

8. Официальный сайт Сибирского завода тяжелого машиностроения «Сибэлектротяжмаш» [Электронный ресурс] – Новосибирск, 2016. – Режим доступа: <http://elsib.ru/ru/>
9. Режимы электрооборудования электрических станций: учебное пособие / В. И. Ветров, Л. Б. Быкова, В. И. Ключенович. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 243 с.
10. Старшинов В. А. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие по курсу "Электроэнергетика и электротехника" / В. А. Старшинов, М. В. Пираторов, М. А. Козина; ред. В. А. Старшинов. – М.: Изд-во МЭИ, 2015 .
11. Указатель "Каталоги и справочники по электротехнике" 01.01.2010 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ ГОРЕНИЯ ГЕЛЕОБРАЗНОГО ТОПЛИВА ГОРЯЧЕЙ ЧАСТИЦЕЙ

А.Г. Нигай

Научный руководитель – доцент, Д.О. Глушков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

В последние годы на развитие ракетно-космической отрасли влияют перспективы освоения космоса. Одним из таких направлений является разработка новых видов топлив, например гелеобразных, и способов инициирования их горения, в частности кондуктивный подвод энергии частицами малого размера нагретыми до высоких температур.

Изучение закономерностей зажигания и горения гелеобразного топлива [1] играет важную роль для реализации перспективных программ по освоению дальнего космоса. Такое топливо по сравнению с твердыми конденсированными веществами имеет более высокие энергетические характеристики, в частности удельный импульс 300–350 секунд тяги при усилии в 1 кг на 1 кг горючего. Вследствие высокой реакционной способности горючего компонента и окислителя, входящих в состав топлива, предъявляются повышенные требования к условиям его хранения, в частности, близкой к криогенным значениям температуры окружающей среды. Одним из этапов программы освоения дальнего космоса является вывод на околоземную орбиту и формирование группировки аппаратов с баками гелеобразного топлива. Температура среды на околоземной орбите составляет около 100 К. В таких условиях отсутствует необходимость в создании специальных условий для хранения гелеобразного топлива, связанных с энергозатратами на поддержание температурного режима, которые в атмосфере Земли являются существенными.

Целью данной работы является исследование условий и характеристик зажигания типичного гелеобразного топлива при локальном нагреве источником ограниченного теплосодержания.

Экспериментальные исследования выполнены в рамках методики [2–3]. В каждом эксперименте керамическая трубка муфельной печи (рис. 1) прогревалась до заданной температуры. Ее контроль осуществлялся интегрированной в печь платина-платинородиевой термопарой.

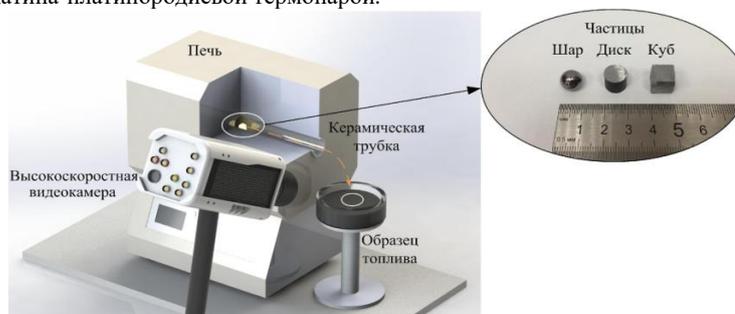


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

После стабилизации температуры в печи металлическая частица помещалась в центр керамической трубки (рис. 1). Контроль температуры частицы осуществлялся хромель-алюмелевой термопарой. После равномерного прогрева металлической частицы она сбрасывалась с высоты не более 50 мм на образец топлива. Диаметр его поверхности составлял около 25 мм, толщина слоя топлива – около 10 мм. Процессы, протекающие в течение индукционного периода, регистрировались высокоскоростной видеокамерой Phantom V411.

В качестве источников зажигания использовались стальные частицы: шар диаметром $d_p=10$ мм. Начальная температура частиц T_p составляла около 1300 К. В качестве модельного гелеобразного топлива использовалась тяжелая нефть Герасимовского месторождения Томской области. При температуре менее 300 К нефть находится в гелеобразном состоянии, при температуре более 300 К – в жидком.

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 топлива до момента появления пламени в окрестности металлической частицы. Для оценки случайных погрешностей результатов измерений t_d эксперименты повторялись не менее 5 раз при идентичных условиях.

Выполненные экспериментальные исследования позволили установить закономерности и характеристики исследуемого процесса. В начальный момент времени горячая металлическая частица (температура более 1000 К)

расположена на поверхности топлива. Температура последнего составляет около 250 К. Приповерхностный слой топлива прогревается за счет энергии источника в результате кондуктивной теплопередачи. В окрестности границы контакта топлива с горячей частицей реализуется два эндотермических фазовых перехода – плавление и испарение. В течение быстропротекающего индукционного периода металлическая частица погружается в приповерхностный слой гелеобразного топлива на 0,5–1 мм. Продукты испарения поступают в газовую среду. В окрестности локального источника энергии формируется горячая смесь. Дополнительный прогрев газовой смеси происходит в условиях ее движения вдоль боковых граней горячей частицы. Газофазное загорание (рис. 2) реализуется при достижении предельных температур и концентраций компонентов смеси.

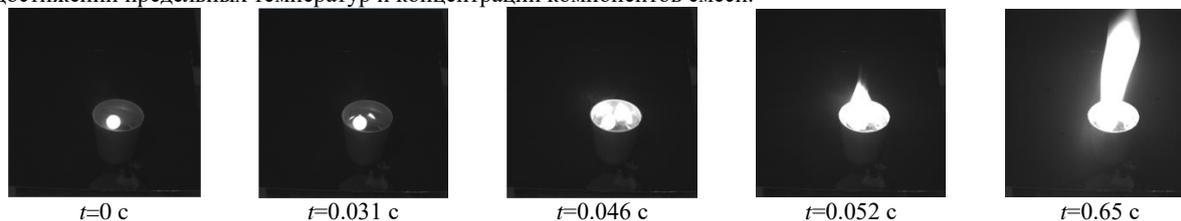


Рис. 2. Кадры видеозаписи загорания типичного гелеобразного топлива стальным шаром радиусом 10 мм при начальной температуре 1200 К

В результате инициирования процесса горения выделяется дополнительная энергия. Прогрев гелеобразного топлива в окрестности границы контакта с металлической частицей интенсифицируется. Пламя распространяется по поверхности топлива. Процесс горения протекает до полного выгорания образца. Для анализа закономерностей загорания топлива регистрировались характеристики только устойчивых процессов инициирования, переходящих в стационарное горение. Считалось, что загорание топлива устойчиво, если горение (видимое пламя) длилось не менее 5 с.

На рис. 3 приведены зависимости времени задержки загорания гелеобразного топлива от начальной температуры локального источника энергии.

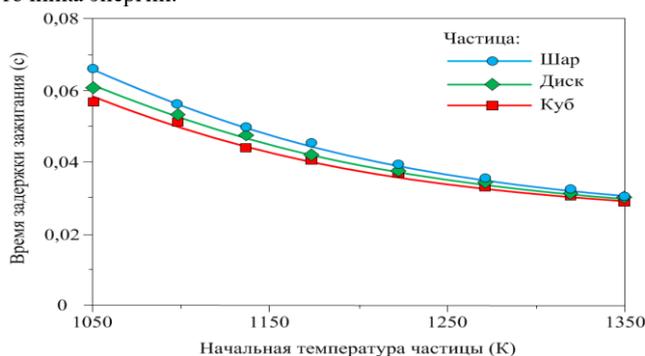


Рис. 3. Времена задержки загорания гелеобразного топлива в зависимости от начальной температуры стальной частицы

Зависимости $t_d=f(T_p)$ имеют близкий к линейному характер при варьировании начальной температуры горячей частицы в достаточно широком диапазоне $T_p=1050-1350$ К. Результаты выполненного исследования позволяют сделать вывод, что основной характеристикой процесса загорания гелеобразного топлива при локальном нагреве является минимальная температура частицы, необходимая для инициирования процесса горения. Установлено, что для рассматриваемого модельного топлива $T_p^{\min}=1050$ К. Увеличение размеров и начальной температуры локального источника энергии при превышении пороговых условий для загорания топлива несущественно влияет на снижение времени задержки загорания (рис. 3). Относительно высокое значение T_p^{\min} можно объяснить следующим. При тепловом контакте локального источника энергии с гелеобразным топливом его загоранию предшествуют стадии инертного прогрева, плавления и испарения горючей жидкости. При прогреве приповерхностного слоя топлива в окрестности границы контакта с металлической частицей, а также протекании эндотермических фазовых превращений происходит достаточно существенное охлаждение источника ограниченного теплосодержания. В условиях $T_p < 1050$ К его энергии недостаточно для прогрева и инициирования горения парогазовой смеси.

Литература

1. Rahimi S., Peretz A., Natan B. On shear rheology of gel propellants // Propellants, Explosives, Pyrotechnics. 2007. Vol. 32, No. 2. P. 165–174.
2. Захаревич А.В., Кузнецов В.Т., Кузнецов Г.В., Максимов В.И. Загорание модельных смесевых топливных композиций одиночной, нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. 2008. Т. 44, № 5. С. 54–57.
3. Nigay A.G., Gal'chenko N.K., Medvedev V.V., Sivkov D.S. Conditions and Characteristics of Coal Water Slurry Containing Petrochemicals Ignition by Hot Particle // MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 72 : Heat and Mass

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ НА БАЗЕ ПЛК ЭЛСИ-ТМК

А.Г. Нига́й

Научный руководитель – доцент, Д.О. Глушков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Исследование свойств материалов в климатических камерах является актуальным направлением, которое активно применяется в производстве на этапе испытания изделия [1].

Разработанная система представляет собой экспериментальный стенд. В масштабах лабораторной модели климатической камеры будут использоваться для механического передвижения изделия и заслонки камеры шаговые двигатели.

Климатическая камера для контроля и управления температурой является автоматизированной системой. Управление всеми процессами осуществляется при помощи микропроцессорной техники.

Управление климатической камерой осуществляется при помощи программируемого логического контроллера. Создание алгоритмов управления технологическим процессом происходит в специальной программной среде «Codesys» на одном из выбранных специализированном языке программирования.

Для визуализации автоматизированной системы используется программный пакет по диспетчеризации и сбору данных SCADA Infinity.

В данной работе разрабатывается экспериментальный стенд, который имитирует процесс работы нагревательной климатической камеры.

В качестве лабораторной модели климатической камеры выступает трубчатая печь, в которую помещается изделие для прохождения различных температурных режимов. Также в объект управления входят два исполнительных механизма, один из которых отвечает за загрузку изделия в камеру и выгрузку его обратно, а другой открывает и закрывает заслонку камеры. Исполнительные механизмы представляют собой униполярные шаговые двигатели. Выбор на шаговых двигателях остановлен в связи с тем, что они малоинерционны.

Вал механизма электрического однооборотного (МЭО) при помощи сочленения связан с лабораторным автотрансформатором (ЛАТР). ЛАТР в свою очередь представляет собой прибор для регулирования силы тока и его напряжения. В нашем случае ЛАТР будет использоваться для увеличения (уменьшения) подаваемого напряжения к трубчатой климатической камере через нихромовую проволоку. От величины напряжения зависит температура камеры, а, следовательно, и температура помещенного в камеру изделия. Дистанционный показатель положения (ДУП) служит для информации о положении вала МЭО. Управляющие напряжения для МЭО формирует пускатель (ПБР).

Для измерения температуры изделия в качестве первичного преобразователя используем термопару градуировки ХА, так как измеряемая температура изделия будет достигать 300 °С.

Заслонка камеры соединена с шаговым двигателем при помощи червячной передачи, которая позволяет достигнуть наиболее точного перемещения заслонки в момент закрытия (открытия). Для фиксирования того момента, когда заслонка камеры, либо нагреваемое изделие достигнут своего крайнего положения, используются концевые выключатели.

Экспериментальная модель автоматизированной системы контроля и управления температурой в климатической камере представлена на рисунках 1-2.



Рис. 1. Климатическая камера

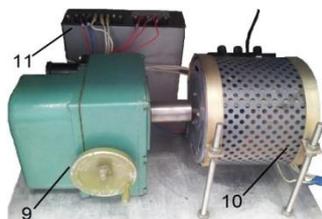


Рис. 2. Средства для регулирования температуры в климатической камере