

ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертационную работу Крикуновой Анастасии Игоревны
«Колебания и неустойчивости горения предварительно перемешанной
смеси в условиях микрогравитации»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.05 –Механика жидкости, газа и плазмы.

Актуальность темы исследования.

Теоретическое описание течения газовой смеси при наличии горения является одной из наиболее сложных задач газовой динамики, поскольку при этом имеет место сильное взаимодействие динамических, теплообменных и массообменных процессов. В настоящее время созданы различные физико-математические модели для расчета течения газовых смесей в условиях горения, и накоплено достаточно много экспериментальных данных. Однако верификация математических моделей на экспериментальных данных сильно затруднена, т.к. при наличии горения одновременно действует множество процессов, влияющих на конечный результат. В такой ситуации очень сложно выявить, какие именно неточности математической модели приводят к расхождению расчетов с результатами экспериментов. Поэтому актуальной задачей является накопление экспериментального материала для условий, в которых суммарный процесс упрощается за счет исключения тех или иных отдельных процессов. Получение именно таких экспериментальных данных и является основной целью и основным достижением диссертации А.И. Крикуновой. Во-первых, в проведенных ею экспериментах использовалась предварительно перемешанная смесь горючего (метан) и окислителя (кислород в составе воздуха), что значительно понижает роль диффузионных процессов. И, во-вторых, получены экспериментальные данные по горению при микрогравитации, когда исключается влияние архимедовых сил плавучести. Поэтому тема диссертации А.И. Крикуновой является, безусловно, актуальной.

Структура и содержание диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и двух приложений, в которых приведены развернутая и сокращенная схемы окисления метана. В работе содержится 65 рисунков и 165 библиографических ссылок. Общий объем работы составляет 147 страниц машинного текста. Кроме общего заключения, даются основные выводы по главам.

В первой главе приведены обзор литературы по теме диссертации и развернутое описание физических эффектов и их основных характеристик, применительно к условиям проведенных экспериментов.

Вторая глава посвящена использованным в диссертации экспериментальным установкам и методам измерений. Эксперименты А.И. Крикуновой проведены на уникальном экспериментальном комплексе, расположенном в г. Бремен (Германия). Основу этого комплекса составляет башня сбрасывания высотой 120 м, позволяющая проводить исследования в условиях свободного падения экспериментальной капсулы на протяжении 4.7 с. При этом в капсуле реализуются условия микрогравитации на уровне 10^{-5} от нормальной величины ускорения свободного падения, что приблизительно соответствует уровню микрогравитации на международной космической станции. Данный комплекс существует довольно давно и широко используется учеными различных стран в качестве основы для исследований особенностей различных процессов в условиях микрогравитации. Однако, помимо этой основы, в каждом экспериментальном исследовании требуется свое экспериментальное оборудование. И здесь необходимо отметить, что А.И. Крикунова освоила и с высокой эффективностью использовала в своих экспериментах самые современные средства и методики экспериментальной диагностики, такие как термоанемометр, скоростная видеосъемка хемилюминесценции пламени, метод засева потока частицами-трассерами (PIV), метод индуцированной лазерной флюоресценции (PLIF).

Третья глава диссертации посвящена поискам гидродинамических условий, при которых можно ожидать эффективную стабилизацию пламени в проводимых экспериментах. Данная задача решалась на основе анализа некоторых особенностей структуры течения струи, вытекающей из сопла экспериментальной установки при отсутствии горения. При этом использовался комплексный подход к проблеме – комбинация расчетов с помощью про-

граммного пакета “Flow Vision” и экспериментов для изотермической струи. В результате было подобрано стабилизирующее устройство в виде кольца определенных размеров. Правильность этого выбора подтвердилась позднее при экспериментах с горением. Хотя данная работа проводилась в качестве методической подготовки к экспериментам, представляется, что она имеет и самостоятельное значение, поскольку задача стабилизации пламени очень часто возникает при создании различных технических устройств.

Основные результаты проведенных экспериментов и их анализ приведены в главе 4. Проведено большое количество экспериментов, которые можно разделить на две группы. К первой группе относятся исследования конфигурации и размеров поверхности, образуемой фронтом горения. В условиях проведенных экспериментов эта поверхность близка по форме к боковой поверхности кругового конуса. Необходимо отметить, что угол наклона образующей этого конуса характеризует такую важнейшую характеристику процесса, как скорость распространения фронта горения через неподвижную смесь. Изучались и другие характеристики процесса, например скорости проскока и уноса пламени. Получены данные по влиянию различных факторов, например скорости истечения смеси и соотношению компонентов.

Вторая группа экспериментов была посвящена качественным особенностям и количественным характеристикам пламени в области факела, расположенной за конусом фронта горения вниз по потоку. Получены экспериментальные данные по частоте мерцания при различных условиях. С помощью программного пакета “Flow Vision” получены также расчетные данные по частоте мерцания и показано, что физическим механизмом неустойчивости здесь является неустойчивость Кельвина – Гельмгольца.

В главе 4 представлены также результаты аналогичных исследований для условий нормальной гравитации, причем при двух противоположных ориентациях вектора массовой силы относительно направления потока смеси. Сопоставление этих результатов с результатами, полученными при микрогравитации, позволило провести в диссертации очень интересный сравнительный анализ экспериментальных данных, полученных при трех сильно различающихся вариантах гравитационной обстановки: нормальная гравитация вдоль потока, отсутствие гравитации, нормальная гравитация против потока.

Научная новизна положений, результатов и выводов, сформулированных в диссертации.

Полученные в диссертации новые научные результаты можно разделить на методические и физические. К методическим новым результатам следует отнести оснащенную современными средствами диагностики экспериментальную установку для работы при микрогравитации на башне сбрасывания в условиях жесткого лимита времени. Проведенные эксперименты доказывают работоспособность и эффективность этой установки и использованных средств измерений. Интересна также использованная в диссертации методика предварительного подбора устройства стабилизации пламени, основанная на анализе результатов расчетов и экспериментов без горения.

В диссертации получено множество новых научных результатов по качественным особенностям и количественным характеристикам горения предварительно перемешанной метано-воздушной смеси (скорость горения, проскок и унос пламени, конфигурация и размеры поверхности фронта горения, частота мерцания факела пламени). Необходимо добавить, что эти данные получены для различных условий гравитационной обстановки, различных скоростей потока и различных соотношений компонентов смеси. Полученные экспериментальные результаты имеют не только самостоятельную научную ценность, но и составят обширную базу данных для проверки различных теоретических гипотез и верификации математических моделей.

Практическая ценность работы.

Метан широко распространен в природе и находит все более широкое распространение в технике, и в чистом виде, и как основная составная часть природного газа. Поэтому новые знания о закономерностях его горения представляют интерес для различных практических приложений. Например, возгорание метана часто является причиной аварий на угольных шахтах, в коммунальном хозяйстве, на транспорте, в энергетике и т.д. Полученные в диссертации новые знания могут найти применение для повышения пожаро- и взрывобезопасности при использовании метана и природного газа в различных областях производства и жизнедеятельности.

Степень обоснованности и достоверности положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации.

Обоснованность и достоверность результатов обеспечивается использованием известных и хорошо отработанных методов экспериментальной диагностики и тестированных методик эксплуатации башни сбрасывания, гарантирующих реализацию условий микрогравитации во время проведения экспериментов.

Замечания.

1. Название диссертации не отражает в полной мере проделанную работу. Кроме экспериментальных данных для условий микрогравитации, в диссертации получены интересные результаты для условий нормальной гравитации, причем при различных ориентациях вектора массовой силы.

2. Имеются опечатки и неточности в терминологии. Например, уменьшение радиуса кривизны поверхности иногда интерпретируется как уменьшение самой кривизны.

3. Диссертация посвящена горению предварительно перемешанной смеси. Однако в тексте отсутствуют сведения о том, насколько хорошо перемешанная смесь использовалась в экспериментах.

4. В диссертации приведены результаты расчетов, выполненных с помощью программного пакета "Flow Vision". При этом не описаны конкретные физико-математические модели, задействованные в расчетах, что затрудняет понимание результатов.

Заключение.

В целом, диссертация А.И. Крикуновой выполнена на высоком научном уровне, соответствующем ученой степени кандидата физико-математических наук. На основе современных экспериментальных методов в диссертации получены новые научные результаты по качественным особенностям и количественным характеристикам горения предварительно перемешанной метано-воздушной смеси при различных условиях. Особо следует выделить уникальные экспериментальные данные для условий микрогравитации, полученные на башне сбрасывания в г. Бремен (Германия).

Основные результаты диссертации изложены в 12 публикациях (в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК), и докладывались на 5 международных и нескольких российских научных конференциях.

Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации и полученные автором основные результаты.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Считаю, что диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п. 9), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Анастасия Игоревна Крикунова – присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, профессор, главный научный сотрудник отделения твердотопливных ракетных двигателей Государственного научного центра Российской Федерации – федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»

4 декабря 2017 г.

Черкасов Сергей Гелиевич

Почтовый адрес: ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438

Контактный телефон: +7 (495) 456-20-62

Адрес электронной почты: sgcherkasov@yandex.ru

Подпись д. ф.-м. н., профессора Черкасова С.Г. удостоверяю:

Ученый секретарь

Государственного научного центра Российской Федерации – федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», кандидат военных наук

Ю.Л. Смирнов

Почтовый адрес: ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438

Контактный телефон: +7 (495) 456-93-12

Адрес электронной почты: kerc@elnet.msk.ru



Я, Черкасов Сергей Гелиевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Крикуновой Анастасии Игоревны, и их дальнейшую обработку.