

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Коваля Алексея Сергеевича на тему: «Переходные режимы горения и детонация метано-воздушных смесей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 — химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Диссертационная работа Коваля Алексея Сергеевича посвящена исследованию переходных режимов горения и детонации смесей метана с воздухом. Метан, как основной компонент природного газа, нашел широкое применение в энергетике и промышленности. Несмотря на его значительные запасы, рост потребления и постоянно ужесточающиеся экологические требования обуславливают необходимость поиска путей дальнейшего повышения эффективности его применения. Скоростные горелки, применяющиеся в нагревательных печах в настоящее время, используют дефлаграционное горение топливно-воздушной смеси (ТВС). Дальнейшее повышение эффективности таких горелок требует значительных капитальных затрат. Применение детонационного режима горения является перспективным путем повышения эксплуатационных характеристик таких горелок. Целью исследования, проведенного автором, является создание теоретических основ метода циклической генерации детонационных волн в промышленных топливно-воздушных смесях, направленное на формирование облика перспективных энергоэффективных импульсно-детонационных горелочных устройств (ИДГУ). Между тем слабая детонационная способность метана требует решения задачи надежной организации детонационного процесса на кратчайших расстояниях, позволяющих создать горелочные устройства приемлемых для промышленного применения габаритов. Применение методики «быстрого» перехода горения в детонацию (ПГД), использование препятствий-турбулизаторов и фокусирующих препятствий специальной формы и расстановки позволило осуществить ПГД в трубах околопредельного диаметра длиной до 5.5 метров. При этом использовался слабый источник зажигания и отдельная подача топливных компонентов. Автору удалось впервые доказать возможность циклического ПГД в указанных условиях, что имеет несомненную научную и практическую ценность. Помимо этого, автором впервые было доказано, что использование перекрестных струй может создавать турбулентность, позволяющую обеспечить ПГД на расстояниях до 4 калибров трубы, что может быть использовано для создания компактных преддетонаторов как для импульсно-детонационных, так и для непрерывно-детонационных камер сгорания.

Диссертация состоит из введения, семи глав, формулировки основных результатов и выводов. Список литературы включает 116 наименований и достаточно полно отражает публикации по исследованиям детонационного сжигания топлива. Общий объем диссертации – 135 страниц.

Во **введении** обсуждается актуальность выбранной темы, теоретическая и практическая значимость работы, научная новизна и степень достоверности результатов. Кратко описаны использованные методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, отмечен личный вклад автора.

В **первой** главе представлен литературный обзор по теме диссертации. Рассмотрена эффективность детонационного цикла, приведены примеры его практического применения. Обзор включает подробное описание проблем в области детонационного сжигания метана. Детально рассмотрены работы, посвященные механизму «быстрого» ПГД и способам его организации в трубах.

Вторая глава посвящена выбору оптимальной конфигурации основных компонентов ИДГУ – устройства зажигания и ускорителя пламени для обеспечения быстрого ПГД в смесях природного газа с воздухом. Многовариантные параметрические расчеты, описанные в данной главе, выполнены с применением алгоритма многомерного моделирования, в основе которого лежит метод явного выделения фронта пламени (ЯВП).

В **третьей** главе описаны расчетные работы по численному моделированию системы «узел зажигания – устройство ускорения пламени» и экспериментальные исследования распространения комплекса «ударная волна – зона реакции», позволившие определить условия, в которых возникают режимы быстрого дефлаграционного горения, близкие к детонационным, при зажигании источником, не создающим интенсивных волн давления. Получены достаточные для организации быстрого ПГД значения интенсивности ударной волны и видимой скорости пламени.

В **четвертой** главе описаны результаты работы, которые позволили получить быстрый ПГД при отдельной подаче топливных компонентов. ПГД был впервые получен для проточной детонационной трубы в условиях высокоскоростного течения (около 10 м/с). При этом инициирование детонации проводилось слабым источником зажигания (с энергией около 1 Дж). Проведенные исследования открывают путь к созданию ИДГУ, работающих в частотном режиме.

В **пятой** главе приводятся результаты модернизации установки, описанной в четвертой главе. Впервые был получен циклический ПГД в условиях высокоскоростного течения при отдельной подаче метана и воздуха в трубе околопредельного диаметра на расстояниях 3–4 м от

источника зажигания.

В **шестой** главе описаны результаты тепловых испытаний лабораторного образца ИДГУ. Оценена необходимость охлаждения отдельных узлов горелки. Приводится качественная оценка преимуществ детонационного сжигания топлива.

Седьмая глава посвящена исследованиям, направленным на создание эффективных преддетонаторов, содержащих донорную смесь, при использовании которой размещение препятствий-турбулизаторов в рабочем объеме затруднено. Результаты исследований позволили за счет высокой турбулентности, создаваемой встречными струями топливных компонентов, создать условия для ускорения пламени и циклического ПГД в гладких трубах на расстояниях около четырех калибров трубы.

Обращает на себя внимание большой объем экспериментальной работы, выполненной Ковалем А.С. Полученные экспериментальные данные надежны, а их интерпретация и основные выводы обоснованы. Значимость работы заключается в том, что созданы научные основы проектирования энергосберегающих и энергоэффективных горелочных устройств, использующих импульсно-детонационный режим горения.

Диссертационная работа хорошо оформлена, написано ясно, рисунки содержат необходимую информацию. Работа оставляет хорошее впечатление о высоком научном уровне исследований.

Несмотря на общий высокий уровень работы, к ней имеется ряд замечаний.

1) Глава 2 посвящена определению оптимальных условий ускорения фронта пламени на начальном этапе. Конечная цель работы – это создание установки, работающей в циклическом режиме. Согласуются ли полученные условия с оптимальными условиями для циклического ПГД?

2) В работе не приведены результаты сравнения эффективности предложенной автором метода сокращения расстояния ПГД с другими известными методами.

3) В главе 7 приведено описание экспериментальной установки для реализации ПГД в МКС смесях. Принцип работы установки основан на создании перекрестных струй. В работе не приведено описание метода создания перекрестных струй. На основании каких параметров выбрана частота работы установки — 10 Гц?


Высказанные замечания не затрагивают сути и основных выводов и не снижают практической и теоретической ценности диссертационной работы А.С. Ковалева. Выполнен большой объем исследовательской работы, получены новые и оригинальные результаты. Содержание автореферата полностью соответствует диссертации. Публикации в российских и международных

изданиях в достаточной степени отражают суть и основные результаты работы.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, и «Изменений, которые вносятся в Положение о присуждении ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации №335 от 21 апреля 2016 года. Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны теоретические основы метода циклической генерации детонационных волн в промышленных газо-воздушных смесях, экспериментально проверенные в опытных образцах импульсно-детонационных горелочных устройств. Результаты могут быть рекомендованы к использованию при проектировании энергоэффективных и энергосберегающих промышленных скоростных горелок. Автор диссертации Коваль Алексей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 — химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории физической газовой динамики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(ОИВТ РАН)



В.В. Голуб

Подпись г.н.с. Голуба В.В. заверяю:

Ученый секретарь ОИВТ РАН,
д.ф.-м.н.



Р.Х. Амиров

12 октября 2022 г.

Адрес: 125412, Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2.

Тел.: (495) 485-84-63,

E-mail: victor.v.golub@gmail.com