

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА ЗАПУСКА ОДНОКОМПОНЕНТНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Зрелов В.А., Лыкин А.Ю.

Самарский университет, г. Самара, auforstud@gmail.com

*Ключевые слова: смесевое монотопливо, саморазогревающийся тепловой аккумулятор запуска, гранулированная засыпка, блочная форма, давление в камере сгорания.*

Экспериментальные исследования, освещенные в работах [1, 2] позволили доказать возможность использования смесевого монотоплива на основе нитроэфиров в качестве рабочего тела в ЖРД МТ. Они дали возможность получить представление о стадиях процесса преобразования топлива в камере сгорания (КС) газогенератора (ГГ), в которой реакция горения инициируется с помощью саморазогревающегося теплового аккумулятора (ТА) запуска. При этом остались невыясненными вопросы о рациональной форме ТА и влияние режимных параметров на работу ГГ. Для их решения были проведены экспериментальные исследования, описанные в данной работе (статье).

Экспериментальные исследования проводились на огневом стенде Самарского университета, разработанном для проведения исследований однокоспонентных ГГ, на смесевом монотопливе на базе нитроэфиров. Разработанный экспериментальный ГГ имел сменный форсуночный узел, позволяющий изменять количество струйных форсунок и угол подачи монотоплива. Так же сменным выполнялся сопловой вкладыш, что дало возможность изменять диаметр минимального сечения сопла. Саморазогревающийся ТА запуска размещался в камере сгорания и фиксировался решеткой из вольфрамовых стержней.

В ходе экспериментальных исследований анализировались различные формы саморазогревающегося ТА запуска, изготовленные из одного и того же состава - хромоалюминиевого термита. Наряду с гранулированной засыпкой из сферических гранул использовались блочные ТА, в которых выполнялись цилиндрические сквозные каналы, параллельные оси КС. Блочные ТА отличались количеством и диаметрами сквозных каналов. Размеры и количество этих каналов выполнялись таким образом, что площадь их проходных сечений и, как результат масса ТА, были примерно одинаковы.

В ходе эксперимента регистрировались: давление монотоплива на входе в двигатель  $p_{вх}$ , массовый секундный расход монотоплива  $\dot{m}_т$ , давление в камере сгорания  $p_к$ , измеряемое на выходе из ТА, температура продуктов сгорания на выходе из ТА, напряжение  $U$  и ток  $I$  на клапане, а также время включения  $\tau_{вкл}$ . Циклограмма запуска представляла собой серию импульсов и пауз между ними разной продолжительности.

Экспериментальные исследования в рамках определения рациональной формы ТА запуска и определения влияния входных параметров ГГ на его работоспособность проводились при  $p_{вх} = 4,0$  МПа и  $p_{вх} = 6,0$  МПа при этом расчетное значение  $p_к$  должно составлять 3,0 МПа и 5,0 МПа соответственно. За счет сменных форсуночных элементов обеспечивалась подача струй монотоплива в сквозные каналы блочных ТА при этом  $\dot{m}_т$  должен составлять  $0,023$  кг/с. На тот же расход настраивалась шнекоцентробежная форсунка в экспериментах с гранулированным ТА запуска.

Результаты экспериментальных исследований представлялись в виде зависимостей  $p_к$  от времени включения  $\tau_{вкл}$  в серии импульсов.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы. В экспериментах, где  $p_{вх} = 4,0$  МПа, при использовании всех вариантов ТА запуска, в том числе и гранулированной засыпки, изменение  $p_к$  имело синусоидальный характер и на всем протяжении импульса не достигало расчетного значения  $p_к = 3,0$  МПа. Такой характер протекания процесса горения монотоплива наблюдался на импульсах разной продолжительности. Эти результаты подтвердили данные [3, 4, 5] о том, что смесевые монотоплива на основе нитроэфиров способны устойчиво поддерживать реакцию горения при давлениях выше 5,0 МПа.

На режимах, где  $p_{вх}$  составляло 6,0 МПа наиболее стабильные характеристики показал ТА запуска представляющий собой гранулированную засыпку. Критериями позволяющими сделать это вывод являлись: достижение расчетного  $p_k = 5,0$  МПа на импульсах различной продолжительности, высокая скорость нарастания  $p_k$  в КС после открытия клапана подачи монотоплива, одновременно при отсутствии больших забросов давления, поддержка  $p_k$  на постоянном уровне при длительных включениях.

На базе полученных экспериментальных исследований подтвердилось предположение, что гранулированная форма саморазогревающегося ТА запуска является наиболее оптимальной, а рабочий процесс горения смесового монотоплива на базе нитроэфиров устойчиво протекает при давлении в КС не ниже 5,0 МПа.

Определение, что гранулированная засыпка является наиболее рациональной формой саморазогревающегося ТА запуска, позволяет перейти к поиску его оптимальных параметров и, как следствие, проектированию конструкции ГГ на смесовом монотопливе на базе нитроэфиров с высокими удельными и энергомассовыми характеристиками.

### Список литературы

1. Зрелов В.А., Лыкин А.Ю. Экспериментальное исследование температурного поля порового пространства гранулированного теплового аккумулятора / Научно-технический журнал «Двигатель». 2020. № 4-6. 112 с. С. 40-44.
2. Зрелов В.А., Лыкин А.Ю. Экспериментальное исследование процесса взаимодействия капельно-жидкостного факела с гранулированным тепловым аккумулятором / Научно-технический журнал «Насосы. Турбины. Системы». 2021. № 1 (38). С. 21-26.
3. Штехер М. С. Топлива и рабочие тела ракетных двигателей. Учебное пособие для авиационных вузов. М.: Машиностроение, 1976. 304 с.
4. Паушкин Я.М. Жидкие и твердые химические ракетные топлива. М.: Наука, 1978. 192 с.
5. Sinditskii V.P., Chernyi A.N., Shmelev D.S., Egorshv V.Yu., Filatov S.A., Matveev A.A., Milekhin Yu.M. Combustion of potassium dinitramide and its binary mixtures with nitroester binder / Combustion and Flame 172 (2016). PP. 206-214.

### Сведения об авторах

Зрелов Владимир Андреевич, д.т.н., профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов. Область научных интересов: конструкция и прочность двигателей летательных аппаратов.

Лыкин Александр Юрьевич, старший преподаватель кафедры инженерной графики. Область научных интересов: исследование внутрикамерных процессов в ракетных двигателях малой тяги.

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE RATIONAL FORM OF THE HEAT ACCUMULATOR OF LAUNCHING A SINGLE-COMPONENT GAS GENERATOR

Zrelov V.A., Lykin A.Yu.

Samara National Research University, Samara, Russia, auforstud@gmail.com

*Keywords: mixed monopropellant, self-heating thermal accumulator of the launch, granular filling, block form, pressure in the combustion chamber.*

The article presents the results of experimental studies of a single-component gas generator on mixed monofuel based on nitroesters.

The results obtained made it possible to determine the rational form of the self-heating thermal accumulator of the launch.