

Р. Ш. Гарифуллин, А. С. Сальников, В. Я. Базотов,
А. А. Мокеев

ЛЬДООБРАЗУЮЩИЕ ТВЕРДЫЕ ТОПЛИВА ДЛЯ МАРШЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАКЕТ

Порошкообразный эластомер, технология, аэрозоль, твердое топливо, малогабаритные ракетные двигатели.

Исследована возможность разработки топлива на основе порошкообразного эластомера, генерирующего аэрозоль иодида серебра, с малым содержанием токсичных продуктов сгорания. Установлено, что замена перхлората аммония на нитрат аммония приводит к снижению содержания HCl в продуктах сгорания, к снижению температуры горения, удельного импульса и к увеличению выхода целевого продукта до содержания нитрата аммония в смеси 60 %.

Powdery elastomer, technology, aerosol, solid fuel, compact rocket engines.

It is investigated possibility of working out fuel on base of powdery elastomer, generating aerosol AgI with small content of toxic combustion products. It is established that substitution of NH_4ClO_4 for NH_4NO_3 lead to reduction of content of HCl in the combustion products, to fall of burning temperature, specific impulse and to increase of output of aim (ultimate) product up to content of NH_4NO_3 in mixture 60%.

В настоящее время разработано значительное количество составов и твердых топлив, генерирующих аэрозоль иодида серебра. В ряде организаций ведутся работы в направлении разработки нового типа твёрдых топлив – льдообразующих твёрдых топлив, выполняющих одновременно две функции – генератора активных центров кристаллизации переохлаждённых облаков и источника энергии движения ракеты.

Разработан ряд таких топлив, большинство из которых в качестве окислителя содержат перхлорат аммония (ПХА), сгорающих с образованием чрезвычайно опасных для человека токсичных продуктов (HCl, CO и др.). Также разработаны топлива на баллиститной основе, применение которых затруднено из-за повышенной опасности производства [1-4].

В данной работе исследуется возможность разработки топлива, со значительно меньшим количеством токсичных продуктов сгорания. За основу для исследований был взят состав, содержащий, %: NH_4ClO_4 – 72, СКН-26 – 12, АСД-4 – 6, AgJ – 2, NH_4J – 8. В качестве технологической основы использовали порошкообразный каучук СКН-26 (с размером частиц менее 0,5 мм), что позволило перерабатывать составы методом проходного прессования в изделия заданной длины и сечения без применения легколетучего растворителя. В приведённом выше составе ПХА заменили на нитрат аммония, не меняя состав и содержание остальных компонентов, и произвели расчет термодинамических характеристик. Результаты исследований представлены на рис. 1.

Расчёт осуществляли при помощи комплекса программ термодинамического расчета многокомпонентных систем «ТЕРМО» при следующих условиях: коэффициент избытка окислителя, $\alpha=0$; давление в камере сгорания, $P_k=1,0$ МПа; давление на срезе сопла газогенератора, $P_c=0,1$ МПа.

Из результатов, представленных на рис. 1 видно, что замена части перхлората на нитрат

аммония в составе приводит к снижению температуры горения, удельного импульса, содержания HCl в продуктах сгорания. В свою очередь, выход иодида серебра увеличивается и достигает своего максимума при содержании нитрата аммония, равном 60 % и перхлората аммония – 12 %. При этом температура горения достигает значения, равного 1516 К, удельный импульс составляет 2040 м/с, а содержание HCl в продуктах сгорания – 1,0 моль/кг. Полная замена в составе перхлората на нитрат аммония приводит к уменьшению выхода целевого продукта AgJ, что связано с понижением температуры горения.

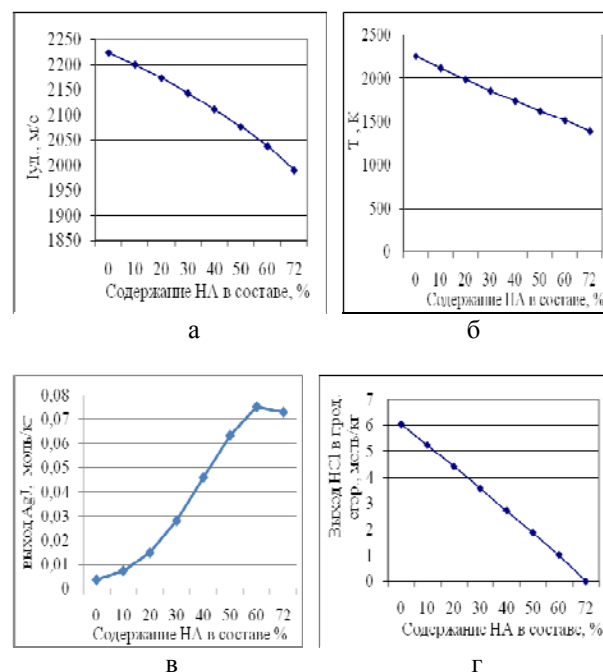


Рис. 1 – Влияние содержания нитрата аммония в составе на его температуру горения T , К, (а); удельный импульс $I_{уд}$, м/с, (б); выход AgJ в продуктах сгорания, моль/кг, (в); содержание HCl в продуктах сгорания, моль/кг, (г)

Таким образом, проведённые исследования показали, что выход целевого продукта AgJ в значительной степени зависит от температуры горения состава, которая в свою очередь связана с содержанием металлического горючего в составе. Поэтому далее исследовали влияние содержания металлического горючего на основные расчётные характеристики состава. Для этого была выбрана композиция, содержащая, % : NH_4NO_3 – 60, NH_4ClO_4 – 10, СКН-26 – 10, NH_4J – 8, АСД-4 плюс AgJ – 12. Содержание алюминия изменяли за счёт изменения содержания AgJ от 2 до 10%. Результаты исследования приведены на рис. 2.

Из представленных на рис. 3 данных видно, что увеличение содержания AgJ в составе с 6 до 12% , приводит к увеличению его содержания в продуктах сгорания.

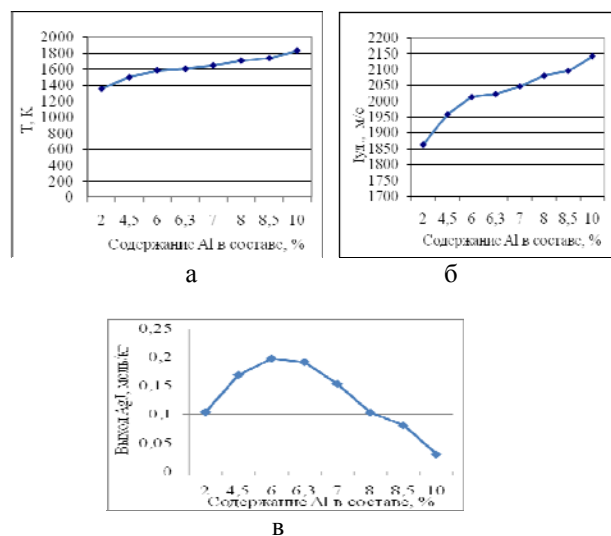


Рис. 2 – Влияние содержания алюминия в составе на его температуру горения T , К, (а); удельный импульс $I_{уд}$, м/с, (б); выход AgJ в продуктах сгорания, моль/кг

Из представленных на рис. 2 данных видно, что с увеличением содержания алюминия в составе происходит увеличение температуры горения и удельного импульса. При этом оптимальный выход AgJ в составе получается при содержании Al в составе, равном 6 % и составляет 0,2 моль/кг. Температура горения при этом составляет порядка 1600 К. Увеличение или уменьшение содержания алюминия в составе выше или ниже 6 %, приводит к снижению выхода целевого продукта AgJ , что можно объяснить изменением оптимального значения температуры. Поэтому содержание Al в составе приняли постоянным, равным 6% и исследовали влияние содержания иодида серебра в составе на температуру горения и выход AgJ в продуктах сгорания. При этом увеличивали содержание AgJ с 6 до 12% за счёт уменьшения

содержания в составе СКН-26 до 8% и NH_4NO_3 до 56%. Результаты исследований представлены на рис. 3.

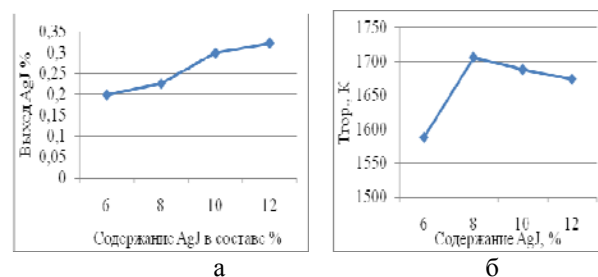


Рис. 3 – Влияние содержания AgJ в составе на температуру горения (а) и на выход AgJ в продуктах сгорания (б) при оптимальном содержании Al (6%)

Таким образом, проведенные исследования показали, что выход AgJ определяется температурой горения и его содержанием в составе. Содержание AgJ в составе не оказывает значительного влияния на удельный импульс тяги и выход HCl в продуктах сгорания. При содержании в составе иодида серебра, равном 2 % оптимальным является значение температуры, порядка 1500К, при увеличении содержания AgJ до 8% температура несколько увеличивается, но она не должна превышать 1700 К, в противном случае снижается выход аэрозоля йодида серебра. Для дальнейших исследований рекомендуется состав, содержащий, % : NH_4NO_3 – 60, NH_4ClO_4 – 10, СКН-26 – 10, NH_4J – 8, АСД-4 – 6, AgJ – 6.

Литература

1. *Мадыкин, Ф.П.* Твердые топлива на основе малогабаритных ракетных двигателей / Ф.П. Мадыкин [и др.] // Современные проблемы специальной технической химии: матер. докладов Междунар. науч.-технич. и метод. конф. (21-22 декабря 2007 г.) Ч.1 – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2004. – С. 439-441.
2. *Пронин, В.А.* Малогабаритные двигатели на пиротехническом твердом топливе / В.А. Пронин, В.И. Сарабьев, В.А. Курятников // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Издание Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – М., - 2005. Вып. 3(44). – С.45-49
3. *Мадыкин, Ф.П.* Пиротехнические составы для активного воздействия на переохлажденные облака и туманы: учеб. пособие / Ф.П. Мадыкин. – Казань: Изд-во Казан. хим. технол. ин-та, 1979. – 43 с.
4. *Гарифуллин Р.Ш.* Твердые топлива на основе порошкообразного эластомера для малогабаритных двигателей / Гарифуллин Р.Ш. [и др.] // Вестник Казан. технол. ун-та: специальный выпуск. – Казань, 2008. – С. 53-54.