018 по 2023 годы представлено 9 публикаций, из которых 6 входят в рецензируемые научные журналы из перечня ВАК. Кроме того результаты диссертации представлены в материалах 9 различных всероссийских и международных конференций по специальности диссертанта за тот же период времени.

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

Содержание диссертации А.С Тамбовцева отражает и систематизирует объем проделанных диссертантом исследований, изложенных в его публикациях по разрабатываемой теме. Эти комплексные исследования включают в себя изучение режимов как одиночной микроструи водорода, так и диффузионного горения водорода при его истечении из сопел различной конфигурации, обеспечивающих соосную подачу воздушного потока, а также взаимодействующих микро-

струй водорода. Поставленные задачи по исследованию сценариев диффузионного горения выполнены. Перечисленные результаты диссертации – новые, а работа имеет практическую значимость.

В представленной работе я не смог найти принципиальных недостатков. Тем не менее, определенные, на мой взгляд, недочеты присутствуют.

1) Автор в работе использует тепловизор для получения картин процесса горения водорода. При этом не совсем ясно на сколько корректно использовать такой прибор для исследования процесса горения?

2) Стр. 57, Глава 2 – «Из таблицы 2 видно, что существующие сценарии диффузионного горения для микроструй диаметром 200 – 500 мкм ...» При этом в тексте диссертации представлены лишь результаты экспериментов для диаметра сопла $d = 200$ мкм, а в работе [27], на которую ссылается автор, $d = 500$ мкм. Поэтому считаем, что здесь не корректно указывать диапазон изменения d .

3) В Главах 2 и 5 при обсуждении результатов автор вводит число Рейнольдса, построенное по диаметру сопла d (см. стр. 57). При этом нигде в тексте автор не приводит значение кинематической вязкости водорода $\nu = \eta/\rho$, которое принималось им в расчетах Re_d (притом, что давление газа в канале сопла существенно выше атмосферного и температура газа на срезе сопла достаточно высокая), и совпадает ли оно с данными из работы [27]?

4) В диссертации присутствуют орфографические ошибки, в частности:

- Стр. 102 – «Проведено исследование взаимодействия микроструй водорода и показано...»;
- Стр. 99 – «...микроструи пересекаются как в случае присоединенного вакела...»;
- Стр. 97 – «...в резльтирующем факеле...»

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

Таким образом, диссертационная работа А.С Тамбовцева является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Результаты работы широко опубликованы. Основные положения диссертацион-

ной работы отражены в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК. 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 диссертациям на соискание степени кандидата физико-математических наук, а ее автор А.С. Тамбовцев заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры математики и физики
Новосибирского государственного аграрного университета

Ершов Игорь Валерьевич

«25» января 2024г.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Кафедра математики и физики

630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160

Раб. тел.: 8 (383) 267-39-11; Моб. тел.: 8 (961) 847-44-19

E-mail: ivershov1969@gmail.com

Специальность: 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Подпись Ершова Игоря Валерьевича заве

Начальник отдела кадров
(должность)

(подп

Игоря Валерьевича
(И.О.)

Председателю
диссертационного совета
24.1.125.01 (Д 003035.02)
академику В.М. Фомину

ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОППОНЕНТА

Я, **Ершов Игорь Валерьевич**, даю свое согласие выступить в качестве оппонента по диссертации Тамбовцева Александра Сергеевича на тему: Исследование сценариев диффузионного горения микроструй водорода при их взаимодействии на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – 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	Профессор
Академическое звание	без
Тел:	+7 (961) 847-44-19,
E-mail:	ivershov1969@gmail.com
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 орг.	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Адрес служебный: Почтовый индекс, город, улица, дом	630039, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160
Web-сайт организации.	https://nsau.edu.ru
Телефон организации.	+7 (383) 267-36-22
E-mail организации.	rector@nsau.edu.ru

По теме рассматриваемой диссертации имею 11 научных работ, в том числе в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 работ):

№	Авторы	Название статьи, журнал, год, том, №, страницы
1	Григорьев Ю.Н., Ершов И.В.	Необходимые условия развития невязких неустойчивостей в колебательно-возбужденном диссоциирующем газе // Прикл. матем. и механика (2023). Т. 87, № 3. С. 409–422.
2	Grigoryev Yu.N., Gorobchuk A.G., Ershov I.V.	Two approaches to modeling the boundary layer of the vibrationally nonequilibrium dissociating diatomic gas // AIP Conf. Proc. (2023). Vol. 2504. P. 030080.
3	Григорьев Ю.Н., Горобчук А.Г., Ершов И.В.	Модель пограничного слоя колебательно возбужденного диссоциирующего газа // Теплофизика и аэромеханика (2021). Т. 28, № 5. С. 667-689.
4	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.
5	Григорьев Ю.Н., Горобчук А.Г., Ершов И.В.	Сходимость локально автомодельных решений к точным численным решениям уравнений пограничного слоя на пластине // Вестн. Томск. гос. ун-та. Матем. и мех. (2021). № 71. С. 49-62.
6	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 Conf. Proc. (2020). Vol. 2228. P. 020013.
7	Grigoryev Yu.N., Ershov I.V.	Influence of vibration excitation on the zone of laminar-turbulent transition on a plate // J. Phys.: Conf. Ser. (2020). Vol. 1666. P. 012015.
8	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.
9	Григорьев Ю.Н., Ершов И.В.	Асимптотическая оценка устойчивости сверхзвукового пограничного слоя в колебательно возбужденном газе на пластине // Прикл. матем. и механика (2019). Т. 83, № 5–6. С. 749–769.
10	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 // J. Phys.: Conf. Ser. (2019). Vol. 1268. P. 012021.
11	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.

Не являюсь членом экспертного совета ВАК.

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

«15» декабря 2023г.

Ершов