

ОТЗЫВ

официального оппонента 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.

Выявление закономерностей и особенностей поведения пламени в условиях, отличных от земных, является **актуальной задачей**, как с точки зрения фундаментальных исследований процессов горения, так и для разработки устройств и технологий, работающих в условиях пониженной или повышенной гравитации. В настоящее время результатов экспериментальных исследований процессов горения в условиях микрогравитации представлено в литературе крайне мало, но они являются важным базисом для верификации результатов численного моделирования с использованием новых расчетных моделей. Кроме того, они дают возможность оценить основные характеристики пламени, определяющиеся природой горения, а не комбинацией с внешними силами. Несомненно важным является тот факт, что надежные экспериментальные данные могут быть использованы для предсказания поведения пламени при пожарах на космических станциях, спутниках, при разработке алгоритмов действий в нештатной ситуации. Все выше перечисленное определяет **практическую ценность** работы. Также стоит подчеркнуть интересные зависимости частоты мерцания пламени от состава смеси и интенсивности гравитационного воздействия, что может стать основой для алгоритмов распознавания режимов горения при проектировании устройств, работающих в динамически меняющихся условиях воздействия внешних сил.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Общий объем работы 147 страниц, включая 65 рисунков. Список литературы содержит 165 библиографических ссылок.

Во введении приведено обоснование актуальности работы, сформулированы цели и задачи, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе приведен обзор работ, посвященных исследованиям процессов горения в условиях невесомости, а также описанию важнейших характеристик пламени, которые значительно изменяются под действием гравитационных сил.

Во второй главе представлены экспериментальные установки, на которых проводились исследования, подробно описаны используемые в работе экспериментальные методики, а также подходы к анализу экспериментальных данных. Экспериментальные исследования А.И. Крикуновой проводились в условиях микрогравитации, а также в нормальных земных условиях. Условия микрогравитации были реализованы на уникальном вакуумно-динамическом экспериментальном стенде «Droptower» в Центре прикладных космических технологий и микрогравитации (ZARM, Германия). В условиях земной гравитации эксперименты проводились при ориентации горелки вверх (основной поток направлен против вектора гравитации) и вниз (поток направлен по направлению гравитационного вектора). В работе использовались современные методы диагностики основных параметров пламени, такие как термоанемометрия, оптическая диагностика хемилюминесценции пламени с высокой частотой регистрации, метод Particle Image Velocimetry, метод лазерно-индуцированной флуоресценции радикалов OH.

Третья глава посвящена изучению условий стабилизации конического пламени в широком диапазоне вариаций расхода и состава горючей смеси. Задача решалась с использованием комбинации экспериментальных методов и моделирования в программном пакете Flow Vision. В работе использовалось внешнее тело-стабилизатор в форме кольца. Оптимизация геометрических параметров проводилась при помощи определения границ проскока и уноса пламени, оценки характеристик изотермического и реагирующего потоков на выходе из сопла. В итоге подобранный метод позволил проводить исследования с бедным и богатым пламенем в широком диапазоне скоростей. Полученные результаты, кроме того, имеют важное значение с точки зрения практического применения, поскольку могут быть использованы в качестве рекомендаций для стабилизации пламени в реальных горелочных устройствах.

В четвертой главе представлены основные экспериментальные и расчетно-теоретические результаты работы. В диссертации проведены

исследования и сравнения основных характеристик пламени в условиях микрогравитации, нормальной земной гравитации и при переориентации горелки таким образом, чтобы направление потока совпадало с направлением вектора гравитации. Измерена скорость распространения фронта пламени в метано-воздушной смеси, кривизна вершины пламени, частота колебаний фронта пламени. Показано изменение границ проскока и уноса пламени при изменении направления распространения фронта пламени по отношению к направлению вектора ускорения свободного падения. Это количественно подтверждает влияние гравитационных сил на пределы устойчивого горения и позволяет прогнозировать изменение данных пределов в невесомости, которые, очевидно, будут отличаться от пределов в нормальных гравитационных условиях. Кроме того, данные результаты дают возможность предполагать, что отличными будут и пределы воспламенения, что с практической точки зрения важно при установлении правил техники пожаробезопасности в безгравитационных условиях (например, на МКС). В работе предложена зависимость частоты мерцания пламени от коэффициента избытка топлива смеси и величины гравитационных сил. На основе результатов численного моделирования показан механизм влияния гравитационных сил на пламя предварительно перемешанной смеси.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна положений, результатов и выводов, сформулированных в диссертации не вызывает сомнений, поскольку экспериментальные исследования проведены в уникальных условиях, при постановках задач, не встречающихся ранее в литературе. В работе получен ряд интересных новых результатов, касающихся характеристик пламени перемешанного метано-воздушного пламени в широком диапазоне определяющих параметров.

Замечания.

1. В тексте диссертации встречаются жаргонные и некорректные выражения, например, «обратная гравитация», «молекулярное перемешивание», «земные условия», «устройства горения», «схема окисления горения» и т.д.

2. В списке литературы часть ссылок не содержит полных выходных данных, например, [44-46] и др. В списке условных обозначений не приведены выражения для ряда безразмерных критериев, что затрудняет знакомство с материалом диссертации, так как в тексте иногда упоминание тех или иных критериев имеет место ранее, чем их определение в последующих разделах. В диссертации, кроме того, обнаружено существенное количество орфографических и пунктуационных неточностей и опечаток.
3. При весьма подробном рассмотрении в диссертации различных неустойчивостей, имеющих место в пламенах, и анализе большого количества литературных источников, посвященных данному вопросу, автору, возможно, следовало бы провести более четкую классификацию. Так, отнесение неустойчивости, индуцированной силами плавучести, к неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, представляется неочевидным, несмотря на упоминание в некоторых работах. Часто неустойчивость в струях, связанная с уменьшением плотности, рассматривается как абсолютная неустойчивость к осесимметричной глобальной моде, что проявляется в возникновении автоколебаний. Взгляды различных авторов на эти механизмы и соответствующая терминология зачастую разнятся.
4. Весьма сжато в работе описаны, либо вообще не описаны подходы, использованные для моделирования реагирующего течения: модель турбулентности, модель радиационного переноса. По модели химического реагирования упомянута одна необратимая брутто-реакция, при этом не ясно, это реакция 1.2 из обзора, либо автор имел в виду другой механизм. Отсутствует информация по верификации используемой модели.
5. Результаты экспериментов по флуоресценции радикалов ОН в условиях микрогравитации, являются, безусловно, уникальными, однако на основании этих результатов в диссертации отсутствуют какие-либо выводы, кроме самого факта их получения.

Заключение.

Диссертационная работа А.И. Крикуновой выполнена на высоком современном научном уровне. Вышеизложенные замечания не снижают

ценности научного вклада исследований в развитие теории процессов горения. Основные результаты диссертации изложены в 12 публикациях (4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 8 - в тезисах и трудах конференций), докладывались и обсуждались на международных и российских научных конференциях.

Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации.

Диссертационная работа представляет собой законченный научный труд. Результаты выполненных исследований хорошо структурированы и изложены в логичном порядке.

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

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

Член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, профессор, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

7 декабря 2017 г.  Маркович Дмитрий Маркович

Почтовый адрес: проспект Академика Лаврентьева, д. 1, г. Новосибирск, Россия, 630090

Контактный телефон: +7 (383) 330-90-40

Адрес электронной почты: director@itp.nsc.ru

Подпись член-корр. РАН, д. ф.-м. н., профессора Марковича Д.М.
удостоверяю:

Ученый секретарь

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской
академии наук, к.ф.-м.н.



М.С. Макаров

Почтовый адрес: проспект Академика Лаврентьева, д. 1, г. Новосибирск,
630090 Контактный телефон: +7(383) 330-90-40
Адрес электронной почты: director@itp.nsc.ru

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