

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.125.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ ИМ. С. А.
ХРИСТИАНОВИЧА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.03.2024 № 6

О присуждении Тамбовцеву Александру Сергеевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование сценариев диффузионного горения микроструй водорода при их взаимодействии» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

принята к защите 8 декабря 2023 г. (протокол заседания № 22) диссертационным советом 24.1.125.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИТПМ СО РАН), ул. Институтская, 4/1, Новосибирск, 630090, утверждённым приказом Рособнадзора от 16.11.2007 г. №2249-1603 и продлением срока полномочий приказом Минобрнауки России от 10.09.2009 г. (№591925-1734), подтверждением полномочий от 11.04.2012 г. (№105/нк) и изменениями от 08.06.2016 г. (№661/нк), от 3.08.2018 г. (№59/нк) и от 12.09.2022 г. (№1215/нк).

Соискатель Тамбовцев Александр Сергеевич, 02.10.1996 года рождения, в 2020 году окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирского национального исследовательского государственного университета» (НГУ) по направлению подготовки 03.04.02 «Физика». На момент защиты диссертации обучается в аспирантуре ФГБУН ИТПМ СО РАН по направлению подготовки 1.1.9. Механика жидкости газа и плазмы; работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории аэрофизических

исследований дозвуковых течений и в лаборатории физики плазменноточковых и лазерных процессов ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории аэрофизических исследований дозвуковых течений ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Научный руководитель:

Доктор физико-математических наук, профессор **Козлов Виктор Владимирович**, заведующий лабораторией аэрофизических исследований дозвуковых течений ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук **Ершов Игорь Валерьевич**, профессор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирского государственного аграрного университета»

Доктор физико-математических наук **Копьёв Виктор Феликсович**, начальник отделения федерального государственного бюджетного учреждения «Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН в своем положительном отзыве, подписанном, доктором физико-математических наук, профессором РАН Дулиным Владимиром Михайловичем, заведующим лабораторией физических основ энергетических технологий ФГБУН Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

указала, что «что диссертация является законченным научным трудом, соответствует паспорту специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы и удовлетворяет требованиям, установленным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, ред. от 26.10.2023 г. №1786 «О порядке присуждения учёных степеней».

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, 3 из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК по данной специальности, 6 в журналах из перечня ВАК по другим специальностям. В диссертации недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах не содержится.

Наиболее значимые результаты изложены в публикациях:

1. Козлов В.В., Литвиненко М.В., Литвиненко Ю.А., Тамбовцев А.С., Шмаков А.Г. Исследование режимов диффузионного горения микроструи водорода // Сибирский физический журнал. – 2022. – Т. 17, № 3. – С. 12 – 21.

2. Kozlov V. V., Litvinenko M. V., Litvinenko Yu. A., Pavlenko A. M., Tambovtsev A. S., Shmakov A. G. Combustion of Round Hydrogen Microjet in Concurrent Flow// Journal of Engineering Thermophysics. – 2021. – Vol. 30, No. 2. – P. 213 – 224.

3. Козлов В.В., Грек Г.Р., Литвиненко М.В., Литвиненко Ю.А., Тамбовцев А.С., Шмаков А.Г. Диффузионное горение микроструи водорода в спутной струе воздуха // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. – 2021. – Т. 496, № 1. – С. 9 – 13.

4. Козлов В.В., Литвиненко М.В., Литвиненко Ю.А., Тамбовцев А.С., Шмаков А.Г. Диффузионное горение при взаимодействии сверхзвуковой круглой микроструи воздуха с коаксиальной (спутной) струей водорода // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. – 2021. – Т. 496, № 1. – С. 14 – 18.

В [1] экспериментально изучаются сценарии диффузионного горения круглой микроструи водорода, истекающей из цилиндрического тонкостенного микросопла диаметром 200 мкм при поджигании вблизи и на расстоянии от среза сопла. Полученные экспериментальные данные сравниваются с ранее полученными; результаты выражены в безразмерных числах Рейнольдса. Показан гистерезис процесса диффузионного горения круглых микроструй водорода в зависимости от способа поджигания и от изменения скорости истечения микроструи.

В [2], [3] представлены результаты экспериментальных исследований горения микроструи водорода в спутной дозвуковой коаксиальной струе воздуха. Показано, что сценарий горения при дозвуковом истечении струи водорода связан с наличием «области перетяжки пламени».

В [4] представлены результаты экспериментальных исследований особенностей диффузионного горения при взаимодействии круглой сверхзвуковой микроструи воздуха с коаксиальной струей водорода. Установлено, что такое горение сопровождается целым рядом новых явлений: образованием конусообразной формы

пламени близи среза сопла, наличием мелкомасштабных сверхзвуковых ячеек в результирующем потоке.

На диссертацию поступили отзывы:

Официального оппонента д.ф.-м.н. Копьёва В.Ф. Указано, что диссертация является законченной научной работой, выполненной на высоком научном уровне, выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК РФ к кандидатским диссертациям.

Замечания:

1. Обзор работ, представленный во Введении и Гл.1 диссертационной работы не в полной мере отражает исследования, выполненные ранее по тематике струйного горения водорода, выполненные другими научными группами.
2. В диссертации представлено множество иллюстраций. В тоже время некоторые из них не имеют масштабных шкал (например рисунок 40, 41 из главы III, рисунки 60, 61 из главы V), что затрудняет восприятие материала.

Официального оппонента д.ф.-м.н. Ершова И.В. Отмечается, что диссертация отражает и систематизирует объем проделанных диссертантом исследований, которые включают в себя изучение режимов как одиночной микроструи водорода, так и диффузионного горения водорода при его истечении из сопел различной конфигурации. Перечисленные результаты диссертации новые, а работа имеет практическую значимость. Диссертация является законченным научным трудом, выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК РФ к диссертациям на соискание степени кандидата наук.

Замечания:

1. Автор в работе использует тепловизор для получения картин процесса горения водорода. При этом не совсем ясно, насколько корректно использовать такой прибор для исследования процесса горения?
2. Ссылаясь на таблицу 2, автор говорит о существовании сценариев горения для микросопел с внутренними диаметрами $d = 200 - 500$ 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 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 вавела...»; Стр. 97 - «...в резкльтивирующем факеле...»

На автореферат поступили отзывы:

- Д.х.н. **Шмакова А.Г.** (ФГБУН Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН).

Отзыв положительный. Замечания:

1. На некоторых теневых фотографиях отсутствует масштабная шкала, что затрудняет восприятие материала.

2. В тексте отсутствует ссылка на рисунок 25. Вместо нее ошибочно указана ссылка на рисунок 24.

- Д.т.н., профессора **Саленко С.Д.**, к.ф.-м.н., доцента **Гостеева Ю.А.**, к.т.н **Телковой Ю.В.** (ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»).

Отзыв положительный. Замечания:

1. К сожалению, в результатах исследования практически отсутствуют количественные характеристики.

2. Одной из основных количественных характеристик диффузионного горения является высота факела L . В литературе известны оценки высоты факела при диффузионном горении струй водорода вида $L/d \sim Re^n$. Как обстоит дело для исследуемых автором «микроструй»?

3. Не ясен классифицирующий признак «микроструй»: диаметр сопла или что-то другое? Отметим, что имеются литературные данные о диффузионном горении струй с диаметром $d \geq 1$ мм, которое не прекращалось при увеличении числа Рейнольдса (во всяком случае, до $Re \sim 50000$).

4. Чем вызван переход в III-й и IV-й главах к значительно меньшим скоростям истечения водорода (по сравнению с главой II)? Каков при этом был диапазон относительного расхода воздуха $G_{\text{воздух}}/G_{\text{водород}}$?

5. Из текста и надписи к рис. 19 не ясно, какими условиями отличаются между собой случаи невзаимодействующих (а) и взаимодействующих (б) пламен.

6. В автореферате пропуск запятых носит массовый характер, имеются ошибочные окончания слов и другие небрежности. Особенно досадно, что от подобных ошибок серьезно пострадало Заключение.

- Д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН **Якуша С. Е.** (ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН).

Отзыв положительный. Замечания:

1. Не совсем понятно, при каких соотношениях скоростей водород/воздух справедливы выводы, сделанные по четвертой главе. Следовало бы дополнить эту информацию экспериментально полученными данными.

2. Теневые фотографии процесса горения и фотографии, полученные с помощью тепловизора, в четвертой главе получены при различных параметрах истечения, что затрудняет или даже делает невозможным их сопоставление. Было бы интересно получить такие фотографии при одинаковых условиях и наложить их для выявления положения зоны горения в водородном пламени по отношению к горячей струе продуктов горения.

3. Отсутствие на некоторых теневых фотографиях масштабных шкал также затрудняет восприятие материала и сопоставление экспериментальных результатов. 4. В тексте автореферата имеются отдельные опечатки (см., например, предпоследний вывод на стр. 22).

- Д.ф.-м.н., профессора **Рудяка В.Я.** (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (СибСТРИН)).

Отзыв положительный. Замечания:

Общим недостатком автореферата является отсутствие попытки объяснить наблюдаемые экспериментально факты. Кроме того, из автореферата не ясно, как определялась скорость истечения, и какая скорость фиксируется в числе Рейнольдса. Не очень ясна цель приведения таблицы 1. Наконец стоит отметить, что поскольку горение

действительно диффузионное, было бы важно понимать контролировалась ли температура, при которой выполнялся эксперимент. Существенное изменение температуры может значительно изменить скорость горения и соответствующие сценарии. К сожалению, имеются и многочисленные погрешности редакторского свойства: опечатки, отсутствие в ряде случаев пунктуации, на стр. 9 есть ссылка на рис. 37 и работу [27], которых в автореферате нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации. Основными направлениями научной деятельности Института теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН являются теплофизические основы создания нового поколения энергетических и энергосберегающих технологий и установок, теория тепло- и массообмена, физическая гидрогазодинамика, теплофизические аспекты водородной энергетики, поэтому организация может дать полноценную экспертизу научной и практической значимости результатов работы. Официальный оппонент д.ф.-м.н. Копьев В.Ф. – ведущий специалист России в области аэроакустики. Им создано новое научное направление, основанное на глубоких теоретических исследованиях механизмов генерации шума и опирающееся на постановку уникальных физических экспериментов с локализованными вихрями, дозвуковыми и сверхзвуковыми струями, отрывными течениями. Официальный оппонент д.ф.-м.н., доцент Ершов И.В. – признанный специалист в области исследований гидродинамической устойчивости и турбулентности, кинетической теории газов, физико-химических процессов и математического моделирования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

экспериментально получены сценарии диффузионного горения одиночной микроструи водорода в зависимости от скорости истечения и способа воспламенения; результаты систематизированы и выражены в безразмерных числах Рейнольдса; **экспериментально обнаружены** сценарии диффузионного горения микроструи водорода, окруженной соосным потоком воздуха. Впервые показана возможность стабилизации процесса диффузионного горения микроструи водорода соосным потоком воздуха, истекающим из соосно расположенной кольцевой щели; обнаружен полезный

эффект, позволяющий поддерживать горение водорода при воздействии потока водяного пара;

экспериментально обнаружены сценарии диффузионного горения микроструи водорода, истекающей из кольцевого сопла. Впервые показан 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. Впервые установлены условия и особенности взаимодействия двух одиночных микроструй водорода.

Теоретическая значимость исследования заключается в получении и систематизации экспериментальных данных о режимах диффузионного горения одиночной, взаимодействующей с соосными потоками воздуха и с другой одиночной микроструей водорода, обнаружении эффекта «запирания» процесса горения в узкой области конусовидной формы вблизи среза сопла при взаимодействии водорода, истекающего из кольцевого сопла, со сверхзвуковой струей воздуха, позволяющих использовать полученные результаты для валидации математических моделей горения частично перемешанных смесей.

Практическая значимость работы связана с возможностью применения полученных данных для выбора оптимальных геометрических параметров и расходов эффективных горелочных устройств для нагрева, сжигания, отжига, используемых в промышленности.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием сертифицированных измерительных приборов, современных аппаратных и программных средств для обработки данных, согласованием полученных результатов с известными в литературе данными и результатами эталонных экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в участии в постановке задач, проведении экспериментов, обработке полученных данных, обсуждении результатов, подготовке публикаций в рецензируемых журналах и изданиях, представлении материалов исследований на научных конференциях.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 15 марта 2024 года диссертационный совет принял решение

за исследование и обобщение сценариев диффузионного горения одиночных, взаимодействующих между собой, взаимодействующих с соосными потоками воздуха микроструй водорода, имеющих важное фундаментальное и практическое значение для механики высокоскоростных реагирующих течений, присудить Тамбовцеву А.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 11 докторов наук по профилю специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали за присуждение ученой степени – 15, против – 1, действительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационног

—
Фомин Василий Михайлович

Ученый секретар
диссертационног

Гапонов Сергей Александрович

15 марта 2024 г.