

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ ОДИНОЧНЫХ КАПЕЛЬ КОМПОЗИЦИОННОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ МАССОВОЙ ДОЛИ ТОВАРНОГО УГЛЯ

Н.Е. Шлегель

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б3В

Известно, что сжигание угля в пылевидном состоянии в энергетических установках (в первую очередь, котельном оборудовании) приводит к увеличению эффективности работы последних на 5–7 % по сравнению с водоугольными топливными композициями (ВУТ) [1–3]. Однако у ВУТ есть несколько преимуществ по сравнению с угольной пылью [1, 2]: низкая стоимость; экологические показатели, близкие к аналогичным характеристикам природного газа; малая зольность; меньшие тепловые нагрузки в топках энергетического оборудования. Кроме этого, для приготовления ВУТ можно использовать отходы переработки угля (топлив низкого качества) [1, 2].

Представляет интерес добавление жидких горючих нефтепродуктов в состав водоугольного топлива и сжигание получаемого композиционного жидкого топлива (КЖТ) в режимах, поддерживаемых энергетическими установками без конструктивных изменений [4–6]. Так как такие составы КЖТ включают в основном отходы переработки угля и нефти, то по сравнению с исходным обогащенным углем они характеризуются меньшими показателями горючести на стадии зажигания (требуются большие материальные и временные ресурсы). Как один из возможных способов интенсификации прогрева и зажигания капель КЖТ на основе отходов является добавление в состав мелкодисперсных частиц обогащенного угля.

Цель исследований – установить влияния концентрации угольной пыли на характеристики зажигания капли КЖТ.

Исследования проведены для двух групп составов с помощью экспериментального стенда (рис.1). Первая группа представляла 3 состава на основе КЕК (отходы переработки каменного угля марки К) и отработанного синтетического моторного масла Total (10 %), отличающиеся относительной массовой концентрацией (0, 5, 10 %) добавляемой угольной пыли (обогащенный уголь марки К) с размером частиц около 100 мкм. Вторая группа включала также 3 состава на основе КЕК (отходы после переработки и фильтрации каменного угля марки Т), машинного масла и угольной пыли (уголь марки Т).

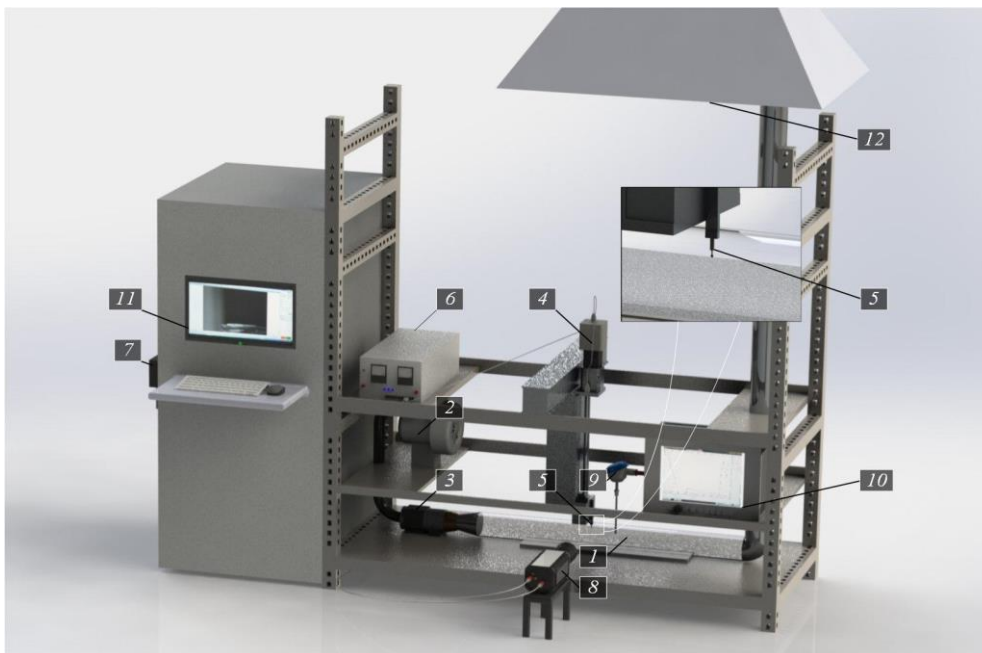


Рис. 1. Внешний вид стенда: 1 – полый стеклянный цилиндр; 2 – нагнетатель; 3 – воздухонагреватель; 4 – координатный механизм подачи капли; 5 – капля топлива; 6 – источник питания координатного механизма; 7 – пульт управления нагревателем; 8 – высокоскоростная видеокамера; 9 – термопара; 10 – регистратор многоканальный технологический; 11 – компьютер; 12 – вытяжка

Для формирования потока разогретого до требуемых температур окислителя (воздуха) использовались нагнетатель 2, воздухонагреватель 3 и цилиндр 1 из кварцевого стекла. Температура воздуха T_g изменялась в диапазоне 600–900 К. Значения T_g измерялись тремя хромель-алюмелевыми термопарами 9 (марки L). Скорость движения потока разогретого воздуха изменялась в диапазоне $V_g=1-5$ м/с и контролировалась анемометром UnionTest AN110.

Для ввода капли в цилиндр с потоком разогретого воздуха применялся координатный механизм 4. С использованием высокоскоростной видеорегистрации и программного обеспечения Phantom Camera Control определялся характерный радиус капель.

В качестве основных регистрируемых параметров исследуемого процесса принимались времена задержки зажигания (τ_d) и полного сгорания (τ_c) капли КЖТ. Параметр τ_d – интервал времени с момента ввода капли КЖТ в канал 1 до идентификации первых характерных кадров горения кокса. Время τ_c представляло интервал от момента ввода капли КЖТ в канал 1 до полного сгорания коксового остатка угля.

На рис. 2 приведены типичные кадры с изображением капель КЖТ в процессе нагрева, зажигания и полного сгорания в потоке разогретого воздуха.

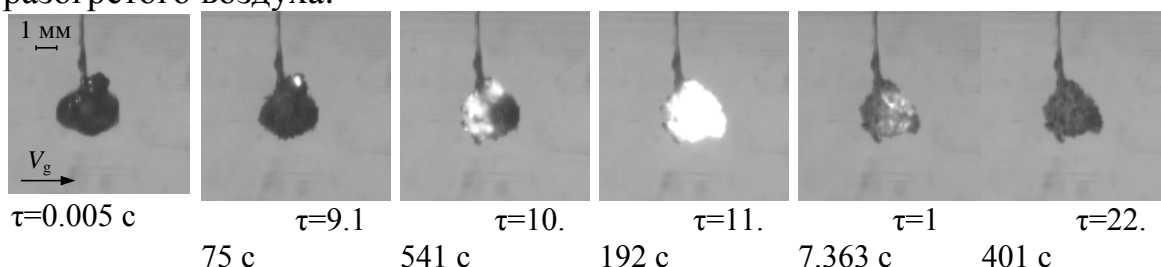


Рис. 2. Типичные кадры с зажиганием и полным сгоранием КЖТ (состав № 2: КЕК 85% + масло 10 % + уголь 5 %) при $R_d \approx 1$ мм, $T_g \approx 870$ К, $V_g \approx 5$ м/с

Введение частиц угля в состав КЖТ увеличивает теплопроводность, температуропроводность, плотность и вязкость топливной композиции. Этим объясняются причины уменьшения времени задержки зажигания (τ_d) и времени полного сгорания (τ_c) капли КЖТ с повышением концентрации добавляемого угля (табл. 1).

Табл. 1. Времена зажигания и полного сгорания капель КЖТ при $R_d \approx 1$ мм, $T_g \approx 870$ К, $V_g \approx 5$ м/с

Номер состава	1			2		
Содержание угля, % масс	0	5	10	0	5	10
τ_d , с	8.884	6.760	6.171	10.940	9.242	8.345
τ_c , с	22.733	16.881	14.934	19.718	15.76	13.863

Данные табл. 1 иллюстрируют значительное снижение длительности процесса горения капли КЖТ (τ_c). Данный эффект показывает, что даже небольшое добавление угля (до 5 % по массовой концентрации) в КЖТ на основе отходов углепереработки увеличивает минеральную часть. За счет этого зольность снижается, а полнота сгорания увеличивается. Установленные эффекты зарегистрированы в проведенных экспериментах для капель КЖТ с разными размерами (рис. 3). Приведенные на рис. 3 результаты характеризуют существенную зависимость времени задержки зажигания от размера капли КЖТ. Выявлено, что для зажигания рассматриваемых КЖТ достаточна температура T_g от 750 К до 800 К. Повышение концентрации высококачественного угля до 15 % в составе КЖТ приводит к уменьшению необходимых значений T_g для устойчивого зажигания на 30–40 К.

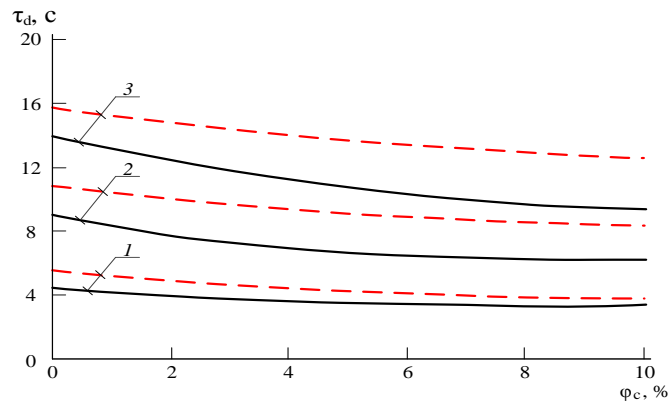


Рис. 3. Времена задержки зажигания капель (радиусы 1 – 0.5 мм, 2 – 1 мм, 3 – 1.5 мм) КЖТ № 1 (сплошные линии) и № 2 (пунктирные линии) при разных содержаниях высококачественного угля.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что добавление в состав КЖТ угля в достаточно малых концентрациях может существенно уменьшить время задержки зажигания на 15–25 %, а также длительности процесса горения КЖТ (около 20 %).

Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда (проект № 15–19–10003).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Gajewski W., Kijo-Kleczkowska A., Leszczynski J. Analysis of cyclic combustion of solid fuels // *Fuel*. – 2009. – V. 88. – P. 221–234.
2. Kijo-Kleczkowska A. Combustion of coal-water suspensions // *Fuel*. – V. 90. – P. 865–877.
3. Zhu J., Zhang G., Liu G., Qu Q., Li Y. Investigation on the rheological and stability characteristics of coal-water slurry with long side-chain polycarboxylate dispersant // *Fuel Processing Technology*. – 2014. – V. 118. – P. 187–191.
4. Bartoňová L. Unburned carbon from coal combustion ash: An overview / *Fuel Processing Technology*. – 2015. – V. 134. – P. 136–158.
5. Burdukov A. P., Popov V. I., Chernetskiy M. Yu., Dekterev A. A., Hanjalic K. Mechanical activation of micronized coal: Prospects for new combustion application // *Applied Thermal Engineering*. – 2014. – V. 74 – P. 174–181.
6. Kim R.-G., Jeon C.-H., Intrinsic reaction kinetics of coal char combustion by direct measurement of ignition temperature // *Applied Thermal Engineering*. – 2014. – V. 63. – P. 565–576.

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