

Список литературы:

1. Тепловизионная диагностика термической структуры газовых потоков / А.В. Ефимова, А.В. Зайцев, Б.П. Жилкин, Д.Н. Токарев, К.В. Зайцев, Х. Дашпунцаг // Вестник ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. Теплоэнергетика. 2004. №3(33).С. 139-143.

536.468

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ «ГОРЯЧЕЙ» СТАЛЬНОЙ ЧАСТИЦЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Захаревич А.В., к.ф.-м.н.

Томский политехнический университет, Томск

E-mail: bet@tpu.ru

Введение

В результате экспериментальных исследований [1-3] установлено, что нагретые до высоких температур частицы в форме диска являются источниками устойчивого зажигания типичных жидких топлив (керосина, дизельного топлива, мазута) при температурах выше 1230 К. Разработаны математические модели и проведены теоретические исследования условий и характеристик зажигания жидких топлив при нагреве локальными источниками энергии в форме диска [4,5]. Достаточно часто на практике нагретые частицы имеют форму сферы, поэтому целесообразными являются исследования зажигания жидких топлив частицами в форме сферы и установление степени влияния формы частицы на параметры зажигания.

Целью данной работы является экспериментальное исследование процесса зажигания пожароопасных топлив одиночной, нагретой до высоких температур стальной частицей в форме сферы и сравнение полученных данных с результатами аналогичных исследований для частиц в форме диска.

Методика эксперимента

Для исследований использовалась экспериментальная установка [6], основными элементами которой являлись нагревательная печь и контрольно-измерительный блок. При планировании эксперимента была выбрана наиболее типичная схема: металлическая частица падает перпендикулярно поверхности жидкости с малой скоростью — не более 1,7 м/с. На основании такой схемы выбиралось фиксированное значение высоты падения частицы, при котором не происходило самовоспламенение топлива от нагревательной печи. Частица погружалась в жидкость не полностью. Эксперименты проводились для частицы в форме сферы (диаметром $d_q=6 \cdot 10^{-3}$ м). Использовался стеклянный вертикальный сосуд размерами $h=4 \cdot 10^{-2}$ м и $d=5 \cdot 10^{-2}$ м. Температура частицы (T_q)

существенно превышала начальную температуру жидкого топлива (300 K). Для обеспечения достоверности результатов измерений проводилась серия опытов (4–6 раз подряд в одинаковых условиях). Во всех экспериментах проводилась видеосъемка изучаемых процессов. Время задержки зажигания τ_{ind} определялось с момента контакта частицы с поверхностью пожароопасного вещества до момента появления пламени.

Результаты экспериментальных исследований

Опыты проводились со сферическими металлическими частицами, диаметр которых был равен диаметру частиц-дисков, исследованных ранее [1]. На рис. 1–3 приведены экспериментальные зависимости времени задержки зажигания τ_{ind} от температуры частицы T_q при воспламенении керосина, дизельного топлива и мазута стальными частицами в форме сферы и диска. Кривые построены в результате аппроксимации экспериментальных данных.

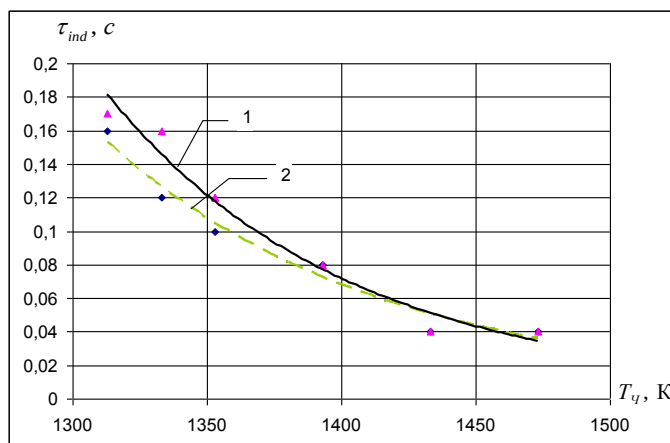


Рис. 1. Экспериментальные зависимости времени задержки зажигания дизельного топлива от температуры частицы: 1 – сфера $d_q = 6 \cdot 10^{-3}$ м; 2 — диск $d_q = 6 \cdot 10^{-3}$ м, $h_q = 3 \cdot 10^{-3}$ м.

Аппроксимационные кривые получены методом наименьших квадратов. Коэффициент вариации экспериментальных данных при постоянной температуре составлял не более 10 %. Эксперименты проводились для частиц с одинаковой площадью миделевого сечения. Как видно из результатов экспериментов, отличие времен задержки зажигания частицами в форме диска и сферы для исследуемых жидких топлив составляет не более 18 %. Такое отклонение экспериментальных данных наблюдается при начальной (минимальной) температуре зажигания жидкого топлива. При дальнейшем повышении температуры частиц рассеяние экспериментальных данных уменьшается.

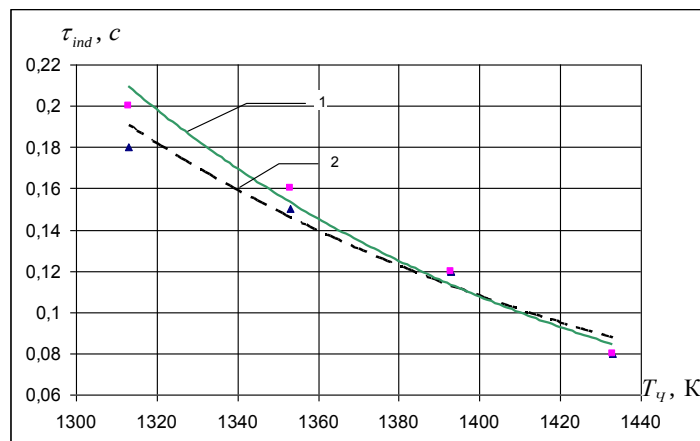


Рис. 2. Экспериментальные зависимости времени задержки зажигания керосина от температуры частицы: 1 — сфера $d_q = 6 \cdot 10^{-3}$ м; 2 — диск $d_q = 6 \cdot 10^{-3}$ м, $h_q = 3 \cdot 10^{-3}$ м.

На основании результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод, что форма частицы оказывает несущественное влияние на характер зажигания жидкого топлива. Установленные закономерности можно объяснить следующим образом. Эксперименты для трех вышеназванных жидких топлив проводились в идентичных условиях: частицы погружались в жидкость в среднем не более чем на 1,5 мм. При идентичных глубинах погружения и диаметрах диска и сферы площади контакта S_k частиц разной формы различались: Значение S_k было в 1,5 раза меньше для частицы-сферы. Поэтому и количество теплоты, передаваемое в жидкость, в экспериментах с частицами в форме сферы было ниже, чем в опытах с частицами в форме диска. Отличие же во времени задержки зажигания, очевидно, обусловлено тем, что частица-диск после погружения в дизельное топливо нагревала его в основном за счет теплоотвода с боковой поверхности. Торцевая поверхность частицы-диска слабо участвовала в процессе передачи энергии в топливо, после того как диск достигал дна сосуда с жидкостью. В отличие от диска частица-сфера соприкасалась с дном сосуда только в одной точке, остальная же часть поверхности охлаждалась за счет теплоотвода в топливо. Формально площадь контакта с жидкостью частицы-диска, лежащей на дне, была в 1.5 раза меньше, чем частицы-сферы, в аналогичных условиях.

Однако необходимо отметить, что диск опускался на дно сосуда и проходил через топливо с конечной скоростью, нагревая жидкость за счет охлаждения нижней торцевой поверхности в течение интервала времени, соответствующего его движению. При этом образующиеся пары горючего, двигаясь с высокой скоростью вверх, препятствовали

движению частицы и существенно снижали скорость ее перемещения вниз. В результате теплота, аккумулированная в частице, достаточно интенсивно (не менее интенсивно, чем для сферы) передавалась в топливо. И даже после того, как частица достигала дна сосуда, вследствие шероховатости поверхностей стеклянного сосуда и самой частицы между ними не было идеального контакта. Находящееся между их поверхностями в элементах шероховатости (трещины, выемки, зазоры) топливо интенсивно испарялось, и образующиеся при этом парообразные продукты локально выходили из-под диска с высокой оттока.

По этим причинам в итоге разность значений τ_{ind} для частиц в форме сферы и диска составляет не более 18 % в случае относительно низких начальных температур источника нагрева и стремится к нулю при повышении этой температуры.

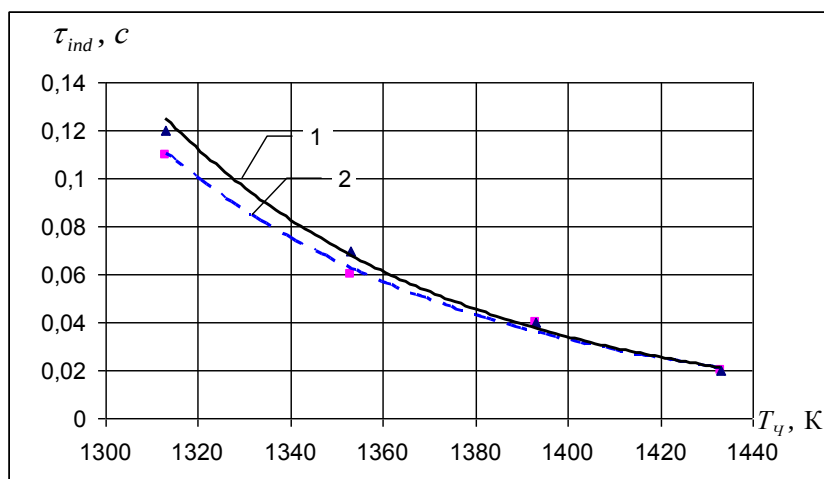


Рис. 3. Экспериментальные зависимости времени задержки зажигания мазута от температуры частицы: 1- сфера $d_q=6 \cdot 10^{-3}$ м; 2 - диск $d_q=6 \cdot 10^{-3}$ м, $h_q=3 \cdot 10^{-3}$ м.

Сопоставление численных значений τ_{ind} , полученных в идентичных условиях для дизельного топлива, керосина и мазута (см. рис. 1,2 и 3 соответственно), позволяет сделать еще один важный вывод. Во всем охваченном диапазоне изменения температур наименьшее значение времени задержки воспламенения зафиксировано при зажигании мазута. Этот неочевидный на первый взгляд результат скорее всего обусловлен особенностями процессов образования паров исследованных жидких топлив. Мазут относится к топливам с высокой долей коксового остатка процесса пиролиза (крекинга) исходного вещества. Поэтому на переход из жидкого в состояние, характерное для воспламенения этого топлива, необходимо при прочих адекватных условиях наименьшее количество энергии из трех рассматриваемых жидкостей. При испарении

(точнее газификации) керосина образуется минимальное по сравнению с дизельным топливом и мазутом количество твердых продуктов, и, соответственно, теплота его испарения максимальна. На подготовку процесса воспламенения единицы массы керосина необходимо затратить наибольшее по сравнению с мазутом и дизельным топливом количество теплоты. Следовательно, время задержки зажигания керосина в одинаковых с мазутом и дизельным топливом условиях должно быть наибольшим.

Заключение

Экспериментально исследовано зажигание группы типичных жидких топлив одиночными, нагретыми до высоких температур металлическими частицами в форме сферы и диска. На основании полученных в результате экспериментальных исследований зависимостей τ_{ind} от T_c можно сделать вывод о возможности использования полученных ранее результатов для частиц в форме диска при анализе времен задержки воспламенения жидких топлив частицами в форме сферы при их идентичном характерном размере. Отклонение τ_{ind} от истинного значения при этом не будет превышать погрешности экспериментальных методик определения времен задержки воспламенения в рассматриваемых условиях.

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

Список литературы:

1. Захаревич А. В., Кузнецов Г. В., Максимов В. И., Панин В. Ф., Равдин Д. С. Оценка пожарной опасности мазута в условиях перегрузки, хранения и транспорта на тепловых электрических станциях // Известия Томского политехнического университета. - 2008. - Т. 313, № 2. - С. 25-28.
2. Strizhak P. A., Zakharevich A.V. 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 - No. 2. - Pp. 157-168.
3. Захаревич А.В., Кузнецов Г.В., Бельков Н.С. Влияние условий теплопередачи на характеристики зажигания жидкого топлива // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2014. - № 7. - С. 9-12.
4. Strizhak P. A. Numerical estimation of the influence of natural convection in liquid on the conditions of ignition by a local heat source // Journal of Engineering Thermophysics. - 2011 - Vol. 20 - No. 2. - Pp. 211-216.
5. Strizhak P. A. Characteristics of heat and mass transfer at ignition of a thin film of condensed liquid substance by hot particles of different configuration // Journal of Engineering Thermophysics. - 2011 - Vol. 20 – No. 4. - Pp. 459-467.

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-