

ОТЗЫВ

официального оппонента 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 Толстогузова Романа Владимировича «Экспериментальное исследование структуры импактной струи с закруткой и горением» посвящена исследованиям 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.

Для выполнения этой задачи были проведены многочисленные эксперименты, в которых варьировались входные параметры: степень закрутки потока, расстояние до импактной поверхности и коэффициент избытка топлива. Полученные результаты позволяют на количественном уровне понять особенности процессов горения в области лобовой точки, провести систематизацию и выявить характерные особенности при горении «бедных» смесей с закруткой при наличии холодной преграды.

Особенно хотелось бы отметить тот факт, что Роман Владимирович самостоятельно разработал и верифицировал способ оценки поля температуры в продуктах горения по результатам моделирования спектров флуоресценции гидроксильного радикала (ОН). Данный подход может быть эффективно использован при численном моделировании процессов горения.

Используемые соискателем методы являются бесконтактными и многократно апробированными, что, несомненно, повышает степень достоверности полученных данных, поскольку, любой даже незначительный зонд способен коренным образом повлиять на режим горения такой сложной системы.

Необходимо отметить, что интерес к исследованиям по горению пламён с преградой в мире постоянно возрастает, что продиктовано поиском более эффективных способов как теплоотвода, так и организации стабильного горения. Результаты данной работы позволяют количественно проанализировать режимы с образованием зон рециркуляции закрученных пламён, учесть проявления мод гидродинамической неустойчивости, что, несомненно, является актуальным и востребованным.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 140 наименований. Общий

объем диссертационной работы составляет 129 страниц, в том числе 50 иллюстраций и 1 таблица. Содержание работы отражает большой объем проведенных исследований. Структура диссертации логически соответствует проведенному научному поиску. Представленная работа является полновесным завершенным научным исследованием.

Во введении приводится обоснование актуальности исследований, особенности выбранных методических подходов, формулируются цели и задачи, кратко представлено содержание глав диссертации, формулируются основные научные результаты, выносимые автором на защиту.

В главе I представлен обзор современного состояния дел в исследуемой области. Приводится обзор научных работ, посвященных исследованиям импактных струй включая струи с горением и закруткой потока. Указывается, что большая часть исследований посвящена визуализации различных режимов горения, выявлению зависимости формы факела и коэффициента теплоотдачи. Количественные данные напротив, представлены очень слабо. Отмечается крайне малое количество работ, связанных с химическими процессами в пристеночной области импактных струй.

В главе 2 достаточно подробно описываются экспериментальные стенды и используемые методики, а также некоторые результаты численного моделирования спектров флуоресценции ОН. В главе приведено описание основных принципов работы методов PIV и ПЛИФ, описаны принципы работы двух подходов к получению полей температуры в пламени: «Two-line» ПЛИФ и «Thermally-assisted» ПЛИФ, а также представлены результаты численного моделирования спектра флуоресценции ЛИФ ОН с учетом обмена энергией в процессе столкновений с использованием программного пакета LASKIN. Экспериментальный стенд представлял собой одиночную струю, натекающую на плоскую преграду, с возможностью проводить измерения различных параметров с использованием оптических методов. Струя формировалась профилированным осесимметричным сужающимся соплом (с внутренним диаметром $d=15$ мм). Закрутка потока осуществлялась с помощью лопастных завихрителей различной геометрии, которые обеспечивали разную степень закрутки потока соответствующих $S=0.41$, «слабой» закрутке, и $S=1$, «сильной» закрутке. Для организации импактного горения над пламенем устанавливался металлический цилиндрический сосуд (с внешним диаметром 300 мм), внутри которого циркулировала вода. Температура импактной поверхности поддерживалась постоянной с помощью термостата (96С). Во всех экспериментах использовалась предварительно перемешанная смесь воздуха с различными видами топлива: метан, пропан, пары и капли этанола.

В Главе 3 представлено описание измерительной системы, используемой для реализации метода PIV. Также представлены результаты визуализации некоторых режимов горения импактного пламени, наблюдаемых при варьировании Re , Φ и H/d . Представлены результаты измерений поля скорости, полученные с помощью метода PIV, представлены результаты измерений поля температуры, полученные с помощью методов

«Two-line» ПЛИФ и «Thermally-assisted» ПЛИФ в ламинарном импактном пламени.

В главе 4 представлено описание измерительной ПЛИФ системы, используемой при одновременной регистрации полей скорости и регистрации распределения сигнала флуоресценции НСНО и ОН. Приведена визуализация режимов горения импактного турбулентного закрученного пламени смеси при $Re=5000$, $\Phi=0.7, 1, 1.4, 2.5$ (топливо – пропан), $H/d=4, 3, 2, 1$. Также приложены осреднённые данные ПЛИФ измерений, демонстрирующие, что размещение преграды приводит к значительной интенсивности люминесценции НСНО в пристенной области и для некоторых режимов в зоне рециркуляции. В главе представлены результаты применения метода главных компонент (POD) для анализа полученных массивов данных, а именно пространственные распределения мод POD и соответствующие им осредненные по фазе пульсации интенсивности НСНО и ОН. Метод позволяет исследовать взаимодействия между различными частями течения, выделить доминирующие моды и понять основные физические механизмы, ответственные за эволюцию турбулентного течения. Обнаружено, что POD моды соответствуют двум разным типам когерентных структур. В случае $H/d=1$ первые четыре моды соответствуют крупномасштабным вихревым структурам, формирующимся в слоях смещения струи. В случае $H/d=3$ вторая и третья POD моды также соответствуют крупномасштабным вихревым структурам. Первая и четвертая моды POD соответствуют крупномасштабным колебаниям потока при натекании струи на поверхность.

В Заключение представлены общие выводы по работе, используемым подходам и методам.

На основе измеренного поля скорости в потоке Бунзеновского конусного пламени впервые было установлено, что размещение холодной преграды на расстоянии в три и четыре калибра приводит к формированию зоны рециркуляции вблизи преграды. При исследовании структуры потока и режимов горения закрученных пламен установлено, что размещение холодной преграды принципиально не меняет режимы горения. Однако проведенные измерения поля скорости для режимов горения предварительно перемешанной смеси показали, что при наличии преграды зона рециркуляции принимает форму вытянутого конуса между соплом и преградой как при сильной, так и при слабой степени закрутки. Более того, установлено, что наличие преграды может приводить к проявлению моды гидродинамической неустойчивости, не наблюдавшейся в случае открытого пламени.

В целом работа выполнена на высоком научном уровне с использованием комплекса новейших оптических методов. Полученные данные могут использоваться как для верификации численных методов, так и в практических рекомендациях в процессах импактного горения. Используемые автором экспериментальные методы достоверны и

многократно апробированы. Полученные в диссертации результаты логичны и физически непротиворечивы.

Достоверность полученных результатов также подтверждается публикациями в реферируемых журналах и выступлениями на конференциях. По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, 14 из которых опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК, результаты работы докладывались на конференциях различного уровня.

К диссертационной работе имеются некоторые замечания.

Основное замечание касается того, что автор исследует и анализирует развитие закрученного импактного факела в плоскости перпендикулярной к импактной поверхности. Выводы о радиальном распределении температур основаны на данных, полученных в аналогичном сечении. Между тем, учитывая сугубо трехмерное распределение закрученного факела, распределение температуры по окружности может значительно отличаться. Но автор не приводит каких-либо данных в плоскости параллельной импактной поверхности.

Количество статей автора из перечня ВАК, указанных в автореферате на стр. 6 это 13 статей, на стр. 22 14 статей?

Данные замечания не являются существенными и не снижают общую положительную оценку представленной диссертации.

Учитывая актуальность, новизну и практическую ценность полученных результатов, можно утверждать, что диссертационная работа Толстогузова Романа Владимировича «Экспериментальное исследование структуры импактной струи с закруткой и горением» представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Толстогузов Роман Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Доктор физико-математических наук,
с.н.с.

Литвиненко Юрий Алексеевич



20 октября 2023 года

Литвиненко Юрий Алексеевич

Доктор физико-математических наук
Специальность 1.1.9 – «механика жидкости, газа и плазмы»

старший научный сотрудник Лаборатории 8 Аэрофизических исследований
дозвуковых течений

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН)

630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

тел. (383) 330-42-78,

Электронная почта: litur@itam.nsc.ru

Согласен на включение моих персональных данных в документы,
связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

Подпись Литвиненко Ю.А. заверяю.

Ученый секретарь ИТПМ СО РАН

к.ф.-м.н.



Ю.В. Кратова Ю.В. Кратова

20 октября 2023 г.