

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-**  
**математических наук Козлова Павла Владимировича на тему**  
**«Экспериментальное исследование процессов излучения и горения в**  
**высокотемпературных газовых смесях» по специальности 1.1.9**  
**«Механика жидкости, газа и плазмы».**

Диссертационная работа посвящена экспериментальным исследованиям процессов излучения в высокотемпературных газовых смесях, в частности в чистых газах, таких как аргон, кислород и газовых смесях – воздух,  $\text{CO}_2/\text{N}_2$ , также рассматривается вопрос измерения задержки воспламенения в смесях пропан-воздух и  $\text{C}_3\text{H}_8/\text{O}_2/\text{Ar}$ . Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью достаточно точного решения задач тепло-массообмена при разработке космических спускаемых аппаратов, когда радиационная составляющая теплового потока значительно превышает конвективную составляющую, а для задачи воспламенения газовых смесей – получение подтвержденных данных по временам задержек самовоспламенения является актуальным для разработки реактивных двигателей. Работа в целом посвящена экспериментальным исследованиям с целью получения новых экспериментальных данных, причем в диссертации описываются не только сами экспериментальные данные по излучению газовых смесей и задержек воспламенения, но и калибровка системы измерения, а также модификации установки с целью достижения скорости ударной волны до второй космической, что важно для экспериментаторов эксплуатирующих установки подобного класса. Поэтому актуальность исследований подтверждается как с точки зрения полученных данных, так и с точки зрения экспериментальной техники.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации высокая. Этот вывод основан на том, что

получен большой ряд данных, который согласован как с работами других авторов, так и с данными автора, модификация установки и процедура калибровки важны с экспериментальной точки зрения, и научные положения, выносимые на защиту вполне обоснованы. Основные положения диссертации прошли апробацию при публикациях в научных журналах, так результаты исследований, описанных в диссертации, опубликованы в 15 научных статьях, в том числе 3 статьи в журнал Q1, и 2 патентах, а также докладывались на научных конференциях в России и за рубежом.

Достоверность результатов, изложенных в диссертации подтверждается путем использования процедуры калибровки системы регистрации, а также путем сравнения части результатов с результатами других авторов.

Новизна диссертационного исследования заключается в (i) экспериментальном смысле, где автор описывает модернизацию установки, что позволяет достичь второй космической скорости ударной волны и процедуру калибровки системы регистрации данных по излучения ударно-нагретых газов, моделирующих атмосферу Земли, Мерса, Венеры, и т.д., и (ii) в получении большого количества новых экспериментальных данных, а именно по излучению газовых смесей в спектральном интервале 200-1100 нм в абсолютных единицах, что необходимо для оценки радиационного теплового потока при движении тел с высокими скоростями в различных атмосферах, и получение набор новых данных по задержке воспламенения в пропан-воздушных и пропан-кислородных смесях, который полезен при конструировании камер сгорания.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 152 страницах, включает 105 иллюстраций, 2 таблицы и 181 библиографические ссылки.

Во введении к работе представлены актуальность и цели исследования, описан предмет исследования, сформулированы научная новизна, практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту, сведения об апробации результатов работы и о публикациях автора.

Первая глава посвящена литературному обзору по экспериментальным данным по излучению газовых смесей и задержки воспламенения, полученным на различных ударных трубах. В первой части главы описаны виды ударных труб, приведены примеры таких труб в различных странах мира, во второй и третьей частях главы описаны полученные другими авторами результаты по излучению ударно-нагретого воздуха и атмосфер других планет, таких как Марс, Венера, в четвертой части главы приведен обзор по различным работам в области определения задержки воспламенения горючих смесей в ударных трубах.

Во второй главе диссертации приведено описание двух-диафрагменной ударной трубы DDST-M, на которой и были проведены исследования, представленные в данной диссертации. В данной главе описывается как состав самой экспериментальной установки, так и ее модернизация, для достижения лучшего формирования фронта ударной волны в камере высокого давления, что является одним из положений, выносимых на защиту. С помощью данной модернизации удалось получить скорость ударной волны 11.4 км/с в камере низкого давления в воздухе при давлении 33.25 Па, что является несомненным достижением в данной работе, и что позволяет получать спектральные данные в более широком диапазоне скоростей ударных волн, чем до модернизации ударной трубы, когда скорость была ограничена 7-8 км/с. Вторым положением, выносимым на защиту, и также описанным в данной главе является процедура калибровки измерительной спектральной аппаратуры для получения характеристик излучения в абсолютных единицах с помощью дейтериевой лампы и лампы с вольфрамовой нитью накала.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований по получению спектральных характеристик ударно-нагретых газов, таких как аргон, кислород, воздух, смесь  $\text{CO}_2/\text{N}_2$ . В качестве результатов приведены спектральные плотности излучения в диапазонах 200-1100 нм, а также временные зависимости изменения интенсивности излучения на выбранных длинах волн. Показаны зависимости интенсивности излучения от начального давления и скорости ударной волны. Проведено сравнения с работами других авторов, показана достоверность получаемых результатов.

Четвертая, заключительная глава посвящена экспериментальному измерению времени задержки воспламенения в пропан-воздушных и пропан-кислородных смесях. В эксперименте были измерены времена задержки воспламенения в смесях при давлении 30 атм, также приведено описание термоэлектрического датчика для измерения тепловых потоков, который показал свою хорошую применимость при таких экспериментальных исследованиях, а также позволил уточнить время воспламенения. При некоторых параметрах смесей проведено сравнение с результатами других авторов, показано хорошее совпадение результатов.

В общем в диссертации проведен широкий спектр как экспериментальных работ по модернизации установке, так и получены наборы данных по излучению и задержке воспламенения ударно-нагретых газов. Полученные результаты, несомненно, обладают новизной, будут востребованы как другими авторами, работающими в данной области, так и внесут свой вклад при разработке теплозащиты спускаемых аппаратов и при конструировании камер сгорания двигателей. К несомненным достоинствам данной работы является методы получения экспериментальных результатов, которые позволяют получить не только обзорные спектры излучения, но и временные зависимости интенсивности излучения по линиям, что несомненно

важно в связи с неравновесным процессом, происходящим за высокоскоростной ударной волной.

В то же время работа не свободна от небольших недостатков.

1. В главе 3 проскакивает путаница с обозначения длин волн на рисунках и в подрисуночных подписях, так для примера на рисунке 3.21 приведен спектр воздуха в диапазоне длин волн 295-330 нм, в то время как подрисуночная подпись сообщает нам, что приведен диапазон 375-400 нм, разумеется, это замечание носит стилистический характер и не уменьшает достоинства работы.

2. Также в главе 3 получены панорамные спектры излучения различных газовых смесей, которые представлены на многочисленных графиках в единицах  $\text{Вт}/(\text{см}^3 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм})$ , на основе выдвинутого в главе 2 предположение об однородности ударной трубы вдоль оптической оси, что, скорее всего соответствует истине, но вопрос поглощения излучения из более далеких слоев газа в ударной трубе в более близких к измерительной аппаратуре недостаточно освещен.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы», а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Козлов Павел Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,


Заведующий лабораторией физической газодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

Поняев Сергей Александрович



8 сентября 2023

Контактные данные:

тел.  e-mail: [serguei.poniaev@mail.ioffe.ru](mailto:serguei.poniaev@mail.ioffe.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Адрес места работы: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул. 26, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.



Подпись Темцова С.А. удостоверяю  
зав. отделом кадров ФТИ им. А.Ф. Иоффе

