

6. Zakharevich A. V., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I., and Kuznetsov V. T., Ignition of model composite propellants by a single particle heated to high temperatures // Combustion, Explosion, and Shock Waves. - 2008. - Vol. 44. - No. 5. - Pp. 543-546.

536.468

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ЗАЖИГАНИЯ
БЕНЗИНА ОДИНОЧНОЙ НАГРЕТОЙ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЕЙ**

Захаревич А.В., к.ф.-м.н., Осотова Д.С.

Томский политехнический университет, Томск

E-mail: bet@tpu.ru

Введение

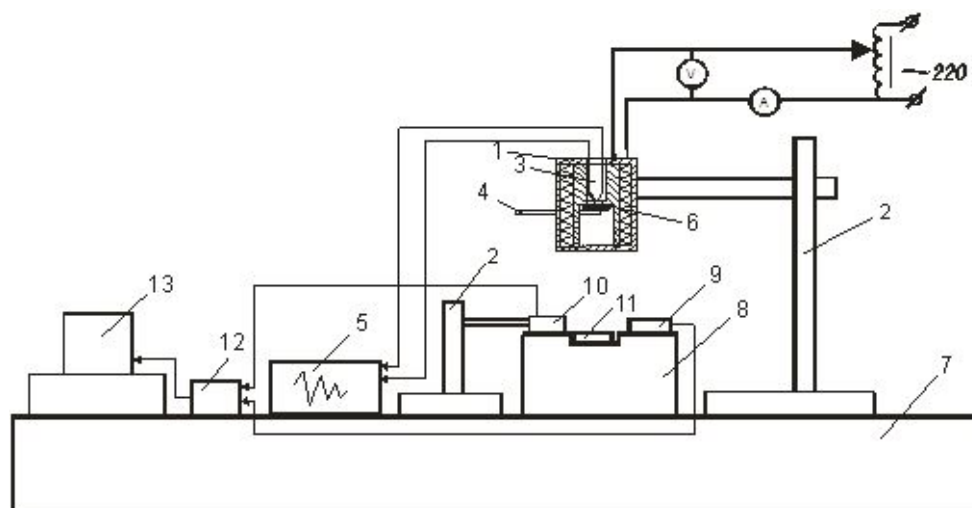
В современных методах прогноза пожарной опасности горючих веществ обычно используются модели [1], в которых источником нагрева является или поток высокотемпературных газов, или достаточно масштабный очаг возгорания (объемный источник высоких температур). Но источники воспламенения, встречающиеся в производственных условиях, весьма разнообразны как по природе своего появления, так и по запасу энергии. Многие пожары возникают в результате воздействия на способные гореть вещества (в том числе, жидкости) частиц металлов или их окислов, нагретых до высоких температур. Одиночные частицы достаточно малых размеров часто являются источниками возникновения пожаров на промышленных и гражданских объектах [2]. Поэтому исследование процесса зажигания жидких пожароопасных веществ является практически значимым и представляет также большой интерес потому, что механизмы зажигания жидкостей намного сложнее, чем конденсированных веществ в твердом состоянии [3-5].

Цель работы – экспериментальное исследование механизма зажигания бензина «горячей» металлической частицей, являющейся источником зажигания.

Методика эксперимента

Для проведения эксперимента с пожароопасной жидкостью использовалась экспериментальная установка рис.1, основными элементами которой являлись нагревательная печь и контрольно-измерительный блок [6]. Объект исследования - бензин с октановым числом 92. Эксперименты проводились с частицей-источником зажигания в форме диска фиксированного диаметра ($d_p = 6 \cdot 10^{-3}$ м) и высоты ($h_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м). Стальная частица при падении в вертикальный сосуд ($h = 40 \cdot 10^{-3}$ м, $d = 50 \cdot 10^{-3}$ м) с жидким топливом (объем 2 мл) находилась в твердом состоянии и не деформировалась. Эксперименты проводились в хорошо воспроизводимых условиях при постоянном значении температуры ис-

точника нагрева не менее 6 раз подряд. Во всех экспериментах проводилась видеосъемка изучаемых процессов. Нагрев металлического диска до заданной температуры осуществлялся в нагревательной печи (рис. 1), обеспечивающей стабильную температуру рабочего объема (до 1400 К) в течение продолжительного времени. Погрешность измерения начальной температуры частицы, оцениваемая по методике [7], не превышала 1–3 %.



*Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки:
1-нагревательная печь, 2-штатив, 3-хромель-алюмелевая термопара, 4-керамический стержень, 5-устройство контроля температуры, 6-стальная частица, 7-рабочая поверхность экспериментальной установки, 8-огнестойкая площадка, 9-приемник излучения и регистратор пламени, 10-излучатель, 11-вертикальный стеклянный цилиндрический сосуд, 12-аналого-цифровой преобразователь (АЦП), 13- персональный компьютер.*

Для оценки масштабов изменения температуры частицы – источника зажигания бензина в процессе падения решена задача теплопроводности для диска. Рассматривался период времени падения частицы на поверхность пожароопасного вещества. Задача решалась при граничных условиях третьего рода на поверхности диска. Коэффициент теплообмена рассчитывался по зависимостям [8] с учетом изменения скорости движения частицы. Установлено, что за время падения температура поверхности частицы с жидким топливом уменьшается не более чем на 4 К. Этим отклонением при анализе можно пренебречь, так как в экспериментах достигалась температура частицы более 1273 К. Соответственно, за время падения от выхода из нагревательной печи до воспламенения (не более 0,2 с) изменение температуры поверхности частицы составляло не более 0,4%. Такая погрешность в определении T_p является приемлемой.

Результаты экспериментальных исследований

Эксперименты показали, что воспламенение бензина происходит в паровой фазе до попадания частицы на поверхность этой горючей жидкости при температуре частицы более 1353 К. Если T_p меньше этой величины, то воспламенение не происходит, даже если частица погружается в бензин полностью или частично. Варианты воспламенения и не воспламенения иллюстрируют видеogramмы на рис. 2а и 2б. Дальнейшее повышение T_p обеспечивает безусловное воспламенение бензина в паровой фазе.

Полученный результат можно объяснить следующим образом. Бензин является легкоиспаряющейся жидкостью. Поэтому даже при комнатной температуре происходит его интенсивное испарение, достаточное, как показывают эксперименты, для создания в воздухе критической концентрации паров бензина. Эти пары при движении от поверхности испарения перемешиваются с воздухом. При попадании нагретой до высоких (более 1353 К) температур частицы в данную горючую смесь происходит воспламенение последней.

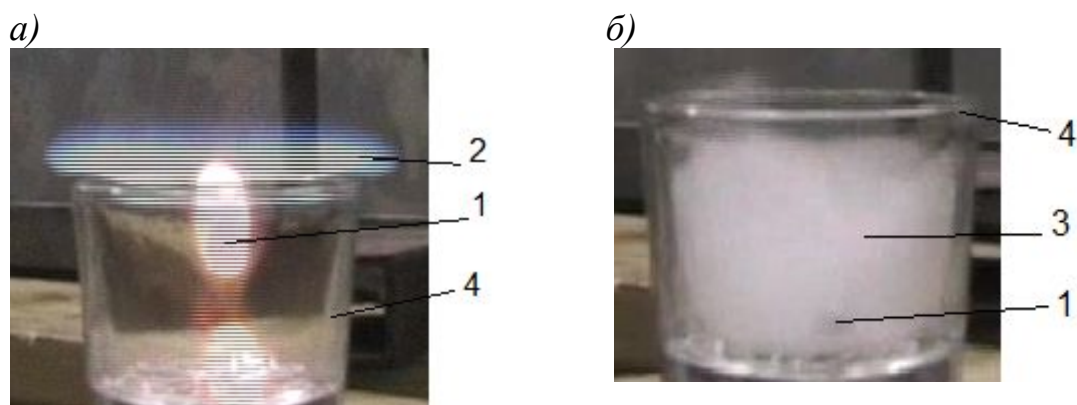


Рисунок 2. Кадры видеogramмы эксперимента с воспламенением (а) и без воспламенения (б) бензина: 1 – металлическая частица; 2 – пламя; 3 – пары бензина высокой концентрации; 4 – стеклянный вертикальный сосуд.

Интересным является то, что при температурах ниже критической воспламенение бензина не происходит даже при попадании частицы в слой этой жидкости. В этом случае значительная часть энергии, аккумулированной в частице, затрачивается на интенсивное испарение бензина. Но парообразные продукты реализации этого процесса имеют низкую, недостаточную для воспламенения температуру. По мере удаления от поверхности фазового перехода они охлаждаются все больше за счет теплообмена с окружающим воздухом. Вероятность воспламенения смеси паров бензина с воздухом быстро снижается по мере их отхода от поверхности испарения. Полученные результаты позволяют сделать вы-

вод о том, что воспламенение бензина одиночными нагретыми до высоких температур частицами возможно только непосредственно в слое паров бензина на некотором удалении от поверхности испарения даже при комнатной температуре (20-25 градусов). Необходимым условием воспламенения в этом случае является высокая температура частицы.

Следует особо отметить, что механизмы воспламенения дизельного топлива [9] и бензина существенно различаются. Зажигание дизельного топлива происходит после контакта с «горячей» стальной частицей вблизи поверхности жидкости. Так как толщина этого слоя меньше высоты стальной частицы, то последняя зажигала жидкость, находясь в ней. Данное различие обусловлено особенностями процессов фазовых переходов этих двух дистиллятных топлив. Скорость испарения бензина существенно выше, а теплота фазового перехода ниже по сравнению с дизельным топливом.

На основании результатов проведенных исследований можно также сделать вывод, что открытые поверхности бензина при обычных комнатных температурах являются эффективными поставщиками горючего для реакций воспламенения, источниками которых могут быть не только «горячие» частицы, но и другие источники высоких температур (накаленная проволока, высокотемпературные элементы нагревательных приборов, открытый огонь и др).

Результаты выполненных экспериментов также позволяют сделать заключение о высокой пожарной опасности открытых поверхностей бензина даже в условиях, когда нагретые до температур более 1353 К частицы пролетают на некотором расстоянии от поверхности испарения этой горючей жидкости. Особенно опасными в этих условиях являются работы по сварке и резке металлов. При их проведении образуются частицы с температурой, превышающей, как правило, температур плавления сталей (например, 1773 – 1873 К).

Полученные результаты являются основанием для уточнения и развития математических моделей зажигания горючих жидкостей и жидких топлив [10,11] локальными источниками энергии.

Проведенные впервые экспериментальные исследования механизма зажигания бензина одиночными нагретыми до высоких температур частицами позволили выделить основные закономерности этого процесса. Установлено, что зажигание бензина происходит только при взаимодействии смеси его паров с воздухом и «горячей» частицы при концентрациях паров, соответствующих условиям испарения бензина при комнатной температуре. Если температура частицы ниже критической, то воспламенение не происходит ни в паровой фазе, ни на поверхности

бензина, даже если частица погружается в него полностью или частично.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» (шифр федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).

Список литературы:

1. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 352с.
2. Акинин Н.И., Булхов Н.Н., Гериш В.А. Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах // Пожаровзрывобезопасность. - 2010. - Т. 19. - №10. - С. 53-55.
3. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. - М.: Наука, 1987. - 502 с.
4. Kuznetsov G. V., Mamontov G. Ya., Taratushkina G. V. Ignition of a condensed substance with 'hot' particle // Khimicheskaya Fizika. - 2004. - Vol. 23. - No 3. - Pp. 67-73.
5. Strakhov V.L., Garashchenko A.N., Kuznetsov G.V., Rudzinskii V.P. Mathematical simulation of thermophysical and thermochemical processes during combustion of intumescent fire-protective coatings // Combustion, Explosion and Shock Waves. - 2001. - Vol. 37. - No. 2. - Pp. 212-220.
6. Zakharevich A. V., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I., and Kuznetsov V. T., Ignition of model composite propellants by a single particle heated to high temperatures // Combustion, Explosion and Shock Waves. - 2008. - Vol. 44. - No. 5. - Pp. 543-546.
7. Полежаев Ю.В., Юревич Ф.Б. Тепловая защита. - М.: Энергия, 1976. - 392 с.
8. Исаченко В.П. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981. - 415 с.
9. Zakharevich A.V., Belkov N.S. Experimental research of heat transfer conditions influence on the distillate fuels ignition characteristics // EPS Web of Conferences. - 2014. - Vol. 75. - Pp. 1-4.
10. Vysokomornaya O.V., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Simulation of the ignition of liquid fuel with a local source of heating under conditions of fuel burnout // Russian Journal of Physical Chemistry B. - 2011. - Vol. 5. - No. 4. - Pp. 668-673.
11. Kuznetsov G. V. and Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle-liquid fuel interface on the ignition characteristics // Journal of Engineering Thermophysics. - 2009. - Vol. 18. - No. 2. - Pp. 162-167.