

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ КАПЕЛЬ КОМПОЗИЦИОННОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ОТХОДА ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ И НЕФТЕЙ

К.Ю. Вершинина

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Функционирование нефтеперерабатывающей, транспортной, энергетической, химической и многих других отраслей промышленности сопряжено с образованием больших объемов жидких отходов. Согласно оценкам, в мире ежегодно образуются миллионы тонн отработанных минеральных масел (дизельных, моторных, трансформаторных, турбинных и др.) [4, 5], проблема утилизации которых приобретает все большую значимость. Одной из перспективных способов утилизации отходов углеобогащения и отходов нефтяного происхождения является их сжигание в составе органоводоугольных топлив [1–3] – композиционных жидких топлив, основными компонентами которого являются вода, уголь (или отходы углепереработки) и горючая жидкость. Важно отметить, что наличие горючей жидкости в составе таких топлив может не только снизить инерционность зажигания, но и улучшить вязкостные свойства органоводоугольной топливной композиции.

Цель работы – экспериментальное определение интегральных характеристик зажигания одиночных капель органоводоугольного топлива на основе угольного отхода (фильтр-кек каменного угля) и отработанного турбинного масла в потоке разогретого окислителя.

Исследуемый топливный состав включал следующие компоненты: фильтр-кек каменного угля (влажный остаток обогащения каменного угля методом флотации) с массовой долей 94.5 %; отработанное турбинное масло с массовой долей 5 %; пластификатор «Неолас» с массовой долей 0.5 %. Взвешенные компоненты смешивались при помощи гомогенизатора MPW-324. Генерация капель осуществлялась электронным дозатором Finnpiptette Novus. При помощи программного комплекса Tema Automotive вычислялся средний радиус капли – R_d . В проведенных экспериментах значение R_d составляло 1 мм.

Для исследования процессов зажигания и горения одиночных капель органоводоугольного топлива использовался стенд, схема которого приведена на рис. 1.

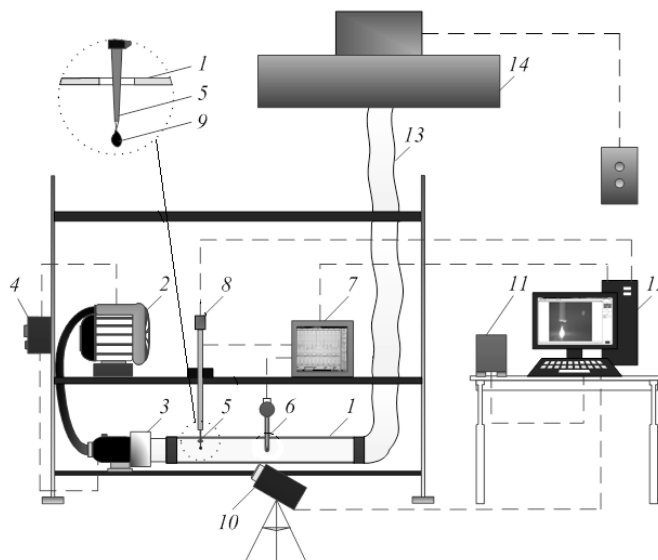


Рис.1 Схема экспериментального стенда № 1: 1 – полый стеклянный цилиндр; 2 – нагнетатель; 3 – воздушонагреватель; 4 – пульт управления; 5 – держатель (или малоинерционная термopapa); 6 – термоэлектрический преобразователь; 7 – регистратор температуры; 8 – координатный механизм подачи капли; 9 – капля органоводоугольного топлива; 10 – высокоскоростная видеокамера; 11 – аналитические весы; 12 – компьютер; 13 – воздуховод; 14 – вытяжная вентиляция

Поток разогретого воздуха внутри полого цилиндра 1 из жаропрочного материала создавался посредством нагнетателя воздуха 2 и нагревателя 3. Одно из технологических отверстий (диаметр 20 мм) в стенке цилиндра 1 служило для помещения образца в поток окислителя с помощью координатного механизма 8. В проведенных экспериментах для подвешивания капли органоводоугольного топлива применялись 3 разных держателя: малоинерционная термopapa, металлическая проволочка, керамический стержень. Координатный механизм 8 помещал образец 9 в цилиндр 1 от его периферии к центру со скоростью 0.5–0.6 м/с. Регистрировались следующие параметры: температура (T_g) и скорость движения (V_g) потока воздуха; температура T_d в центре капли; начальный размер (средний условный радиус R_d) капли; время задержки зажигания (τ_d), горения (τ_b) и полного сгорания ($\tau_c = \tau_d + \tau_b$). Параметр τ_d представлял время с момента ввода капли в цилиндр 1 до выполнения условий начала горения кокса (контролировалось одновременное выполнение неравенства $T_d > T_g$ и достижения скорости изменения T_d не менее 10 К/с).

Установлено, что условия зажигания исследуемого топлива могут реализовываться при температурах существенно ниже, чем традиционно принимаемые (более 1000 К) в топочных камерах энергетических установок. На рис. 2 приведены зависимости τ_d и τ_c от температуры окислителя при использовании разных держателей. Во всех экспериментах зажигание органоводоугольного топлива происходило в строгой последовательности стадий от инертного прогрева и испарения влаги до гетерогенного горения углеродного остатка. На последовательность стадий держатели не оказывали влияние. Увеличение температуры окислителя приводило к значительному снижению как инерционности зажигания, так и времени горения топлива. По расположению кривых на рис. 2 можно заключить, что наибольшее влияние на процесс теплопереноса в системе «разогретый окислитель – капля» имеет керамический стержень (регистрировались максимальные времена задержки зажигания). Наименьшие времена задержки зажигания установлены при размещении капли органоводоугольного топлива в потоке окислителя на спае термопары. При креплении капли органоводоугольного топлива на металлической проволочке зарегистрированы максимальные времена задержки зажигания (по сравнению с экспериментом с использованием термопары). Время полного сгорания капли органоводоугольного топлива (рис. 2, б) зависит от выбора держателя в меньшей степени, чем время задержки зажигания. Данное отличие может быть связано с тем, что этап инертного прогрева образца (включающего испарение влаги, горючей жидкости, термическое разложение фильтр-кека) протекает с поглощением энергии, поэтому перенос тепла от поверхности капли органоводоугольного топлива к держателю или наоборот существенно влияет на длительность этого этапа

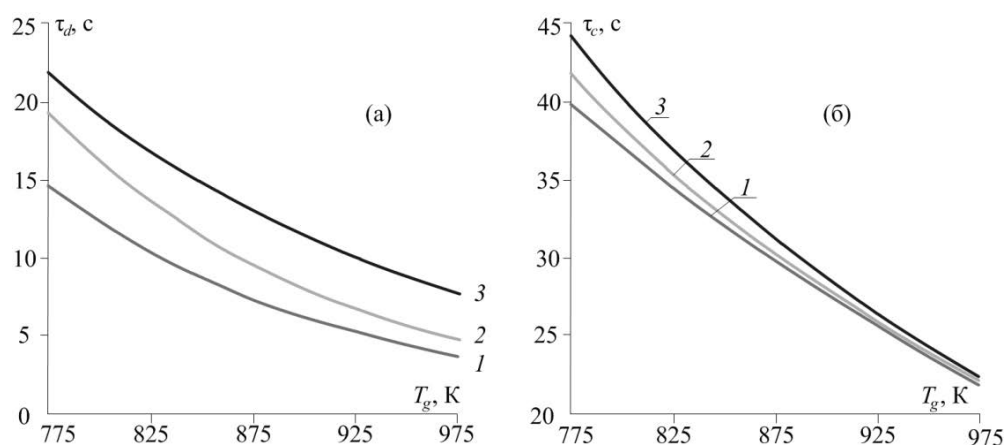


Рис.2 Времена задержки зажигания (а) и полного сгорания (б) капель органоводоугольного топлива от температуры окислителя при применении разных держателей: 1 – спай термопары; 2 – металлическая (сталь) проволочка; 3 – керамический стержень ($R_d \approx 1$ мм, $V_g \approx 3$ м/с)

При повышении характерного размера капли (радиуса R_d) зарегистрировано увеличение времени задержки зажигания (рис. 7, а) и времени ее полного сгорания (рис. 3, б). При использовании в экспериментах спаи термопары и металлической проволочки для размещения капли органоводоугольного топлива в потоке окислителя зарегистрированы достаточно близкие значения времен задержки зажигания топливного образца. При подвешивании образца на керамическом стержне наблюдались большие времена задержки зажигания.

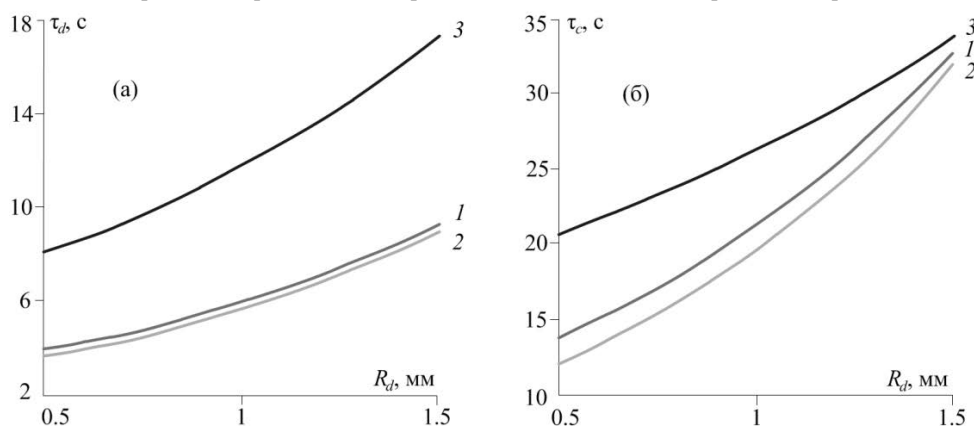


Рис.3 Времена задержки зажигания (а) и полного сгорания (б) капель органоводоугольного топлива от размера капли при применении разных держателей: 1 – спай термопары; 2 – металлическая проволочка; 3 – керамический стержень ($T_g \approx 920$ К, $V_g \approx 3$ м/с)

Из рис. 3, б видно, что с ростом размера капель времени полного сгорания топлива также увеличивались. Следует отметить, что влияние материалы держателя на τ_c уменьшалось при увеличении размера капли органоводоугольного топлива. Сток тепла к держателю составляет малую часть энергии, выделяющейся при реагировании крупной частицы топлива. Таким образом, при исследованиях воспламенения и горения стационарно закрепленной капли органоводоугольного топлива выбор держателя, используемого для размещения капли в потоке имеет значение при достаточно небольших размерах капли (радиусом менее 1.5 мм) и температурах окислителя менее 975 К.

В заключении стоит отметить, что при снижении температуры окислителя наблюдалось нелинейное увеличение времен задержки зажигания и времен полного сгорания капель органоводоугольного топлива. Понижение внешней температуры с 970 К до 770 К приводило к увеличению τ_d , в среднем, в 3.5 раза и увеличению τ_c почти в 2 раза. Размер капли также существенно влияет на характеристики зажигания – при увеличении радиуса образца с 0.5 мм до 1.5 мм наблюдался нелинейный рост τ_d (в среднем в 2.2 раза при креплении капли на спае термопары или металлической проволочке и почти в 3 раза при использовании керамического стержня) и τ_c (в 2.4 раза при подвешивании капли на спай термопары или металлическую проволочку и в 1.6 раз при использовании керамического стержня).

Исследования выполнены за счет средств гранта Российского Научного Фонда (проект № 15–19–10003).

Литература

1. Горлов Е.Г. Композиционные водосодержащие топлива из углей и нефтепродуктов//Химия твердого топлива. – 2004. – № 6. – С. 50–61.
2. Лиштван И.И., Фалюшин П.Л., Смолякова Е.А., Коврик С.И. Топливные суспензии на основе мазута, торфа, древесных отходов и древесного угля//Химия твердого топлива. – 2009. – №1. – С. 3–7.
3. Glushkov D.O., Strizhak P.A., Vershinina K.Yu. Minimum temperatures for sustainable ignition of coal water slurry containing petrochemicals//Applied Thermal Engineering. – 2016. – V. 96. – P. 534–546.
4. International Energy Outlook with projections to 2040. – Washington: Energy Information Administration, 2013. – 234 p.
5. Kontorovich A.E., Epov M.I., Eder L.V. Long-term and medium-term scenarios and factors in world energy perspectives for the 21st century//Russian Geology and Geophysics. – 2014. – V. 55, No. 5-6. – P. 534–543.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕН СОХРАНЕНИЯ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В СЛЕДЕ КАПЕЛЬНОГО ПОТОКА

И.С. Войтков

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Активное развитие различных отраслей промышленности неизбежно сопровождается ростом числа пожаров и возгораний на производствах, которые зачастую приводят к самым катастрофическим последствиям. К таким производствам в первую очередь следует отнести нефтегазодобывающие, нефтегазоперерабатывающие и энергетические комплексы. Поэтому к вопросам пожарной безопасности на таких предприятиях подходят особо тщательно: ужесточаются правила и требования к персоналу, вводятся в эксплуатацию современные автоматические системы пожаротушения на базе микропроцессорных комплексов, предлагаются разнообразные методы ликвидации возгораний и подачи тушащих составов в зону пожара.

Использование распыленной воды при локализации и ликвидации возгораний на сегодняшний день является одним из самых распространенных способов пожаротушения. Разрабатываются, испытываются и вводятся в эксплуатацию системы пожаротушения на базе тонкораспыленной воды [2–4]. Однако до настоящего времени не получено достоверной экспериментальной информации о диапазонах изменения температур продуктов сгорания при воздействии на них капельным потоком, а также значениях характерных времен сохранения пониженных (относительно начальных) температур продуктов сгорания в следе последнего. В связи с этим представляет интерес экспериментальное исследование процесса изменения температуры продуктов сгорания в следе парокapельного потока.

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование динамики изменения температуры продуктов сгорания в следе капельного потока при его движении в пламени.

При проведении исследований использовался экспериментальный стенд (рис. 1) для диагностики двухфазных газо-, парожидкостных потоков, работающий на базе панорамных оптических методов «Particle Image Velocimetry» (PIV) и «Shadow Photography» (SP). Для регистрации температур газовой среды (T_g) в следе капельного потока применялся измерительный комплекс «National Instruments» По основным элементам установка аналогична использованной в экспериментах [1].