

ЗАЖИГАНИЕ ТИПИЧНЫХ ГЕЛЕОБРАЗНЫХ ТОПЛИВ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРЕВЕ

А.Г. Нига́й, Д.О. Глушков

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Д.О. Глушков

Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет,

Россия, Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: nigayalexandr@mail.ru

IGNITION OF TYPICAL GEL-FUEL AT LOCAL HEATING

A.G. Nigay, D.O. Glushkov, N.E. Shlegel

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. D.O. Glushkov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: nigayalexandr@mail.ru

***Abstract.** In this paper, we determined the ignition delay for a typical gel fuel by metal particles of various form. Also, determined the ignition delay times by varying the initial particle temperature.*

Введение. В последние годы перспективы освоения ближнего и дальнего космоса влияют на развитие ракетно-космической отрасли в России, США, Китае, и других странах [1]. Одним из направлений реализации такой программы является разработка новых топлив, например гелеобразных, и способов инициирования их горения, которые могут быть основаны на кондуктивном подводе энергии группой нагретых до высоких температур частиц малого размера.

Закономерности и характеристики физико-химических процессов, протекающих при инициировании горения гелеобразного топлива, достаточно существенно отличаются от закономерностей и характеристик процессов, протекающих при зажигании твердых и жидких конденсированных веществ [2,3].

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование закономерностей и характеристик зажигания модельного гелеобразного топлива в условиях локального кондуктивного нагрева. Для достижения сформулированной цели решены следующие задачи:

1. Установлены зависимости основной характеристики процесса – времени задержки зажигания гелеобразного топлива от начальной температуры горячей частицы для разных форм локального источника и температуры топлива.

2. Обоснована устойчивость процесса зажигания гелеобразного топлива при близкой к криогенной температуре, разогретой до высоких температур металлической частицей.

Методы исследования. Методика основана на [4]. На рисунке 1 представлена схема экспериментального стенда, основной частью которого является трубчатая муфельная печь Nabertherm R 50/250/13. Внутренний диаметр и длина керамической трубки 40 мм и 450 мм, соответственно. В каждой серии экспериментов керамическая трубка нагревалась до заданной температуры. После ее стабилизации металлическая частица помещалась в центр керамической трубки (рисунок 1) и прогревалась в течение 5–10 минут до температуры окружающей ее высокотемпературной среды. За это время достигалось равномерное распределение температуры в частице.

Процессы, протекающие в течение индукционного периода при взаимодействии горячей частицы с топливом, регистрировались высокоскоростной видео камерой Phantom v411. Ее характеристики: 4208 кадров в секунду при максимальном разрешении 1280×800 пикселей; автоматический триггер по изображению.

Материалы. В качестве модельного гелеобразного топлива использовалась тяжелая нефть с высоким содержанием парафинов Герасимовского месторождения Томской области (Западная Сибирь, Россия). Основные характеристики приведены в таблице 1.

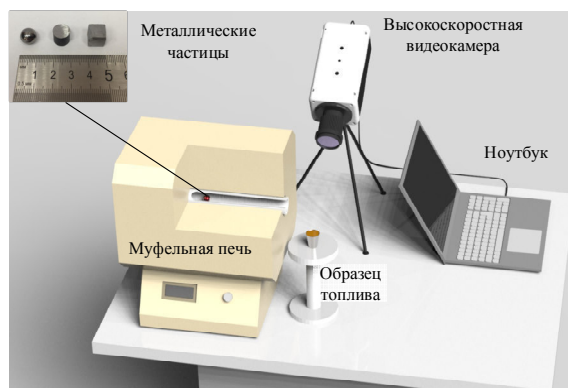


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Таблица 1

Основные характеристики топлива

Показатель	Значение
Плотность при 293 К, кг/м ³	920
Влажность, % мас.	0,28
Зольность, % мас.	0,78
Температура вспышки, К	405
Температура воспламенения, К	491
Теплота сгорания, МДж/кг	42

Топливо нагревалось до температуры 295 К и перемешивалось для получения однородной структуры. При охлаждении до 290 К топливо переходило из жидкого состояния в гелеобразное. Охлаждение образцов топлива до температуры 260 К проходило в морозильной камере. Температуры, близкие к криогенным значениям, достигались при охлаждении образцов топлива путем их помещения в жидкий азот.

Результаты. В результате выполненных экспериментальных исследований установлены основные закономерности и характеристики зажигания гелеобразного топлива при локальном нагреве (рис. 2,3).

Установлено, что в условиях выполненных экспериментов начальная температура стальной частицы 1050 К является минимальной, необходимой для зажигания гелеобразного топлива. При $T_p < 1050$ К топливо не зажигалось. Энергии локального источника не было достаточно для прогрева, плавления, испарения топлива, формирования горючей газовой смеси и ее воспламенения. В этом случае в результате прогрева топливо плавилось и испарялось без последующего зажигания. Частица полностью погружалась в жидкость. Локальный источник нагрева не контактировал с горючей газовой смесью. Она не прогревалась и, соответственно, не зажигалась.

При $T_p \geq 1050$ К топливо зажигалось устойчиво. Горение газовой смеси инициируется в окрестности локального источника энергии, где интенсивность теплового потока максимальна.

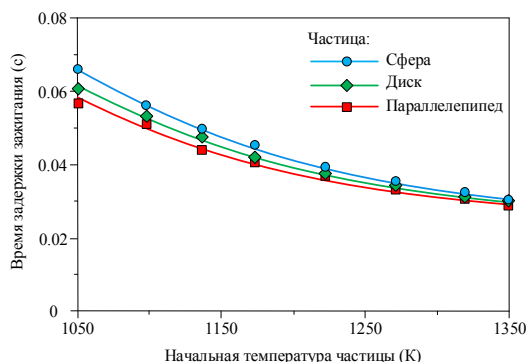


Рис. 2. Времена задержки зажигания гелеобразного топлива (при $T_0=250$ К) в зависимости от начальной температуры стальной частицы в форме сферы, диска, параллелепипеда размером 10 мм

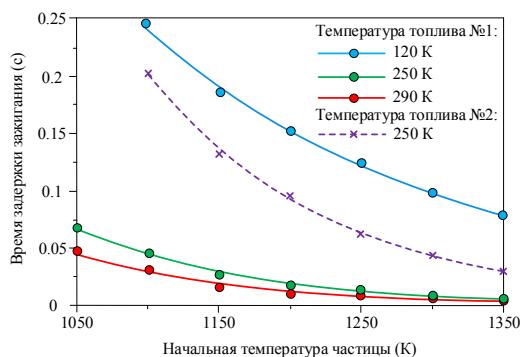


Рис. 3. Времена задержки зажигания гелеобразного топлива в зависимости от начальной температуры стальной частицы в форме сферы размером 10 мм

В результате выгорания газовой смеси выделяется дополнительная энергия. Прогрев приповерхностного слоя гелеобразного топлива интенсифицируется. Пламя распространяется по поверхности топлива. Стационарный процесс горения протекал до полного выгорания образцов топлива с начальными температурами 120, 260, 290 К. Полученный результат позволяет сделать вывод, что нагретые до высоких температур металлические частицы являются источниками устойчивого зажигания гелеобразного топлива даже при близких к криогенным значениям начальных температурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lehnert C., Karlsson E., Giannopapa C. Global risk & global challenges – Space as a game changer for socioeconomic sustainable development. Acta Astronautica. 2017. Vol. 140. P. 59–65.
2. Zeldovich Y.B., Barenblatt G.I., Librovich V.B., Makhviladze G.M. Mathematical Theory of Combustion and Explosions. N.-Y.: Plenum, 1985. – 597 p.
3. Williams F.A. Combustion Theory. Westview Press, 1985. – 704 p.
4. V.V. Medvedev, N. Galchenko, A.G. Nigay, D. Sivkov, MATEC Web of Conf. 72, 01032 (2016), DOI: 10.1051/mateconf/20167201032