



тольяттинский
государственный
университет



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
(ТГУ)

ОКПО 55914968
ОГРН 1036300997567
ИНН 6320013673
КПП 632401001

Белорусская ул., 14, г. Тольятти,
Самарская обл., 445020
Телефоны: (8482) 44-94-44, 44-94-24
Факс (8482) 37-85-89
E-mail: office@tltstu.ru
<https://www.tltstu.ru>

30.11.2023

№ 037498
на № _____ от _____

Председателю диссертационного
совета 24.2.379.10, созданного
на базе федерального
государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования «Самарский
национальный исследовательский
университет имени академика
С. П. Королева»
академику РАН,
д.т.н., профессору Шахматову Е. В.
443086. Г. Самара, Московское
шоссе, 34

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Идрисова Дмитрия Владимировича «Разработка метода определения границ проскока пламени при использовании метано-водородного топлива в камерах сгорания газотурбинных двигателей и энергетических установок», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Общая характеристика работы

Целью диссертационной работы Идрисова Д. В. является повышение точности проектировочных расчётов камер сгорания газотурбинных двигателей и энергетических установок, работающих на метано-водородном топливе за счёт совершенствования метода определения границ устойчивого горения по проскоку пламени в широком диапазоне изменения температуры и давления, основанного на обобщении, систематизации, структурном анализе и верификации данных. Для решения поставленной цели потребовалось создание расчётной методики определения проскока пламени на основе разработанного кинетического механизма, пригодного для моделирования горения метано-водородных смесей, а также правильно учитывать изменение скорости пламени при горении метано-водородных смесей с различной долей водорода.

Актуальность темы исследования

Одной из важнейших задач при проектировании камер сгорания двигателей и энергетических установок является обеспечение низкой концентрации вредных веществ, образующихся при сжигании топлива. Кроме того, в последние годы также более актуальным становится вопрос о снижении выбросов парниковых газов (или углеродного следа) в целях борьбы с глобальным изменением климата. И если для решения вопроса о снижении эмиссии, например, оксидов азота используются технологии сжигания ультрабедных заранее подготовленных топливовоздушных смесей,

Входящий № 206-9370
Дата 01 АЕК 2023

то для уменьшения углеродного следа двигателей необходимо использовать топливо с меньшим содержанием углерода. Альтернативным топливом, не содержащим атомов С является водородное топливо. Одной из проблем, возникающих при использовании водорода в качестве топлива – это проскок пламени. Соответственно при проектировании новых установок, работающих на водороде или при переводе существующих на водород необходимо иметь расчётные методики позволяющие спрогнозировать границу устойчивой работы камеры сгорания по проскоку пламени. Созданию и валидации такой расчётной методики посвящена данная диссертационная работа.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 222 наименований. Основной текст 185 страниц, 89 иллюстраций и 17 таблиц.

Во введении приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, а также пути их достижения. Отмечена научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов выполненной работы, приведены результаты, выносимые на защиту автором. Представлена информация по апробации и публикации результатов.

В первой главе автор провел обзор современного состояния вопроса по теме работы, на основании которого показал, что на данный момент недостаточно проработаны вопросы по разработке кинетических механизмов, позволяющих моделировать горение метан-водородных топлив. Проведён обзор существующих кинетических механизмов, на основании которого выбран прототип механизма, который впоследствии будет доработан.

Также рассмотрены работы по изменению скорости пламени при увеличении доли водорода в топливе. Отмечена необходимость в получении экспериментальных значений скорости пламени метано-водородных смесей.

Обзор работ по численному моделированию проскока пламени показал, что наиболее высокой прогностической способностью обладают расчётные модели, основанные на моделировании крупных вихрей (LES). Вместе с этим, при разработке численной модели надо учитывать изменение скорости пламени в расчётах.

Таким образом для создания расчётной методики определения проскока пламени необходимо разработать кинетический механизм пригодный для моделирования горения метано-водородных смесей, а также правильно учитывать изменение скорости пламени при горении метано-водородных смесей с различной долей водорода.

Во второй главе приводится описание экспериментальных моделей, установок и методик проведения исследований и обработки полученных данных, приведено описание применяемого экспериментального оборудования и систем измерения с оценкой допустимых погрешностей измерений.

Для обеспечения безопасного проведения работ с водородосодержащими топливами разработана техника безопасности при работе с водородом и метано-водородной смесью. Для предотвращения распространения пламени по водородной магистрали были подобраны

огнепреградительные клапана. Разработано модельное горелочное устройство в составе доработанного экспериментального стенда; разработана и смонтирована магистраль подачи газообразного водорода, состоящая из двух независимых контуров; разработан «миксер» для перемешивания метана и водорода, суммарным линейным размером компоновки 140 мм, диаметральный 24 мм, который обеспечит оптимальное смешение метана и водорода на заданных режимах планируемой работы.

Таким образом сформирована необходимая экспериментальная база для выполнения верификации предложенных математических моделей расчета процессов горения водородной и метано-водородной топливовоздушной смеси и дорабатывать их на основе собственных высокоточных экспериментальных результатов.

В третьей главе проведена валидация существующих кинетических механизмов по ряду свойств, в результате чего выбрана модель Wang2018 в качестве базовой модели. Далее на основе базовой модели Wang2018 был разработан кинетический механизм окисления метано-водородных топлив WangUPD, который валидирован с использованием экспериментальных данных по нормальной скорости распространения пламени (SL), полученных на установке Heat Flux. Разработанный кинетический механизм WangUPD был применен для расчета нормальной скорости распространения пламени в широком диапазоне начальных температур, давлений, коэффициентов избытка топлива и содержания водорода в топливе. Полученные результаты вычислений использовались для аппроксимации нормальной скорости распространения пламени в виде развернутой формулы.

Проведенные исследования позволили сформировать рекомендации по формированию математической модели для расчета процессов горения метано-водородных топлив, в рамках которых распространение фронта пламени определяется по уточненной зависимости скорости распространения ламинарного пламени от деления, температуры и состава, что позволит более точно определить такие нестационарные явления рабочего процесса камер сгорания газотурбинных установок как проскок пламени.

В четвертой главе представлена разработка и валидация метода численного моделирования проскока пламени с использованием разработанного кинетического механизма WangUPD и учётом зависимости скорости распространения ламинарного пламени при различной доле водорода в топливе.

В результате проведенного исследования показано, что при прогнозировании границ проскока пламени в исследуемом горелочном устройстве на основе численного моделирования в стационарной постановке (RANS) позволяет в два раза сократить отклонение от экспериментальных данных и улучшить точность моделирования проскока пламени на этапе предварительного проектирования. Рекомендовано для этого случая применять корректировочный коэффициент запаса, который составил 1,25 для увеличения предполагаемого значения коэффициента избытка воздуха при проскоке пламени на этапе предварительного проектирования камер сгорания.

В пятой главе представлена апробация предложенного метода применительно к полноразмерной КС ГТУ, выполнено исследование влияния доли водорода в метано-водородном топливе на проскок пламени в исходной конструкции ГТЭ-65. В результате проведенных исследований установлено, что при добавках водорода в исходную конструкцию ГТЭ-65 более 70% водорода в топливо на рабочих режимах вероятен проскок пламени через центральное горелочное устройство. Соответственно, граница устойчивой работы, с учетом коэффициента запаса, составляет от 0 до 50%

Таким образом полностью решены задачи исследования и достигнута цель диссертационной работы.

Научная новизна диссертационной работы, сформулированная автором в четырёх пунктах, соответствует требованиям к кандидатским диссертациям и не вызывает сомнений.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость результатов работы заключается в формировании и валидации кинетической модели горения метано-водородного топлива и получении новых зависимостей для скорости распространения пламени от температуры, давления и состава смеси.

Практическая значимость результатов состоит в разработке метода определения границ проскока пламени при горении предварительно подготовленной метано-водородо-воздушной смеси в камерах сгорания, позволяющего оценить влияние добавки водорода на границы проскока пламени в горелочном устройстве КС на этапе ее проектирования и тем самым сократить сроки и затраты на разработку камер сгорания, работающих на метано-водородном топливе.

Разработанный метод определения границ проскока пламени также может быть использован при переводе существующих двигателей и энергоустановок на водородосодержащее топливо.

Достоверность результатов работы подтверждается применением современного экспериментального оборудования, необходимой точностью и тарировкой измерительных систем, воспроизводимостью результатов испытаний, использованием современных аппаратных и программных средств регистрации и обработки данных, непротиворечивостью полученных результатов существующим фундаментальным предположениям в данной области, совпадением результатов расчётов с экспериментом, в том числе с работами других учёных.

Содержание диссертации соответствует научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Основные выводы диссертации соответствуют поставленным задачам исследования.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и включает все основные идеи, положения и выводы, приведенные в основном тексте.

Основные результаты диссертации отражены в 10 научных работ: 3 статьи в периодических изданиях, включенных в список ВАК РФ, 2 статьи в

изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 5 публикаций в материалах конференций.

Апробация материалов диссертации проводилась на международных и Всероссийских научно-технических конференциях.

Оформление диссертации и автореферата в основном соответствует существующим требованиям.

Замечания и недостатки работы

В автореферате и диссертационной работе имеются следующие недостатки:

По автореферату

1. В описании первой главы в заключении явно не выделено отсутствие результатов исследования по влиянию высоких температур и давления на характеристики проскока пламени.
2. Результаты исследования представлены в зависимости от эквивалентного отношения, ϕ (коэффициент избытка топлива). У нас общепринято использовать коэффициент избытка воздуха, α .
3. В заключении п. 2 приведено «Разработан новый кинетический механизм (48 компонентов, 312 реакций)...». В тексте автореферата об этом ничего не сказано.

По диссертации

1. Глава 1 не ясно из проведенного обзора работ по экспериментальному определению проскока пламени в чём состоит трудность проведения данных исследований и что предлагается доработать (повысить точность или что-то другое) автор не достаточно чётко формулирует этот вопрос.
2. Представляя результаты главы 1, следовало рассмотрение композитного топлива с изменением концентрации водорода от 0 до 100% представлять как метано-водородную, $R_H < 50\%$ и водородно-метановую, $R_H \geq 50\%$. Для первой добавка водорода активирует процесс горения, для второй добавка метана – флегматизирует (как это представлено на рис. 1.8, л. 38).
3. В заключении главы явно не сформулировано об особенностях ламинарного горения метано-водородного топлива, а в задачах исследования это актуальная проблема.
4. В главах 1-3 в качестве основного параметра используется эквивалентное отношение, ϕ (коэффициент избытка топлива), а в главах 4 и 5 - коэффициент избытка воздуха, α .
5. В разделе 3.2 при совершенствовании базового кинетического механизма горения метано-водородного топлива рассматриваются особенности кинетики горения водорода и нет обоснования отсутствия рассмотрения особенностей кинетики горения метана.
6. Глава 5 на рисунках 5.3-5.5 и рисунке 5.7 показанные расчётные области несколько отличаются, хотя позиционируется, что это одна и та же модель. В тексте диссертации не указано с чем это связано.

Имеются незначительные недостатки при оформлении работы, например: Обозначение осей координат на иностранном языке. Ошибка в обозначении рис. 11. Для чего на рис. 5.12 размерность оси ординат для α показана с 6-ю знаками после запятой?

Заключение по диссертации

Несмотря на указанные замечания работа Идрисова Д.В. выполнена на высоком научно-техническом уровне. Автор показал уверенное владение методами численного моделирования процессов горения, умением проводить экспериментальные исследования с применением современного оборудования. Результаты исследования являются достаточно обоснованными, обладают научной и практической новизной.

Таким образом диссертационная работа Идрисова Дмитрия Владимировича «Разработка метода определения границ проскока пламени при использовании метано-водородного топлива в камерах сгорания газотурбинных двигателей и энергетических установок», является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития двигателестроения. Содержание автореферата и диссертации в полной мере соответствует всем требованиям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утверждённом Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Идрисов Дмитрий Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.


Автор отзыва дает согласие на обработку персональных данных.

Официальный оппонент

Профессор кафедры

«Энергетические машины и системы управления

Заслуженный работник высшей школы РФ,

Доктор технических наук, профессор  А.П. Шайкин

29.11.2023 г.

E-mail: a_shajkin@mail.ru

Тел. 8(927)897-03-28

445020, Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, д.14

Тольяттинский государственный университет

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет»

Адрес 445020, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, телефон (8482) 44-94-44, 44-94-24, office@tltsu.ru, <http://www.tltsu.ru>

