

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу
Дементьева Александра Александровича
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В
ГАЗОВЗВЕСЯХ С УЧЕТОМ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ФАЗ»,
представленную на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Газовзвеси порошков различных веществ встречаются в природе, технике, технологии. Порошки металлов, их окислов используются в современных порошковых технологиях. В процессах их переработки также получают газовзвеси порошков. Газовзвеси частиц возникают и в процессах добычи полезных ископаемых, мельничных производствах, деревообработке, при получении порошков и нанопорошков металлов электровзрывом проводников. и др. Данные композиции обладают повышенной физико-химической активностью и являются потенциально пожаро- и взрывоопасными, например как в случае взвеси угольной пыли в метановоздушной среде, сформированная при добыче угля.

В процессе движения фронта пламени, мелкодисперсные частицы угля со стен выработок, смешиваются с газом и создают еще более опасную пожаро-взрывоопасную ситуацию.

С другой стороны взвеси порошков используются и как как тушащие средства при горении газовых смесей (тушащие порошки, используемые в средствах огнепреграждения и взрывоподавления в угольных шахтах), а также при тушении пожаров с использованием порошковых огнетушителей.

Порошки инертных материалов очень широко используются и как тушащие средства для газов, высоковольтных электрических установок и для создания огнепреграждающих пылевых заслонов в шахтах и производственных помещениях в которых существует опасность возникновения горючих газовых смесей.

Таким образом, исследование процессов горения и воспламенения газодисперсных систем является важной областью научно-технического знания, и имеет четко выраженный научный и прикладной интерес, и является, безусловно, актуальной для создания безопасных условий проведения технологических процессов, в которых на отдельных стадиях образуются взвеси горючих частиц, в газе, содержащем окислитель.

Диссертация А.А. Дементьева состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников. Объем диссертации составляет 138 страниц. Диссертация хорошо оформлена и написана ясным языком.

В первой главе проведен обзор научно-технической литературы посвященной горению дисперсных сред. Рассмотрены экспериментальные и теоретические работы по гашению горения газовых смесей инертными порошковыми составами.

В обзоре представлены работы имеющие предметом исследования горение газозвесей с реакционноспособными частицами. Отмечено, что моделировании горения и воспламенения газозвесей в большинстве математических моделей не учитывается движение смеси за счет теплового расширения среды. Подобное движение среды может влиять на теплообмен между дисперсионной средой и дисперсной фазой, и соответственно оказывать влияние на скорость распространения фронта пламени по газозвеси.

Сформулированы цели и задачи исследования:

- разработать модели и провести анализ влияния теплового расширения и относительного движения фаз при распространении ламинарного пламени в реакционноспособных газозвесах инертных частиц в реагирующем газе, частиц реагирующих с окислителем газовой фазы, в гибридной структуре.

Во второй главе представлена постановка задачи о распространении ламинарного пламени в реагирующем газе состоящем из горючего, окислителя и инертного газа, с взвесью реакционноспособных частиц. Реакция протекает гомогенно в газовой фазе и гетерогенно на поверхности частиц. Окислитель в

газовой фазе расходуется на горючий газ и на дисперсную фазу с образованием газообразных продуктов.

Представлены результаты тестирования методики и программы.

В третьей главе представлена модель распространения ламинарного пламени в газе с инертной пылью с учетом теплового расширения газовой смеси и относительного движения фаз. Модель отличается от описанной во второй главе тем, что в ней отсутствует реакция на поверхности частиц, не учитывается изменение концентрации окислителя в газовой смеси, радиус частиц не изменяется. Исследования зависимости стационарной скорости пламени от параметров задачи.

Расчет на основе модели с учетом теплового расширения показывает, что скорость пламени уменьшается, не смотря на то, что частицы во фронте пламени не успевают нагреться, забрав тепло из зоны химической реакции. Этот эффект обусловлен меньшей температурой газа позади фронта реакции, в связи с этим, и меньшим объемным расширением газа.

В четвертой главе рассматривается распространение ламинарного пламени в газовзвеси с реагирующими частицами. Изучено горение реакционноспособных частиц в газовой смеси окислителя (кислорода) и инертного газа. В задаче вводится условие отсутствия газообразного горючего. Исследовано распространение пламени в газовзвеси горючих частиц в газовой смеси горючего и окислителя. Рассматривается газовзвесь, состоящая из смеси газообразного горючего с воздухом и частиц, взвешенных в газе, и способных к гетерогенной химической реакции с окислителем газовой фазы.

Проведено сравнение результатов численного моделирования распространения ламинарного пламени в пылевоздушной газовзвеси и экспериментальных данных. Для экспериментальных данных, полученных в широком диапазоне концентрации угольной пыли в газовзвеси (Eckhoff, 2003), сравнение с результатами расчетов дает близкие результаты.

Основные положения выносимые на защиту и их анализ:

1 Разработана модель распространения пламени в гибридной газовзвеси, с учетом гомогенных и гетерогенных химических реакции, движение газа за счет

теплового расширения, массообмен, теплообмен и взаимодействие между фазами при ламинарном распространении пламени. При учете теплового расширения относительное уменьшение скорости пламени при одинаковой массовой концентрации инертных частиц на 30-40% больше. Получены зависимости скорости распространения пламени от массовой концентрации, размера инертных частиц и концентрации горючего в газовой смеси.

2 Скорость пламени в газозвеси реагирующих с окислителем газовой фазы частиц увеличивается с ростом массовой концентрации частиц до значений, заметно больших стехиометрического соотношения. Максимум скорости распространения пламени смещен от стехиометрического соотношения в сторону избытка горючих частиц. Это происходит из-за увеличения площади протекания реакции на поверхности частиц с окислителем газовой фазы. Эффект наблюдается для частиц различных размеров и сопровождается их недогоранием.

3 Показано, что в случае малых начальных концентраций концентраций горючего в газе, присутствие реагирующих частиц увеличивает скорость горения. В обогащенных же смесях, активные частицы способны оказывать тормозящее воздействие на пламя, подобно инертным частицам.

5. При стехиометрическом соотношении горючего и окислителя в газовой фазе, температура сгорания ниже, чем в смеси без частиц. В бедной метановоздушной смеси мелкие частицы способны догорать после сгорания и повышать температуру за фронтом пламени. В бедных гибридных смесях, скорость распространения пламени больше, что следует учитывать при создании систем безопасности.

Разработанная модель качественно и количественно описывает наблюдаемые особенности распространения пламени в газозвесах с учетом относительного движения фаз. Выполненные с использованием разработанной модели количественные расчеты достаточно хорошо описывают процессы распространения ламинарного пламени в зоне химической реакции с учетом инерции частиц. Это говорит о необходимости учитывать не только тепловую, но и динамическую релаксацию между фазами.

Достоверность проведенных исследований и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации определяется:

- качественным и полным анализом известных научных результатов;
- обоснованностью математической модели и использованием классических методов математического моделирования;
- сходимостью численного решения задач горения газовзвесей при уменьшении шагов разностной схемы;
- тестированием методик;
- совпадением результатов численного моделирования с экспериментом.

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

- разработана модель распространения пламени в гибридной газовзвеси, учитывающая гомогенные и гетерогенные химические реакции, движение газа за счет теплового расширения, массообмен, теплообмен и динамическое взаимодействие между фазами при ламинарном распространении пламени;
- скорость пламени в газовзвеси реагирующих с окислителем газовой фазы частиц увеличивается с ростом массовой концентрации частиц до значений, значительно больших стехиометрического соотношения и затем начинает уменьшаться;
- в случае малых концентраций газового горючего присутствие в гибридной смеси реагирующих частиц увеличивает скорость фронта пламени, а в богатых же смесях, реакционноспособные частицы могут оказывать тормозящее воздействие на пламя, подобно инертным частицам;
- для всех изученных газовзвесей, во фронте пламени наблюдается повышенная концентрация частиц, которая объясняется их инерцией и зависит от размера частиц ;
- зависимость скорости распространения пламени в газовзвеси необходимо учитывать при проектировании автоматических систем взрывоподавления и пожаротушения при определении времен задержки их срабатывания.

Считаю, что в представленной диссертационной работе А.А. Дементьева содержится решение актуальной задачи МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ГАЗОВЗВЕСЯХ С УЧЕТОМ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ФАЗ, имеющей существенное значение для теплофизики и теоретической теплотехники.

Основные результаты диссертации полно представлены в 7 печатных работах. Три из них опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК для опубликования исследований по теме диссертации: «Физика горения и взрыва» - 1, «Известия вузов. Физика» - 1, «Вестник ТГУ. Математика и механика» - 1, и 4 работы в материалах конференций.

Содержания автореферата диссертации соответствует основным идеям и выводам диссертации.

Имеются замечания по работе:

1. Следовало бы кратко пояснить физический смысл уравнений (2.1-2.12, стр.41-42) и граничных условий к ним, пределы их применимости. Указать размерности введенных величин (стр.43-46), подобно тому, как это сделано на стр.47. Важно было бы отметить роль вращения газовзвесей в исследуемых процессах.
2. В ряде случаев неоднозначны подписи к рисункам (рис.2.4, стр.59, рис.2.5, стр.62) или рисунки неудобны для рассмотрения (рис.3.1,стр.70-71; рис.3.9,стр.82-84; рис.4.1,стр.95-97; рис.4.2,стр.97-98; рис.4.10,стр.110-111; рис.4.13,стр.115-116; рис.4.14,стр.117-118).
- 3.Было бы важно указать каковы абсолютные изменения скорости фронта горения, и при каких абсолютных изменениях размеров частиц они достигаются, рис.3.2. Важно было бы показать, что эти условия физически (а не только математически) реализуемы, как это сделано в разделе 4.3.
- 4.Вывод 2 в заключении к диссертации на наш взгляд сформулирован в своей первой половине не совсем удачно.

С учетом сказанного выше считаю, что диссертация Дементьева Александра Александровича, представляет завершённую научно-исследовательскую работу, и

соответствует п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника

Доктор физико-математических наук, профессор,
Заслуженный работник высшей школы РФ,
профессор кафедры Общей физики Национального
исследовательского Томского политехнического университета

02.12.2014

Ю.И. Тюрин

Тюрин Ю.И.

Подпись профессора Тюрина Ю.И. заверяю:

Ученый секретарь университета



[Handwritten signature of O.A. Ananьеva]

Ананьева О.А.

Тюрин Юрий Иванович

Профессор кафедры общей физики федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Национальный
исследовательский Томский политехнический университет»,
634050, г.Томск, проспект Ленина, дом 30, тел.8(3822)56-36-21
e-mail: tyurin@tpu.ru, сайт: <http://tpu.ru>