



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Рыбинский государственный авиационный
технический университет имени П. А. Соловьева»

152934, Ярославская область, Рыбинский район,
город Рыбинск, улица Пушкина, 53
ОГРН: 1027601126057, ИНН: 7610029476, КПП: 761001001
Тел. +7 4855 23 97 22, факс: +7 4855 21 39 64
rector@rsatu.ru, www.rsatu.ru

26.10.2023 № 15/3351

Кому: Учёному секретарю диссертационного совета 24.1.129.01
при Федеральном государственном бюджетном учреждении
науки Институте теплофизики им. С. С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук
д.ф.-м.н., профессору РАН Терехову Владимиру
Викторовичу

Куда: 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д.1.
(e-mail: dissovet@itp.nsc.ru).

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Гурьянова Александра Игоревича

на диссертационную работу Толстогузова Романа Владимировича
«Экспериментальное исследование структуры импактной струи с закруткой и горением»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертационная работа изложена на 129 листах основного машинописного текста,
содержит 50 рисунков, 1 таблицу и список использованных опубликованных работ из 140
наименований. Материалы диссертации изложены в 18 печатных работах, в т.ч. 13 статьях в
ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК. Основные результаты
исследований доложены на 9 научных конференциях и семинарах.

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном
учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения
Российской академии наук (ИТ СО РАН).

Актуальность темы диссертации

Процессы горения топлив составляют основу энергетики, авиации, транспорта,
высокотемпературных процессов в области машиностроения. Проблема их изучения и
интенсификации является одной из важных приоритетных направлений развития науки и
техники.

Закрутка радикальным образом влияет на газодинамику, микро и макроструктуру
реагирующих течений. Принцип организации движения потоков рабочего тела с различной
степенью закрутки является основой многих устройств сжигания топлив и камер сгорания
авиационных двигателей и энергетических установок.

Общими особенностями конструктивного исполнения горелочных устройств как с
применением закрутки, так и без нее является взаимодействие пламени с твердыми
стенками. Часто оно сопровождается снижением полноты сгорания топлива, развитием
неустойчивости горения, повышением вероятности срыва пламени. В литературе мало
систематических исследований и практически отсутствуют результаты одновременного
изучения локальных полей скорости, температуры и концентрации промежуточных
компонентов с использованием панорамных оптических методов, описывающих

особенности формирования локальных турбулентных структур, тепломассообмена и горения в области взаимодействия.

Автором выполнены новые экспериментальные исследования влияния плоской холодной преграды на структуру потока импактной струи с закруткой и горением, на распределение температуры и расположение зоны химического реагирования с использованием оптических методов на основе плоскостной лазерно-индуцированной флуоресценции (ПЛИФ) и анемометрии по изображениям частиц.

Таким образом, диссертационная работа Толстогузова Романа Владимировича, посвященная эмпирическому изучению структуры импактной струи с закруткой и горением, выполнена, безусловно, на актуальную тему.

Содержание диссертации, её цель, задачи, положения выносимые на защиту **соответствуют заявленной научной специальности** и её направлениям исследования по п.1 – «Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах», п.8 – «Численное и натурное моделирование теплофизических процессов в природе, технике и эксперименте, расчет и проектирование нового теплотехнического оборудования».

Научная новизна и новые результаты

В диссертационной работе автором получены новые экспериментальные данные и описаны новые физические эффекты. Впервые апробирован метод термической активации молекул ОН ПЛИФ для измерения поля температуры в пламени вблизи преграды. Впервые установлены особенности снижения локального теплообмена в окрестности лобовой точки при размещении холодной преграды напротив бунзеновского пламени. Впервые установлено, что для племён, стабилизированных закруткой потока, при размещении холодной преграды на расстоянии в несколько калибров может возникать дополнительная мода гидродинамической неустойчивости, сопряженная с локальными пульсациями тепловыделения и сопровождающаяся снижением эффективности сжигания.

Достоверность полученных результатов

Достоверность основных положений и результатов работы обусловлена корректным использованием законов химической кинетики, газодинамики и теплообмена, применением для проведения экспериментальных исследований поверенного измерительного оборудования и согласованием результатов с данными других авторов, опубликованными в литературе.

Теоретическая и практическая ценность работы

обусловлена тем, что полученные в диссертационной работе новые результаты дополняют и расширяют существующие знания о структуре импактных племён, в том числе с закруткой потока. Они могут применяться для организации горения в камерах сгорания и горелочных устройствах энергетического и авиационного назначения. Полученные автором данные о распределениях скорости, температуры и концентрации компонентов могут использоваться для верификации численных моделей и аналитических подходов к анализу рассматриваемых течений. Реализованные современные оптические методы измерения теплофизических параметров реагирующих течений могут быть распространены на широкий класс задач теплофизики.

Общая характеристика структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа изложена техническим языком. Список используемых источников отражает состояние вопроса, рассмотренного в диссертации. По объёму и содержанию автореферат и диссертация отвечают требованиям к оформлению кандидатских диссертаций.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, поставлена цель и задачи исследований, приведена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы.

В первой главе приведен анализ современного состояния достижений и проблем в исследуемой области. Представлен обзор научных работ, направленных на исследования импактных струй, в том числе с горением и закруткой потока. Рассмотрены работы, посвященные горению предварительно перемешанных газовых племён при относительно небольших значениях H/d от 0,5 до 5,0, при которых заметен эффект влияния преграды на пламя. Рассмотрены различные оптические методы, используемые в подобных работах исследованиях. Сделан вывод о том, что систематизированные количественные данные о структуре потока импактных струй с горением вблизи преград в литературе практически отсутствуют.

Во второй главе приведено описание используемых в работе методов анемометрии по изображению частиц и плоскостной лазерно-индуцированной флуоресценции. Описаны основные физические принципы и подходы к оценке поля температуры в пламени на основе возбуждения молекул ОН: «Two-line» ПЛИФ и «Thermally-assisted» ПЛИФ. Представлено описание экспериментального стенда и описаны алгоритмы обработки данных. Приведены результаты численного моделирования спектра флуоресценции ЛИФ ОН, зависимости отношений интенсивности флуоресценции от выбранных линий возбуждения, температуры, спектральных диапазонов регистрации. Показано сравнение результатов измерений поля температуры методами «Two-line» и «Thermally-assisted» ПЛИФ в коническом пламени. Представлены результаты измерений поля температуры в газокпельном пламени паров и капель спирта.

В третьей главе дано описание измерительной системы для метода анемометрии по изображению частиц. Приведены результаты визуализации различных режимов горения импактного пламени, определены пределы срыва пламени, представлено сравнение результатов с опубликованными в литературе данными. Продемонстрированы результаты измерений поля скорости методом анемометрии по изображению частиц для импактного пламени предварительно перемешанной пропано-воздушной смеси, а также результаты измерений полей температуры, полученные с помощью методов «Two-line» ПЛИФ и «Thermally-assisted» ПЛИФ в ламинарном предварительно перемешанном метано-воздушном импактном пламени. Показано сравнение с результатами, полученными ранее другими научными коллективами. Автором установлено, что размещение холодной преграды напротив бунзеновского пламени приводит к формированию зоны рециркуляции в окрестности лобовой точки для $H/d = 3,0 - 4,0$. Полученные оценки поля температуры методом ПЛИФ позволили подтвердить этот эффект и объяснить причину снижения локального теплообмена в окрестности лобовой точки.

В четвертой главе представлено описание измерительной установки, используемой для одновременного применения методов PIV и ПЛИФ. Приведена визуализация режимов горения импактного турбулентного закрученного пламени при различных значениях числа

Рейнольдса, коэффициентах избытка топлива и расстояниях от сопла до поверхности. Представлены результаты измерений, в том числе поля средней и мгновенной скорости, мгновенные и средние распределения сигнала флуоресценции OH и HCHO для импактного закрученного пламени. Представлены результаты использования метода главных компонент (POD) к полученным массивам данных. Приведены пространственные распределения мод POD и соответствующие им осредненные по фазе пульсации интенсивности HCHO и OH. Представлены пространственные распределения первых четырех мод POD и соответствующие им осредненные по фазе пульсации интенсивности HCHO и OH ПЛИФ. В результате исследований автором установлено, что размещение холодной преграды напротив закрученного пламени принципиально не меняет режимы горения. Измерения полей скорости, выполненные автором в бедном пламени, показали, что конусообразная зона рециркуляции присутствует как в случае сильной, так и в случае слабой закрутки. При этом выявлено, что для $H/d = 3$ при сильной закрутке наличие преграды приводит к появлению дополнительной моды когерентных пульсаций скорости вблизи поверхности. На основе анализа пересечения OH и HCHO зон вблизи фронта пламени автор установил, что гидродинамические пульсации сопряжены со значительными изменениями условий протекания химических реакций, в том числе с пульсациями тепловыделения.

Опубликованные автором статьи, в полной мере, отражают содержание диссертации.

Замечания и пожелания

1. В целом, рукопись хорошо оформлена, изложена достаточно четко и ясно, тем не менее присутствует небольшое количество текстовых недоработок, орфографических, стилистических и пунктуационных ошибок. В тексте диссертации и заголовках часто используются термины на английском языке, например «Two-line» и «Thermally-assisted», хотя автор приводит перевод - «термически активированный» и «ЛИФ для двух линий».

2. В цели работы отмечено экспериментальное исследование влияния плоской холодной преграды на структуру потока импактной струи с закруткой и горением. При этом, значительная часть исследований, в частности третья глава диссертации, посвящена изучению влияния преграды на режимы горения, поля скорости и температуры бунзеновского факела без закрутки. По какой причине эти исследования не отмечены в цели?

3. В результатах измерений поля температуры приведены диапазоны от 1000 K до 2200 K, однако автор не обсуждает возможность измерения значений температуры в пламени ниже указанного диапазона.

4. Не ясно из каких соображений автор выбирал геометрические размеры сопла горелки и размеры преграды. На рисунке 3.2.1 (страница 80 диссертации) отчетливо видно, что при $H/d = 4$ реагирующая струя обтекает преграду, формируя более сложную область взаимодействия по сравнению со случаем, когда размеры преграды многократно превышают размеры пламени.

5. В камерах сгорания и горелочных устройствах реагирующие струи часто ориентированы к твердым поверхностям под различными углами. Автор, к сожалению, рассматривает только случай, когда ось струи перпендикулярна поверхности преграды.

Заключение

Приведённые замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации Толстогузова Романа Владимировича, в которой решена актуальная научная задача исследования структуры импактной струи с закруткой и горением, имеющая существенное значение для развития физической отрасли знания и физико-математических наук. Работа выполнена на высоком методическом и научном уровне, является законченной в рамках поставленных задач, полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Аннотация полностью отражает содержание диссертации, оба документа изложены логично и четко. Диссертационная работа «Экспериментальное исследование структуры импактной струи с закруткой и горением» удовлетворяет требованиям и критериям установленным п.п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Толстогузов Роман Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Доктор технических наук, доцент,
и.о. директора института авиационных технологий и
инженерной физики ФБГОУ ВО «Рыбинский государственный
авиационный технический университет имени П.А. Соловьева»,
телефон: +7-920-100-84-26
e-mail: marialex2004@mail.ru

26.10.2023

Александр Игоревич Гурьянов

Специальность, по которой официальным
оппонентом защищена диссертация:
01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника

Подпись Гурьянова Александра Игоревича заверяю:

Учёный секретарь Учёного Совета ФБГОУ ВО
«Рыбинский государственный авиационный
технический университет имени П.А. Соловьева»
кандидат технических наук, доцент



Сергей Александрович Волков

ФБГОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», 152934, Ярославская область, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53 (ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева), Тел. +7 4855 23 97 22, факс: +7 4855 21 39 64, rector@rsatu.ru

Я, Гурьянов Александр Игоревич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации (ФИО соискателя), и их дальнейшую обработку.