

7. N. Arora, N.N. Sharma / *Diamond & Related Materials* 50 (2014) 135–150;
8. D.Sun, R. Hong et al. / *Chemical Engineering Journal* 303 (2016) 217–230;
9. F X. Lu et al. / *Diamond am/Related Materials* 7 (1998) 737 – 741;
10. C. Tendero et al. / *Spectrochimica Acta Part B* 61 (2006) 2 – 30;
11. D.V. Schur et al. / *Carbon* 45 (2007) p.1322–1329 ;
12. N. Arora, N.N. Sharma / *Diamond & Related Materials* 50 (2014) 135–150.

Научный руководитель: А.Я. Пак, к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЖИГАНИЯ ОРГАНОВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ГОРЯЧЕЙ ЧАСТИЦЕЙ

А.Г. Нигай, Д.С. Сивков
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5БМ53

Исследование характеристик зажигания перспективных для энергетики органоводоугольных топлив (ОВУТ) весьма актуально. Т.к. в состав таких топливных композиций входят низкосортные угли (как правило, бурые), отходы углеобогащения (КЕК), отработанные горючие жидкости (моторные, трансмиссионные, трансформаторные, турбинные масла), то их сжигание наряду с выработкой энергии позволит утилизировать твердые и жидкие горючие отходы.

ОВУТ имеют некоторые преимущества по сравнению с традиционными для энергетики топливами (уголь, мазут): более высокие экологические характеристики, меньшая пожарная опасность на стадиях подготовки к сжиганию, экономичность эксплуатации энергоустановок и другие. Изучение процессов зажигания и горения ОВУТ позволит разработать теоретические основы технологии утилизации горючих отходов для выработки энергии.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование предельных условий зажигания ОВУТ горячими частицами и установление влияния параметров локального источника энергии на основную характеристику процесса – время задержки зажигания.

Исследование закономерностей зажигания топлива одиночными горячими частицами выполнено с использованием экспериментального стенда, схема которого приведена на рисунке 1. Основные характеристики индукционного процесса установлены в рамках методики [1].

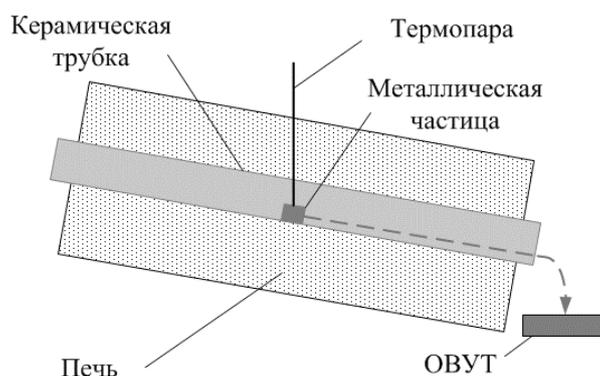


Рис. 1. Схема экспериментального стенда для изучения зажигания ОВУТ горячей частицей

В каждом эксперименте керамическая трубка муфельной печи прогревалась до заданной температуры. Контроль температуры осуществлялся интегрированной в печь платина-платинородиевой термопарой (диапазон измеряемых температур 273–1873 К, систематическая погрешность ± 1 К, инерционность не более 1 с). При стабилизации температуры в печи металлическая частица помещалась в центр керамической трубки (рисунок 1). Контроль температуры частицы осуществлялся хромель-алюмелевой термопарой (диаметр спая 2 мм, диапазон измеряемых температур 273–1373 К, систематическая погрешность ± 3 К). После равномерного прогрева металлической частицы она сбрасывалась с высоты не более 50 мм на поверхность ОВУТ. Площадь поверхности топлива составляла около 20 см², толщина слоя – около 10 мм. Процессы, протекающие в течение индукционного периода, регистрировались высокоскоростной видеокамерой Phantom v411 (скорость съемки 4 200 кадров в секунду при полном разрешении 1280x800).

В качестве источников зажигания использовались стальные частицы в форме диска размерами: $r_p=5$ мм, $z_p=4$ мм; $r_p=5$ мм, $z_p=6$ мм; $r_p=6$ мм, $z_p=5$ мм; $r_p=6$ мм, $z_p=8$ мм. Начальная температура частиц T_p варьировалась в диапазоне 1223–1373 К. В состав ОВУТ входили два компонента: КЕК каменного угля марки Г (обогащительная фабрика шахты имени Кирова, Кемеровская область) и отработанное автомобильное моторное масло. Основные характеристики КЕК-Ка представлены в таблице 1. Средний размер частиц угля в КЕКе около 100 мкм, массовая доля угля – 47 %.

Табл. 1. Результаты технического и элементного анализа сухого КЕКа Г

Технический анализ			Элементный состав				
A^d , %	V^{daf} , %	Q_s^r , МДж/кг	C^{daf} , %	H^{daf} , %	N^{daf} , %	S^{daf} , %	O^{daf} , %
33.82	43.11	22.16	75.12	4.64	0.02	0.23	19.98

Отработанное автомобильное моторное масло имеет следующие характеристики: плотность 871 кг/м³ (при 293 К); влажность 0.28 % масс; зольность 0.78 % масс; температура вспышки 405 К; температура воспламенения 491 К; теплота сгорания 43.98 МДж/кг.

Смешивание компонентов ОВУТ (в пропорции 85 % КЕК Г и 15 % отработанное автомобильное моторное масло) выполнялось в течение 10 минут гомогенизатором MPW-324.

Основная характеристика исследуемого процесса – время задержки зажигания t_d определялось по результатам анализа видеозаписей. Значение этого параметра соответствовало промежутку времени от установления контакта локального источника нагрева с поверхностью ОВУТ до момента появления пламени в окрестности металлической частицы. Для оценки случайных погрешностей результатов измерений t_d эксперименты проводились не менее 5 раз при идентичных условиях.

Систематические погрешности измерения начальной температуры частицы и времени задержки зажигания, обусловленные погрешностями используемых средств измерений, составляли не более 2 %. Случайные ошибки определения значений t_d не превышали 15–20 %.

На рисунке 2 представлены типичные кадры видеодиаграммы процесса взаимодействия горячей стальной частицы с ОВУТ.

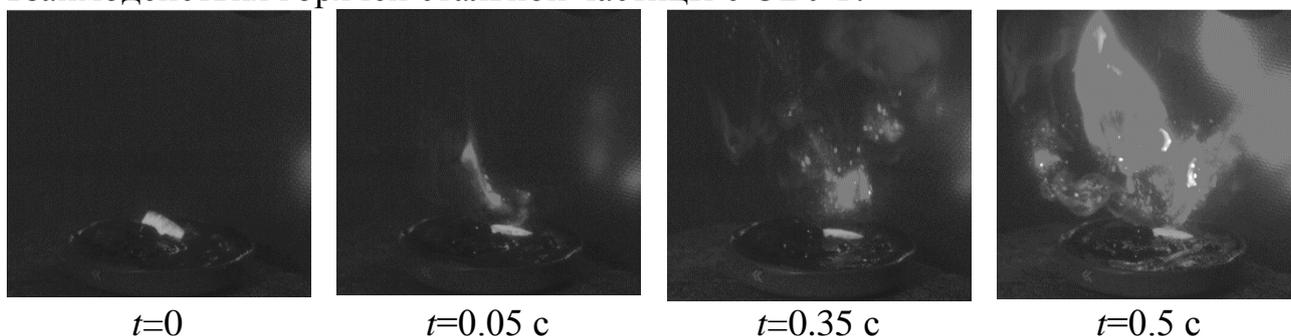


Рис. 2. Кадры видеодиаграммы зажигания ОВУТ горячей стальной частицей при $T_p \approx 1300$ К, $r_p = 6$ мм, $z_p = 8$ мм

Для анализа закономерностей зажигания топлива регистрировались характеристики только устойчивых процессов инициирования, переходящих в стационарное горение ОВУТ. Считалось, что зажигание суспензионного топлива устойчиво, если длительность горения составляла не менее 5 с [2].

Видно (рисунок 2), что в начальный момент взаимодействия локального источника энергии с топливом происходит интенсивный прогрев приповерхностного слоя, сопровождающийся испарением жидкого горючего компонента и термическим разложением органической части угля. В окрестности разогретой частицы формируется горючая парогазовая смесь. При движении в результате диффузионно-конвективного теплопереноса вдоль боковых граней частицы парогазовая смесь прогревается до температуры зажигания, происходит воспламенение. Стоит отметить, что при интенсификации испарения горючей жидкости в результате прогрева приповерхностного слоя топлива мелкодисперсные частицы угля уносятся потоком газов в среду окислителя. При прохождении зоны пламенного горения парогазовой смеси происходит зажигание частиц угля (рисунок 2).

На рисунке 3 приведены зависимости времени задержки зажигания ОВУТ от начальной температуры локального источника энергии при варьировании размеров последнего.

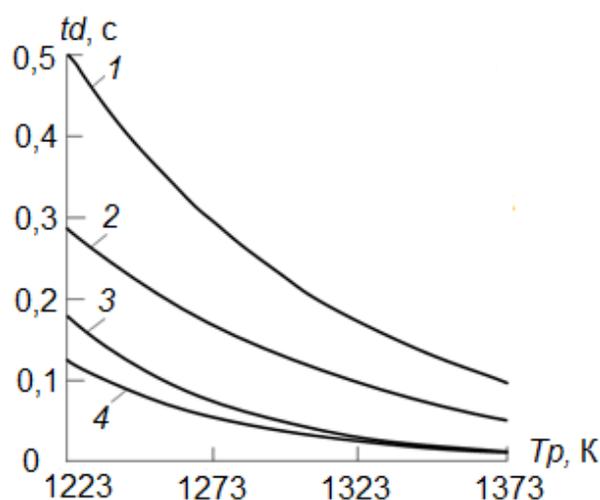


Рис. 3. Зависимость времени задержки зажигания ОВУТ от начальной температуры горячей стальной частицы при: 1 – $r_p=5$ мм, $z_p=4$ мм; 2 – $r_p=5$ мм, $z_p=6$ мм; 3 – $r_p=6$ мм, $z_p=5$ мм; 4 – $r_p=6$ мм, $z_p=8$ мм

Зависимости $t_d=f(T_p)$ имеют нелинейный характер при варьировании начальной температуры горячей частицы в достаточно широком диапазоне. В соответствии с теорией зажигания конденсированных веществ [3–6] интенсивность переходного процесса возрастает с увеличением теплосодержания источника, характеризующегося его размерами и начальной температурой. При увеличении же последней влияние размеров частицы на времена задержки зажигания становится менее масштабным (рисунок 3).

Анализ результатов экспериментальных исследований также позволил установить минимальную начальную температуру частицы $T_p \approx 1200$ К, при которой в системе «горячая частица – ОВУТ – воздух» происходит зажигание. Относительно высокое значение T_p можно объяснить следующим. При тепловом контакте локального источника энергии с ОВУТ его зажиганию предшествуют стадии инертного прогрева, испарения горючей жидкости, термического разложения угля. При прогреве приповерхностного слоя суспензионного топлива в окрестности границы контакта с частицей, а также протекании эндотермических фазовых переходов и термического разложения происходит достаточно существенное охлаждение источника. В условиях $T_p < 1200$ К оставшейся энергии недостаточно для прогрева и инициирования горения парогазовой смеси.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-6491.2016.8).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Захаревич А.В., Кузнецов В.Т., Кузнецов Г.В., Максимов В.И. Зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной, нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. – 2008. – № 5. – С. 54–57.

2. Wang S., Chen H., Liu N. Ignition of expandable polystyrene foam by a hot particle: An experimental and numerical study // Journal of Hazardous Materials. – 2015. – V. 283. – P. 536–543.
3. Вильямс Ф.А. Теория горения. – М.: Наука, 1971. – 615 с.
4. Вилунов В.Н. Теория зажигания конденсированных веществ. – Новосибирск: Наука, 1984. – 190 с.
5. Зельдович Я.Б. и др. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе. – М.: Наука, 1980. – 478 с.
6. Vilyunov V.N., Zarko V.E. Ignition of solids. – Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989. – 442 p.

Научный руководитель: Д.О. Глушков, к.ф.-м.н., инженер-исследователь, каф. АТП ЭНИН ТПУ.

ЗАЖИГАНИЕ КАПЕЛЬ ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДЫ РАЗНОГО КАЧЕСТВА

К.Ю. Вершинина
Томский политехнический университет
ЭНИН АТП

Одним из перспективных направлений развития теплоэнергетики является разработка и использование различных водоугольных (ВУТ) [1], а также органоводоугольных (ОВУТ) [2] топлив. Сжигание суспензионных топлив представляет значительный интерес, в первую очередь, в целях снижения образования оксидов азота и серы [3, 4], а также расширения сырьевой базы энергопредприятий, поскольку в качестве компонентов ВУТ и ОВУТ возможно эффективно использовать не только качественные угли, но также отходы углеобогащения.

Массовая доля воды в угольных суспензионных топливах значительна и в среднем составляет 40–50%. Это является одним из факторов, сдерживающих промышленное использование ВУТ и ОВУТ, особенно для предприятий, имеющих ограниченный доступ к водным ресурсам. В настоящее время отсутствуют сведения о влиянии качества воды в составе ВУТ и ОВУТ на процесс инициирования их горения, а также оценки возможности использования воды с типичными для энергетики примесями (например, технической воды с тепловой электрической станции) для приготовления ВУТ.

Целью данной работы является определение характеристик зажигания капель водоугольных топлив, приготовленных с использованием воды разной степени очистки.

Компоненты суспензий. Исследовались характеристики зажигания трех топливных составов: