

**ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА
ПРИ ЗАЖИГАНИИ ТВЕРДЫХ, ЖИДКИХ И ГЕЛЕОБРАЗНЫХ
ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИСТОЧНИКАМИ НАГРЕВА
МАЛЫХ РАЗМЕРОВ**

Глушков Д.О., к.ф.-м.н., Стрижак П.А., д.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: dmitriyog@tpu.ru

В результате анализа статистики пожаров на территории России в 2010–2012 гг. установлено, что крупномасштабные катастрофы техногенного характера могут возникать при условиях, которые в рамках современных представлений нельзя считать необходимыми и достаточными для реализации процессов зажигания. По данным МЧС во многих случаях возгорания происходили на локальных участках в результате взаимодействия конденсированных веществ (КВ) с источниками ограниченного теплосодержания (разогретые частицы, образующиеся при резке, сварке, трении, шлифовании металлов, проволочки и оголенные проводники, формирующиеся при перегрузке электрической проводки). Перечисленные выше источники относятся к локальным (по площади действия, энергетическому запасу, времени действия и т. д.). До последнего времени общая теория зажигания конденсированных веществ при взаимодействии с такими источниками отсутствовала. Это вызывало определенные трудности прогнозирования необходимых и достаточных условий воспламенения, а также последующего стационарного горения с соответствующими материальными потерями.

Коллективом авторов настоящей работы проведены широкомасштабные теоретические и экспериментальные исследования условий взаимодействия большой группы высокоэнергетических материалов с типичными локальными источниками ограниченной энергоемкости. В качестве объектов исследования рассматривались смесевые твердые, жидкие и гелеобразные топливные композиции.

В общем случае (для гелеобразного КВ) при исследовании тепло-массопереноса предполагалась реализация следующей схемы процесса. Разогретая до высоких температур одиночная частица малых размеров инерционно осаждается на поверхность гелеобразного КВ (см. рис. 1), температура которого близка к криогенной. Топливо содержит окислитель и горючее (сжиженный кислород и гидразин соответственно). За счет энергии частицы приповерхностный слой топлива прогревается. Ускоряются процессы плавления КВ, находящегося в начальный момент времени при криогенных температурах в твердом агрегатном со-

стоянии. При достижении условий парообразования происходит испарение гелеобразной структуры «горючее – окислитель». Пары горючего и окислителя поступают в область, заполненную инертным газом. В малой окрестности частицы формируется парогазовая смесь. При достижении достаточных для воспламенения температур и концентраций компонентов смеси происходит зажигание.

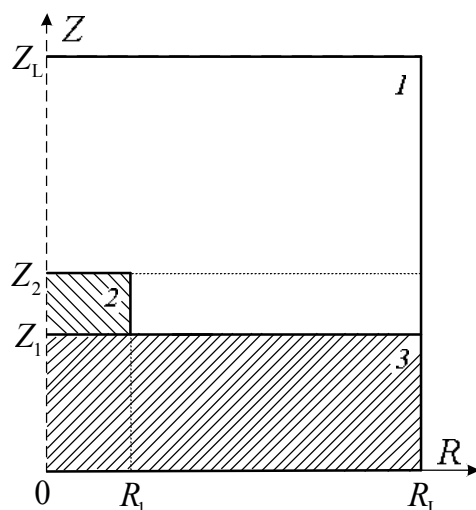


Рис. 1. Схема области решения задачи зажигания гелеобразного КВ:
1 – парогазовая смесь, 2 – разогретая частица, 3 – гелеобразное топливо

Частные постановки задач тепломассопереноса при воспламенении твердых, жидких и гелеобразных КВ и соответствующие математические модели представлены в работах [1–8]. Следует отметить, что в отличие от гелеобразных топлив жидкие и твердые КВ в начальный момент времени имеют температуру близкую к комнатной (300 К). Для металлизированных смесевых топлив при моделировании рассматривались процессы твердофазного зажигания, для жидких и гелеобразных – газофазного.

Математические модели для систем «конденсированное вещество – разогретая неметаллическая частица», «конденсированное вещество – разогретая металлическая частица», «конденсированное вещество – разогретая проволочка», «конденсированное вещество – сфокусированное излучение» и других построены на базе системы нелинейных дифференциальных уравнений математической физики для описания процессов переноса энергии, количества движения и массы паров горючего вещества, химического реагирования, прогрева воспламеняемого вещества и последующих фазовых переходов. Для оценки адекватности разработанных моделей и верификации результатов исследований разработаны алгоритмы проверки консервативности используемых разностных

схем и проведены соответствующие экспериментальные исследования на установке, схема которой изображена на рисунке 2.

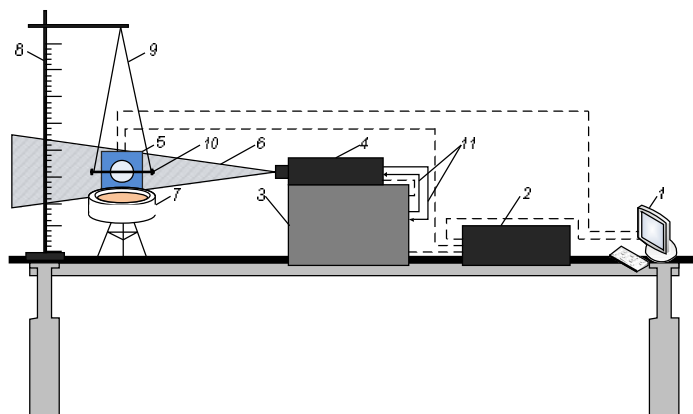


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

1 – персональный компьютер; 2 – синхронизатор персонального компьютера, кросскорреляционной камеры и лазера; 3 – генератор лазерного излучения; 4 – двойной твердотельный импульсный лазер; 5 – кросскорреляционная камера; 6 – световой «нож»; 7 – ёмкость с жидким конденсированным веществом; 8 – штатив; 9 – подвес; 10 – стальной стержень; 11 – канал движения охлаждающей жидкости лазера

Экспериментальные исследования процессов тепломассопереноса проведены современным потоковым методом диагностики с использованием измерительной системы PIV. Основными элементами установки являются кросскорреляционная видеокамера 5, двойной импульсный твердотельный лазер 4, синхронизирующий процессор 2 и персональный компьютер 1.

В результате численных и экспериментальных исследований [1–8] процесса теплопереноса при зажигании смесевых твердых, жидких и гелеобразных топлив установлены:

- основные закономерности физико-химических процессов;
- масштабы влияния параметров источников энергии (теплосодержание, площадь и время действия, шероховатость поверхности, пористость структуры и т. д.), внешних параметров (температура, влажность и скорость воздуха и т. д.), процессов (испарение, термическое разложение, кристаллизация, радиационный теплообмен и т. д.) на условия и характеристики зажигания;
- оптимальные (по времени зажигания) и предельные (по температуре источника) условия воспламенения;
- характерные механизмы и режимы зажигания.

Созданы прогностические модели, позволяющие оценить пожарную опасность локального нагрева типичных жидких, твердых и гелеобразных конденсированных веществ, а также сформулированы соответствующие рекомендации для пожарных служб.

Разработаны модели, позволяющие рассчитать необходимые и достаточные условия ресурсоэффективного зажигания гелеобразных и твердых смесевых топлив в специальных и энергетических установках.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-08-33002).

Список литературы:

1. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Numerical Simulation of the Ignition of Liquid Fuel with a Limited-Energy Source under Turbulent Flow Conditions // Russian Journal of Physical Chemistry B. – 2013. – Vol. 7. – № 3. – P. 302–312.
2. Zakharevich A.V., Strizhak P.A. Analyzing the Characteristic Times of Physical-Chemical Processes Running at Ignition of a Liquid Condensed Substance under Local Heating // Journal of Engineering Thermophysics. – 2013. – Vol. 22. – № 2. – P. 157–168.
3. Glushkov D.O., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Numerical Study of Ignition of a Metallized Condensed Substance by a Source Embedded into the Subsurface Layer // Russian Journal of Physical Chemistry B. – 2013. – Vol. 7. – № 3. – P. 269–275.
4. Глушков Д.О., Стрижак П.А. Особенности постановки задач при численном исследовании зажигания металлизированного конденсированного вещества локальным источником энергии // Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т. 31. – № 1. – С. 126–132.
5. Глушков Д.О., Кравченко Е.В., Стрижак П.А. Моделирование зажигания смесевого топлива источником ограниченного теплосодержания при учете зависимости теплофизических характеристик материалов и веществ от температуры // Химическая физика и мезоскопия. – 2012. – Т. 15. – № 2. – С. 208–215.
6. Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Численное исследование процессов тепло-массопереноса при зажигании гелеобразного топлива источником ограниченной энергоемкости // Инженерно-физический журнал. – 2013. – Т. 86. – № 3. – С. 652–660.
7. Глушков Д.О., Жданова А.О., Стрижак П.А. Математическое моделирование зажигания гелеобразного конденсированного вещества одиночными разогретыми металлическими и неметаллическими частицами // Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т. 34. – № 5. – С. 22–33.
8. Захаревич А.В., Барановский Н.В., Стрижак П.А. Экспериментальное исследование процессов зажигания нагретой частицей биологически трансформированного опада листовых пород // Бутлеровские сообщения. – 2012. – Т. 32. – № 13. – С. 95–99.

УДК 541.13+11

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОКИСЛЕНИЯ СПЛАВА РЬ-ВІ

Барбин Н.М., д.т.н., Терентьев Д.И., к.х.н.,

Алексеев С.Г., к.х.н., Порхачев М.Ю., к.п.н.

Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург,

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург

E-mail: NMBarbin@mail.ru

Сплавы РЬ-ВІ находят широкое применение в качестве теплоносителя на атомных электростанциях. Изучение его окисления в различных условиях имеет научный и практический интерес и важно для обеспече-