

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:

- ВУТ № 1: 50% каменный уголь марки Д, 49,5% вода техническая, 0,5% пластификатор;
- ВУТ № 2: 50% каменный уголь марки Д, 49,5% вода водопроводная, 0,5% пластификатор;
- ВУТ № 3: 50% каменный уголь марки Д, 49,5% вода дистиллированная, 0,5% пластификатор.

Используемая в экспериментах техническая вода получена с ТЭЦ–3 г. Томска. Дистиллированная вода соответствует ГОСТ 6709–72, а водопроводная – нормативным требованиям СанПиН.

Экспериментальный стенд для исследования процессов зажигания и горения одиночных капель ВУТ аналогичен применяемому в опытах [5]. Используемая в исследовании экспериментальная методика [5] основана на помещении одиночной капли ОВУТ, закрепленной на спае термоэлектрического преобразователя (диапазон измеряемых температур 273–1273 К, систематическая погрешность ± 10 К, инерционность 1 с, диаметр спая около 0,1 мм), в поток разогретого окислителя (рис. 1). Процессы нагрева, зажигания и горения одиночных капель топлив исследованы с применением средств высокоскоростной видеорегистрации, программного обеспечения Tema Automotive.

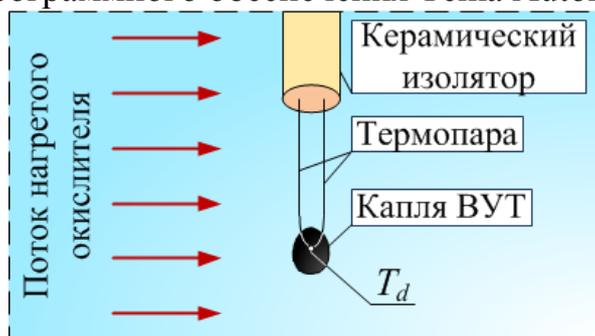


Рис. 1. Схема проведения эксперимента

Регистрировались значения следующих параметров: температура (T_g) и скорость движения (V_g) потока окислителя; размер (начальный радиус R_d) капли; температура на границе «спай термопары – топливная композиция» (T_d); время задержки зажигания (τ_d), горения (τ_b) и полного сгорания ($\tau_c = \tau_d + \tau_b$) капли ВУТ. Критерии зажигания и погрешности вычисления основных характеристик зажигания аналогичны экспериментам [5].

Результаты. На рис. 2 приведены зависимости времен задержки зажигания от температуры окислителя для трех исследуемых составов ВУТ. Видно, что с увеличением T_g инерционность зажигания существенно снижается за счет интенсификации всех стадий инициирования горения одиночной капли суспензионного топлива, включающих инертный прогрев, испарение влаги, выход летучих и их газофазное горение, прогрев и зажигание коксового остатка. Следует отметить, что для капель ВУТ на основе технической воды характерны наименьшие значения τ_d (рис. 2), а также более быстрый рост и большие значения температуры в зоне горения (рис. 3) по сравнению с аналогичными характеристиками для ВУТ на основе водопроводной и дистиллированной воды, что, вероятнее всего, обусловлено наличием в технической воде горючих примесей и стоков, испарение и горение которых ускоряет прогрев и зажигание углерода.

Несмотря на это, отличие значений τ_d для ВУТ на основе разной по качеству воды составило не более 8 %; отличие значений T_d – не более 6 % (данные отклонения не являются значительными).

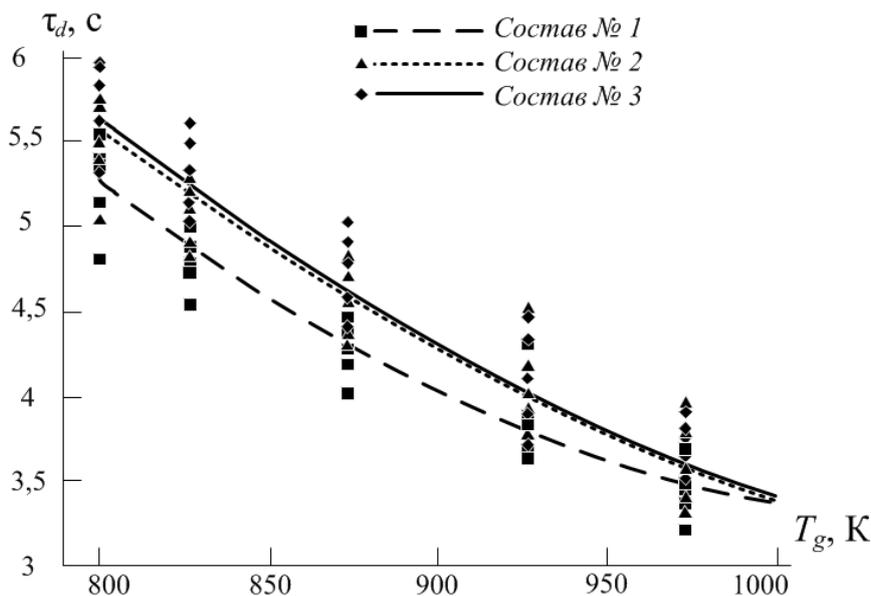


Рис. 2. Времена задержки зажигания каплей ВУТ в зависимости от температуры окислителя ($R_d \approx 1$ мм и $V_g \approx 3,5$ м/с)

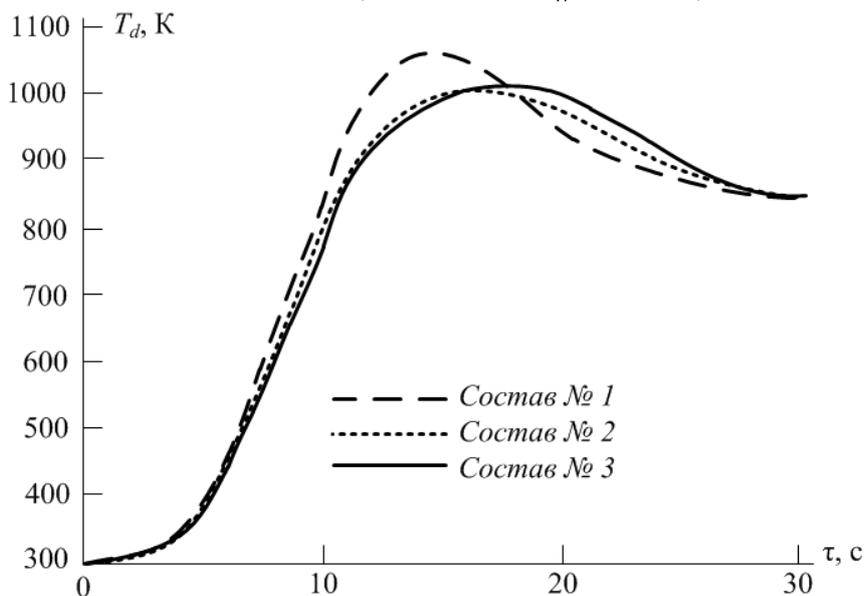


Рис. 3. Тренды изменения температуры капли ВУТ ($T_g \approx 870$ К, $R_d \approx 1$ мм и $V_g \approx 3,5$ м/с)

На рис. 4 представлены результаты определения инерционности зажигания каплей ВУТ разных размеров. Для крупных каплей необходимы более длительные времена инертного прогрева для инициирования устойчивого горения. Кривые на рис. 3 иллюстрируют существенно нелинейный характер зависимости $\tau_d(R_d)$, обусловленный нелинейными зависимостями скоростей прогрева каплей, испарения компонентов и выхода летучих от площади поверхности каплей.

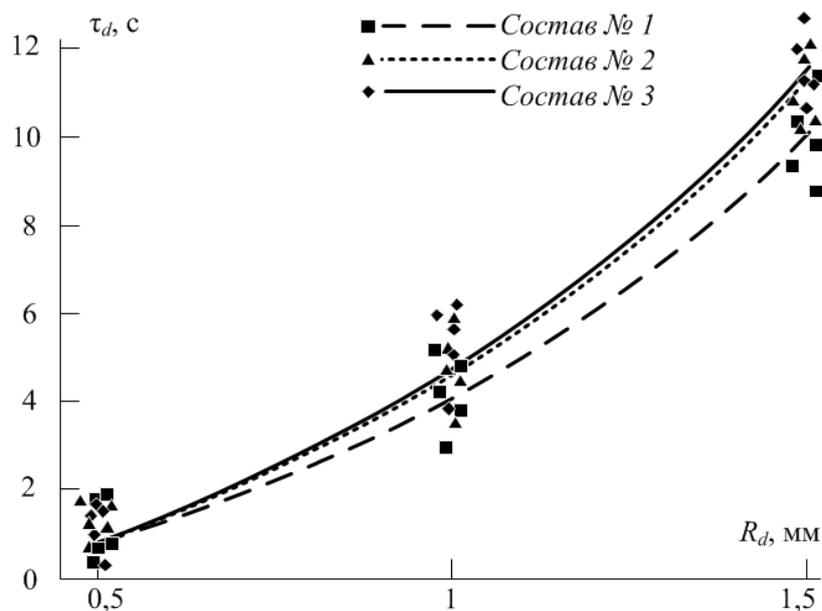


Рис. 4. Времена задержки зажигания капель ВУТ в зависимости от размеров капель (при $T_g \approx 916$ К и $V_g \approx 3,5$ м/с)

При варьировании начальных размеров капель ВУТ на основе технической воды также наблюдались меньшая инерционность зажигания, чем для ВУТ на основе водопроводной и дистиллированной воды (рис. 4). Максимальное отличие значений τ_d капель ВУТ при варьировании их начальных размеров для составов на основе воды разного качества не превышало 15 %.

Как при уменьшении начального размера капли ВУТ, так и при росте температуры окислителя влияние фактора очистки воды на инерционность зажигания одиночных капель суспензионного топлива ослабевают. Для малых капель с повышением температуры окислителя существенно интенсифицируется процесс иницирования горения. Эксперименты показали, что возможные отличия компонентного состава воды не могут оказывать существенное влияние на инерционность процессов зажигания (особенно при температурах (более 1000 К) окислителя и размерах (менее 0,5 мм) капель топлива, соответствующих установкам большой и малой энергетики).

Таким образом, можно сделать вывод о незначительном влиянии степени очистки воды, используемой для приготовления суспензионных угольных топлив на характеристики их зажигания. В то же время, выполненные эксперименты иллюстрируют возможность использования воды разного качества (в том числе технической) для приготовления суспензий ВУТ и ОВУТ.

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

ЛИТЕРАТУРА:

1. He Q., Xie D., Xu R., Wang T., Hu B. The utilization of sewage sludge by blending with coal water slurry // Fuel. – 2015. – V. 159. – P. 40–44.

2. Svoboda K., Pohořelý M., Jeremiáš M., Kameníková P., Hartman M., Skoblja S., Šyc M. Fluidized bed gasification of coal–oil and coal–water–oil slurries by oxygen–steam and oxygen–CO₂ mixtures // Fuel Processing Technology. – 2012. – V. 95. – P. 16–26.
3. Осинцев К.В. Исследование факельного сжигания водоугольных суспензий в топках энергетических котлов // Теплоэнергетика. – 2012. – № 6. – С. 21–27.
4. Бородуля В.А., Бучилко Э.К., Виноградов Л.М. Некоторые особенности сжигания в кипящем слое водоугольного топлива из белорусских бурых углей // Теплоэнергетика. – 2014. – № 7. – С. 36–41.
5. Вершинина К.Ю., Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Отличия характеристик зажигания водоугольных суспензий и композиционного жидкого топлива // Химия твердого топлива. – 2016. – № 2. – С. 21–33.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., профессор каф. АТП ЭНИН ТПУ.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТОПОЧНОЙ СРЕДЫ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ И ИХ СМЕСИ

О.М. Кокшарев

Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ, группа 5ВМ5А

В настоящее время в сфере развития энергетики все большее предпочтение отдается установкам с минимальным влиянием на окружающую среду, поскольку повышаются тарифы за выбросы вредных веществ и вводятся законодательные процедуры по закрытию энергетического предприятия вследствие невозможности обеспечения регламентированного объема выбросов.

Актуальность данной работы обусловлена, как увеличением экологических параметров ТЭЦ, так и повышением надежности работы котельных агрегатов при переходе на смесь каменных топлив. В частности, рассматривается возможность замещения экибастузского каменного угля, кузнецким марки Т и/или их смесью [1, 2]. Поскольку в районах сжигания экибастузского угля на электростанциях Урала (Рефтинская, Троицкая, Нижнетуринская, Верхнетагильская, Серовская, Курганская, Красногорская), Западной Сибири (Омская ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5), Центрального района Европейской части (Черепетская ГРЭС) только ежегодный прирост золоотвалов и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от сжигания в этих районах экибастузских углей превышает 10 млн т.

Таким образом объектом исследования является котел БКЗ-420-140 запроектированный на сжигание высокозольных экибастузских углей по Т-образной компоновке с пережимом в верхней части топки. Характеристики исследуемых топлив представлены в таблице 1 [3]. При этом для смеси углей