

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАЖИГАНИЯ КАПЕЛЬ  
ОРГАНОВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ANSYS FLUENT**

Д.В. Антонов

Научный руководитель: заведующий кафедрой, д.ф.-м.н. П.А. Стрижак  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: [dva14@tpu.ru](mailto:dva14@tpu.ru)

**MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES IGNITION ORGANIC WATER-COAL FUEL  
DROPS WITH THE USE OF ANSYS SOFTWARE PACKAGE**

D.V. Antonov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. P.A. Strizhak  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: [dva14@tpu.ru](mailto:dva14@tpu.ru)

***Abstract.** The mathematical model provides a fairly accurate reproduction of the experimental values of the integral characteristics (temperature, delay times, the coordinates of the birth of the flame front) ignition of organic water-coal fuel (CWSP) in high-temperature gases. Numerical research of ignition of organic water-coal fuel processes based on the typical waste coals - filter cakes, industrial (turbine, engine, transformer) oils and water. Set the ignition delay time drops CWSP with variation size (radius) drops from 0.25 mm to 1.5 mm, speed from 0.5 m/s 3 m/s, and temperature gases from 700 K to 1000 K. A satisfactory agreement of the results experimental data and mathematical modeling.*

**Введение.** Почти 80 % выбросов CO<sub>2</sub>, оксидов серы и азота приходятся на энергетические объекты – установки, предназначенные для сжигания жидких, твердых и газообразных топлив. Нужно решать проблемы парниковых выбросов, в первую очередь, в теплоэнергетике. Анализ работ [1–3] показывает, что более 40 % тепловых электростанций и других энергетических установок по всему миру работают на твердом топливе (угли разного качества) и нет возможности по целому ряду объективных причин их перевести на другие виды топлив. Именно твердые топлива – самые опасные с точки зрения экологических последствий [1–3], но и самые востребованные на ближайшие десятилетия.

Одними из основных проблем, сдерживающих развитие технологий ВУТ и ОВУТ во всем мире, являются довольно сложные комплексы взаимосвязанных физико-химических процессов, протекающих при зажигании и горении водоугольных композиций. Актуальны фундаментальные представления об этих процессах.

Для моделирования процессов зажигания капель ВУТ в последние годы активно используются несколько подходов: с применением собственных программных кодов или коммерческих пакетов математического моделирования. У каждого из таких подходов есть преимущества и недостатки. Для ОВУТ адекватные математические модели зажигания пока не разработаны. Это можно объяснить достаточно существенным усложнением процессов химического реагирования органиковоугольных топлив по сравнению с ВУТ, а также условий прогрева и испарения топливных суспензий.

Цель настоящей работы – разработка математической модели в пакете Ansys Fluent для прогностического исследования интегральных характеристик зажигания одиночных капель органоводородного топлива в потоке высокотемпературного окислителя.

**Математическая модель и метод решения.** В соответствии с экспериментальными результатами [4, 5] разработана модель, описывающая процесс зажигания одиночной капли ОБУТ в потоке окислителя (рис. 1). При моделировании учитывались установленные в опытах [4, 5] последовательные стадии зажигания капли ОБУТ, в частности: прогрев приповерхностного слоя, испарение влаги и выход летучих; газофазное зажигание смеси летучих и паров горючей жидкости, прогрев углеродного остатка; гетерогенное зажигание углеродного остатка и распространение фронта гетерогенного горения по всей поверхности частицы топлива; интенсивное выгорание углерода; завершение выгорания углерода с движением фронта завершения горения от фронтальной части капли к тыльной (относительно потока окислителя); инертный прогрев зольного остатка в потоке окислителя.

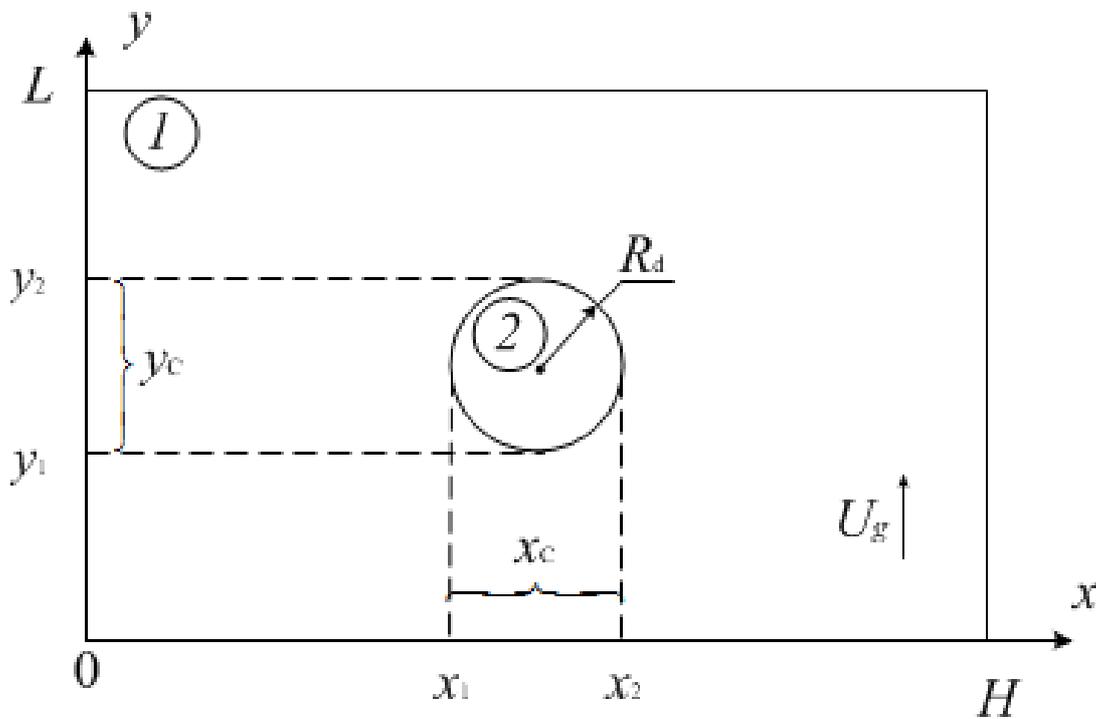


Рис. 1. Схема области решения задачи для моделирования зажигания капли ОБУТ:

1 – поток окислителя, 2 – капля

**Результаты и обсуждения.** В качестве иллюстрации основных результатов выполненных теоретических исследований на рис. 2 представлены температурные поля в рассматриваемой системе (рис. 1), которые соответствуют перечисленным выше стадиям процесса зажигания. Детализация стадий зажигания выполнялась аналогично экспериментам [4, 5]. В результате численного моделирования установлено (рис. 2), что гетерогенное зажигание капли ОБУТ происходит на участке ее поверхности со стороны набегающего потока. Можно сделать обоснованный вывод о зарождении очага горения в этой области. Затем по направлению движения потока окислителя происходит распространение фронта горения. Аналогичные результаты получены при обработке видеogramм опытов [4, 5].

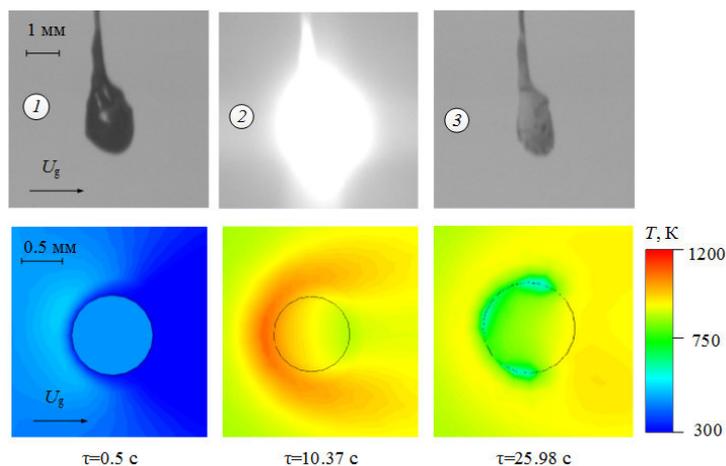


Рис. 2. Рассчитанные температурные и концентрационные поля, а также кадры видеозаписей [4, 5] при прогреве, зажигании и горении ОБУТ в потоке окислителя (сравнение экспериментальных [4, 5] и теоретических результатов исследований): 1 – натекание разогретого потока окислителя на каплю; 2 – прогрев приповерхностного слоя капли, испарение влаги и выход летучих; 3 – газофазное зажигание смеси летучих и паров горючей жидкости, прогрев углеродного остатка; 4 – гетерогенное зажигание углеродного остатка и распространение фронта гетерогенного горения по всей поверхности обезвоженной капли топлива; 5 – интенсивное выгорание углерода; 6 – завершение процесса выгорания углерода

**Заключение.** В пакете Ansys Fluent впервые разработана математическая модель, обеспечивающая адекватное воспроизводство экспериментальных значений интегральных характеристик зажигания капель органоводоугольных топлив (различных по составу суспензий на основе частиц угольных компонентов, воды и отработанных жидких горючих компонентов) в потоке разогретого окислителя.

*«Исследования выполнены за счет средств Российского научного фонда (проект № 15-19-00003)»*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савицкий Д.П., Егурнов А.И., Макаров А.С., Завгородний В.А. Жидкое топливо на основе угольных шламов и бурого угля // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 1. – С. 13–17.
2. Трубецкой К.Н., Зайденварг В.Е., Кондратьев А.С., Мурко В.И., Кассихин Г.А., Нехороших И.Х. Водугольное топливо – результаты разработки и перспективы применения в России // Теплоэнергетика. – 2008. – № 5. – С. 49-52.
3. Горлов Е.Г. Композиционные водосодержащие топлива из углей и нефтепродуктов // Химия твердого топлива. – 2004. – № 6. – С. 50-61.
4. Вершинина К.Ю., Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Отличия характеристик зажигания водугольных суспензий и композиционного жидкого топлива // Химия твердого топлива. – 2016. – № 2. – С. 21-33.
5. Вершинина К.Ю., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Влияние технологии приготовления органоводоугольных топлив на характеристики их зажигания // Кокс и химия. – 2016. – № 4. – С. 8-17.