

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, AgI – 2, NH_4I – 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 AgI, что связано с понижением температуры горения. а б в г Рис. 1 – Влияние содержания нитрата аммония в составе на его температуру горения T , К, (а); удельный импульс $I_{уд}$, м/с, (б); выход AgI в продуктах сгорания, моль/кг, (в); содержание HCl в продуктах сгорания, моль/кг, (г) Таким образом, проведённые исследования показали, что выход целевого продукта AgI 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, SKH-26 – 10, NH_4I – 8, АСД-4 плюс AgI – 12. Содержание алюминия изменяли за счёт изменения содержания AgI от 2 до 10%. Результаты исследования приведены на рис. 2. Из представленных на рис. 3 данных видно, что увеличение содержания AgI в составе с 6 до 12% , приводит к увеличению его содержания в продуктах сгорания. а б в Рис. 2 – Влияние содержания алюминия в составе на его температуру горения T , К, (а); удельный импульс $I_{уд}$, м/с, (б); выход AgI 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 AgI 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 AgI , 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 AgI в продуктах сгорания. При этом увеличивали содержание AgI с 6 до 12% за счёт уменьшения содержания в составе SKH-26 до 8% и NH_4NO_3 до 56%. Результаты исследований представлены на рис. 3. а б Рис. 3 – Влияние содержания AgI в составе на температуру горения (а) и на выход AgI в продуктах сгорания (б) при оптимальном содержании Al (6 %) Таким образом, проведенные исследования показали, что выход AgI определяется температурой горения и его содержанием в составе. Содержание AgI 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 AgI 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, SKH-26 – 10, NH_4I – 8, АСД-4 – 6, AgI – 6.