

Зажигание дистиллятных топлив одиночной нагретой до высоких температур частицей.

Е.В. Федорук, А.В. Захаревич.

Томский политехнический университет, 634034 Томск

Излагаются методика и результаты экспериментального исследования закономерностей зажигания двух типичных жидких топлив – керосина и дизельного топлива одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей. Установлены зависимости времени задержки зажигания от начальной температуры частицы. Сформулирована физическая модель процесса зажигания одиночной нагретой стальной частицей жидкого горючего вещества.

Введение

Зажигание жидких топлив ранее рассматривалось, в основном, применительно к зажиганию капель конденсированных веществ (КВ) [1,2]. Это обусловлено спецификой использования жидких топлив в различных двигателях [3,4], в распыленном состоянии. Но на практике достаточно часто происходят возгорания пожароопасных жидкостей, находящихся в резервуарах, разлитых по твердой поверхности или по поверхности жидкости с более высокой плотностью.

К настоящему времени разработаны физические и теоретические основы зажигания твердых конденсированных веществ при нагреве за счет конвекции, излучения, теплопередачи от массивного нагретого твердого тела [5,6] или

одиночных части [7,8]. Но не опубликовано экспериментальных данных об основных закономерностях зажигания пленок жидких топлив локальными источниками энергии относительно малой энергоёмкости в зависимости от глубины слоя исследуемого вещества.

Особенность процесса зажигания керосина одиночной частицей заключается в его нестационарности, обусловленной конечным запасом энергии источника зажигания. Кроме того при взаимодействии горячих частиц с жидкостью большая доля теплоты расходуется на реализацию фазового перехода «жидкость – пар». Конечные размеры источника нагрева также оказывают определенное влияние на теплопередачу в прогретой зоне. Характерными для жидких топлив также должны быть малые времена задержки воспламенения, потому что быстрое остывание частицы и малая глубина прогрева жидкости исключают длительное аккумулялирование энергии в приповерхностном слое керосина. Все выше изложенное обуславливает целесообразность проведения экспериментальных исследований процесса зажигания пленок жидких топлив одиночными нагретыми до высоких температур частицами.

Целью данной работы является экспериментальное исследование закономерностей зажигания керосина и дизельного топлива нагретой до высоких температур одиночной частицей.

Методика эксперимента

При планировании эксперимента была выбрана наиболее типичная схема – частица падает перпендикулярно поверхности жидкости с малой скоростью (менее 2 м/с). Из всего многообразия возможных форм частиц был выбран цилиндр малой высоты – диск. Это наиболее простая конфигурация. Варьировалась глубина слоя исследуемого вещества ($3 \cdot 10^{-2}$ м, $5 \cdot 10^{-2}$ м). Моделировались условия разлива жидких топлив по твердой поверхности.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка [9], основными элементами которой являлись нагревательная печь и контрольно – измерительный блок. Эксперименты проводились с металлической частицей – источником зажигания в форме диска фиксированного диаметра ($d=6 \cdot 10^{-3}$ м) и высоты ($h=3 \cdot 10^{-3} \div 7 \cdot 10^{-3}$ м). Высота и диаметр диска выбирались так, чтобы можно было варьировать площадью поверхности контакта частицы с жидкостью. Металлическая частица падала в стеклянный вертикальный сосуд размером $h=28 \cdot 10^{-2}$ м и $d=90 \cdot 10^{-2}$ м. Температура частицы ($T_{\text{ч}}$) существенно превышала начальную температуру керосина (293 К). Для обеспечения достоверности результатов измерений опыты проводились 5÷8 раз подряд в одинаковых условиях. Нагрев металлического диска до заданной температуры осуществлялся в нагревательной печи, обеспечивающей стабильную температуру рабочего объема (до $T=1473$ К) в течение продолжительного времени. Нагретая частица падала с фиксированной высоты 0,15 м в жидкость. Моменты

соприкосновения «горячей» стальной частицы с поверхностью топлива и появления пламени фиксировались цифровой видеокамерой с частотой 50 кадров в секунду. Время задержки зажигания (τ_{ind}) определялось от момента контакта частицы с поверхностью жидкого топлива до момента появления пламени. Систематическая погрешность измерения начальной температуры частицы, оцениваемая по методике [10], не превышала $1 \div 2$ %. Установлено, что за время падения температура поверхности контакта частицы с жидкостью уменьшается не более чем на $3 \div 4$ градуса. Этим отклонением при анализе можно пренебречь, так как в экспериментах температура частицы составляла не менее 1273 К.

Результаты экспериментальных исследований

Проведенные эксперименты (рис.1) показали, что дизельное топливо зажигается с более значительной задержкой, чем керосин, что можно объяснить меньшей «летучестью», в сравнении с керосином. Так же, при увеличении слоя исследуемого вещества, в которое погружалась частица, увеличивается время задержки зажигания, как для дизельного топлива, так и для керосина. Это объясняется тем, что большая часть тепла, аккумулированного в частице, затрачивается на теплоотдачу в исследуемое топливо и на осуществление фазового перехода жидкости в пар. После появления пламени наблюдалось устойчивое горение. Стабильное зажигание для керосина происходило при температуре $T_{г} > 1313$ К, а дизельного топлива при $T_{г} > 1353$ К. Кривые, построенные в результате аппроксимации

экспериментальных данных, приведены на рис.1. Видно, что увеличение $T_{\text{ч}}$ приводит к значительному уменьшению времени задержки зажигания.

Можно отметить, что пламя, если судить по видеограммам, появляется в окрестности верхней грани частицы, имеющей наибольшую температуру. Это, вероятно, является следствием того, что пары у поверхности жидкости имеют слишком низкую температуру – недостаточную для зажигания и незначительно отличающуюся от температуры испарения.

Анализ полученных результатов показывает, что размеры частиц (теплосодержание) играют большую роль в иницировании зажигания керосина и дизельного топлива (рис.1.). Т.е можно сделать вывод, что этот процесс является существенно неодномерным и, кроме того, предельные условия зажигания определяются запасом тепла, аккумулированного в частице. Следовательно, для моделирования исследуемого процесса нельзя, как и предполагалось в [11], использовать при умеренных температурах модель массивной бесконечной пластины или другие модели, в которых тепловой поток в зону реакции является постоянным или уменьшается только вследствие роста температуры зажигаемого топлива.

При взаимодействии одиночной нагретой до высоких температур частицы с поверхностью жидкости происходит испарение последней, сопровождающееся интенсивным парообразованием с поглощением теплоты фазового перехода. Образовавшиеся пары интенсивно вдуваются в пристенную область. Между частицей и жидкостью образуется паровой зазор, который снижает интенсивность теплообмена между источником

зажигания и жидким топливом. Вблизи поверхности испарения пары горючего имеют относительно низкую температуру, незначительно отличающуюся от температуры фазового перехода при соответствующем уровне давления. Поэтому воспламенение паров горючего в малой окрестности поверхности испарения (и тем более на этой поверхности) произойти не может. Но при обтекании горячей частицы продукты испарения горючего нагреваются и при определенном запасе энергии, аккумулированной в частице, может произойти прогрев паров горючего до температур, при которых начинается процесс горения. Максимальный разогрев продуктов испарения жидкого топлива возможен вблизи окрестности верхней грани частицы (наиболее удаленной от поверхности испарения). Если у этой грани инициирование реакции горения не происходит, то при дальнейшем удалении паров горючего от частицы воспламенение становится невозможным.

Заключение.

При проведении экспериментов были получены зависимости времени задержки зажигания исследуемых дистиллятных топлив. Установлено, что время задержки зажигания керосина меньше аналогичного времени для дизельного топлива. А так же выяснено, что увеличение глубины слоя исследуемого топлива увеличивает время задержки зажигания одиночной нагретой до высоких температур частицей.

Литература:

1. Кумагаи С. Горение: Пер. с японского. – М.: Химия, 1980. – 256 с.
2. Варшавский Г.А. Горение капли жидкого топлива. В кн.: Теория горения порохов и взрывчатых веществ. – М.: Наука, 1982. – С. 87 – 107.
3. Дрегалин А.Ф., Черенков А.С. Общие методы теории высокотемпературных процессов в тепловых двигателях. Изд. Якус-К, 1997.
4. Волков Е. Б., Головков Л. Г., Сырицын Т. Л., Жидкостные ракетные двигатели, М., 1970.
5. Вилунов В.Н. Теория зажигания конденсированных веществ. Новосибирск: Наука, 1984.
6. V.N. Vilynov, V.E. Zarko, «Ignition of Solids» Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, 1989, 442pp.
7. Кузнецов Г.В., Мамонтов Г.Я., Таратушкина Г.В. Численное моделирование зажигания конденсированного вещества нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. 2004. Т. 40, №1. С. 78 – 85.
8. Кузнецов Г.В., Мамонтов Г.Я., Таратушкина Г.В. Зажигание конденсированного вещества «горячей» частицей // Химическая физика. 2004. Т. 23, №3. С. 67 – 72.
9. А.В.Захаревич, В.Т. Кузнецов, Г.В.Кузнецов, В.И.Максимов. Зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной, нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва, 2008, т. 44, №5. С. 10 – 15.
10. Полежаев Ю.В., Юревич Ф.Б. Тепловая защита. М.: Энергия, 1976.

11. Dagaut P., Cathonnet M. The ignition, oxidation, and combustion of kerosene: A review of experimental and kinetic modeling // Progress in energy and combustion science. – 2006. № 32. – P. 48 – 92.

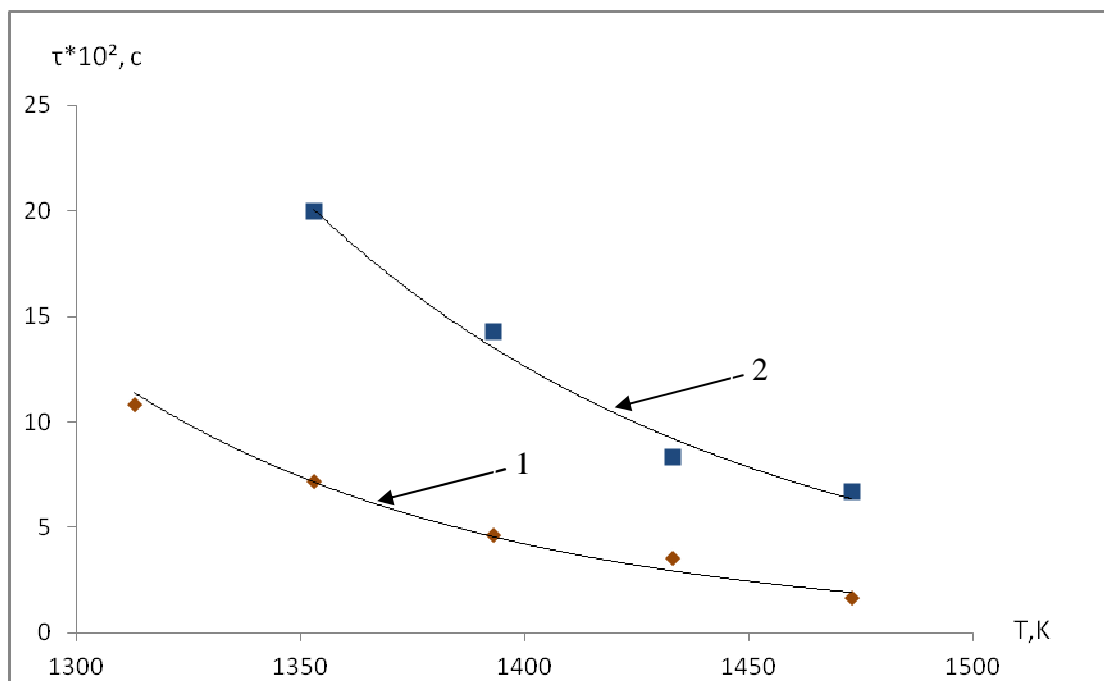


Рис.1. Экспериментальная зависимость времени задержки зажигания керосина и дизельного топлива от начальной температуры частицы диаметром 6 мм и высотой 5 мм. Глубина слоя исследуемого вещества – 3 мм (1 – керосин; 2 –дизельное топливо).

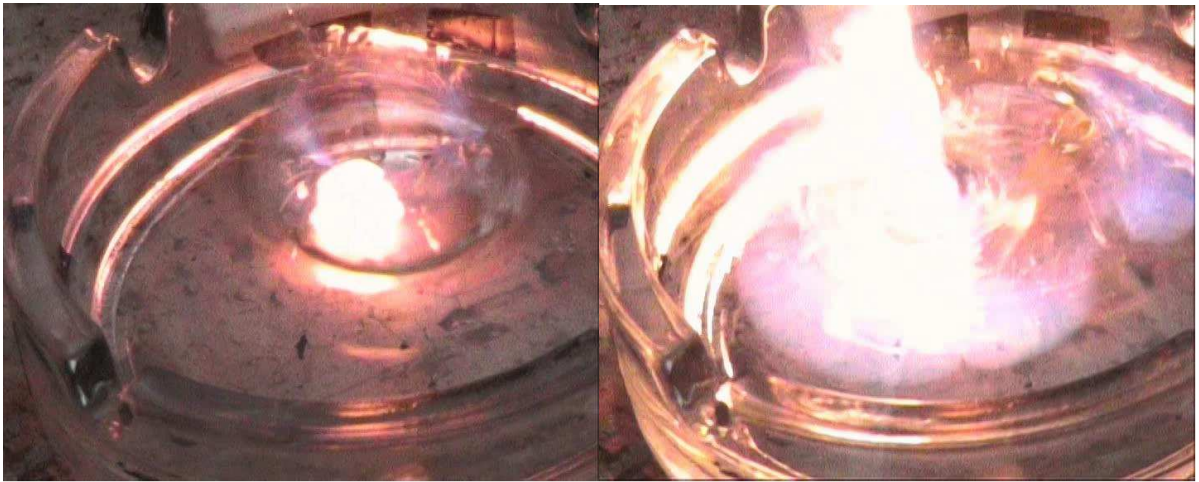


Рис.2. Кадры видеogramмы эксперимента с воспламенением керосина частицей ($d=6 \cdot 10^{-3}$ м, $h=5 \cdot 10^{-3}$ м, глубина слоя топлива $s=5 \cdot 10^{-3}$ м, $T=1473$ К).

1) керосин; 2) пламя; 3) стеклянный сосуд.



Рис.3. Кадр видеogramмы с воспламенением дизельного топлива частицей ($d=6 \cdot 10^{-3}$ м, $h=3 \cdot 10^{-3}$ м, глубина слоя топлива $s=3 \cdot 10^{-3}$ м, $T=1393$ К).

1) дизельное топливо; 2) пламя; 3) стеклянный сосуд.