



Светлана Ивановна Согласнова,  
младший научный сотрудник, тел. 8-9671710180

## **ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ УДЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА СТРТ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БОРА, ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ОКИСЛИТЕЛЯ И СООТНОШЕНИЯ О/Ф В ПОСЛЕДНЕМ**

Согласнова С.И., Лемперт Д.Б.  
Институт проблем химической физики РАН  
Россия, Черноголовка  
soglasn@icp.ac.ru  
lempert@icp.ac.ru

Цель работы:

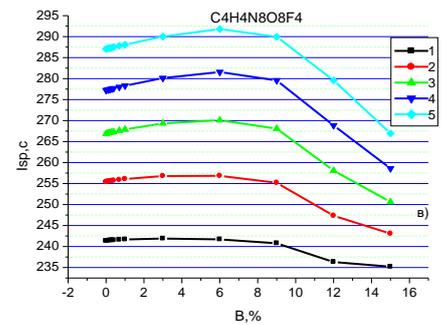
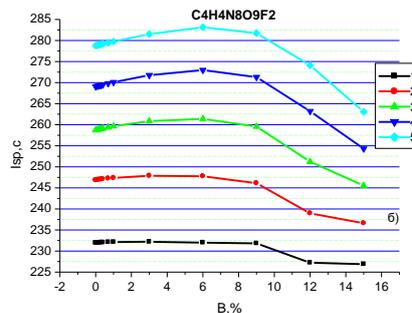
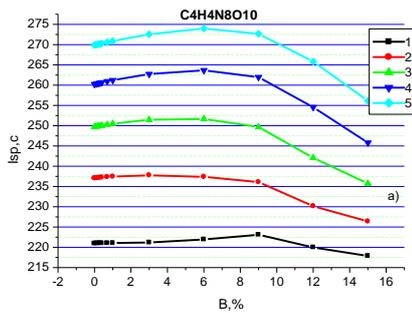
- Исследование влияния добавки бора в рецептуру смесевых твердых ракетных топлив (СТРТ), состоящих из связующего (примерно 17-18 об.%) и органического окислителя с величиной  $\alpha = 1.0$  при атомном соотношении фтора и кислорода в последнем от 0 до 0.5
- Сравнение влияния добавки алюминия и добавки бора в состав СТРТ

В работе [1] были описаны определенные аномалии при введении алюминия в небольших количествах в состав топлив, состоящих из связующего (17-18 об.%) и органического окислителя с величиной  $\alpha$  1.0-1.2 при атомном соотношении фтора и кислорода от 0 до 0.5. Было показано, что имеют место аномалии при введении в такие рецептуры алюминия – при повышении доли Al от 0 до 1-2% на кривой зависимости удельного импульса  $I_{sp}$  от доли Al появлялся явный минимум, величина которого зависела от энтальпии образования окислителя и соотношения в нем фтора и кислорода. Было показано, что причина наличия такого минимума заключается в том, что пока в камере сгорания не будет обеспечена равновесная концентрация газообразных продуктов сгорания алюминия (фториды и оксифториды) и не начнет образовываться конденсированный  $Al_2O_3$ , величина  $I_{sp}$  не растет.

В настоящем исследовании проведен примерно такой же анализ, как в [1], но в качестве энергетической добавки помимо алюминия был взят и бор. Т.е. за основу были взяты гипотетические окислители  $C_4H_4N_8O_{10}$ ,  $C_4H_4N_8O_9F_2$  и  $C_4H_4N_8O_8F_4$  (все с величиной  $\alpha = 1$ ) варьирующимися величинами энтальпии образования  $\Delta H_f^\circ$  от - 500 до +500 ккал/кг, реальное активное связующее  $C_{18.96}H_{34.64}N_{19.16}O_{29.32}$  (AC) с величиной  $\alpha = 0.53$ ,  $\Delta H_f^\circ = -181$  ккал/кг.

Величины удельного импульса  $I_{sp}$  топливных композиций рассчитывали с помощью термодинамической программы ТЕРРА [2] при давлении в камере сгорания и на срезе сопла равном 4.0 и 0.1 Мпа соответственно.

*Рисунок.1 (а-в). Зависимость величины удельного импульса ( $I_{sp}$ ) от содержания бора в составе*



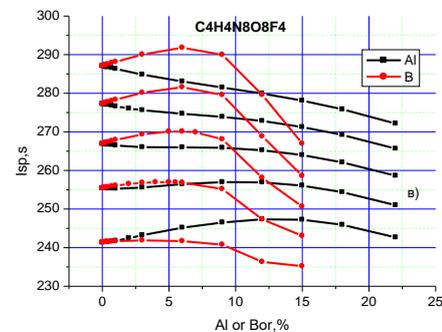
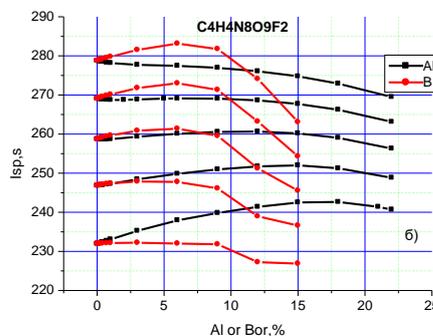
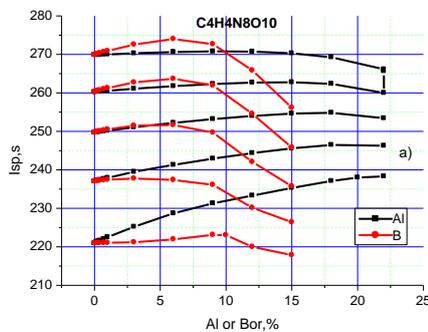
Энтальпия образования окислителя (ккал/кг)  
1)-500; 2)-250; 3) 0; 4)+250; 5)+500

Для окислителя  $C_4H_4N_8O_{10}$ , рис.1(а), наибольший прирост  $dI_{sp} = 4.1$  с имеем при 6% содержании бора и  $\Delta H^{\circ}_f = 500$  ккал/кг. При этом величина  $I_{sp} = 273.9$  с, температура в камере  $T_c = 3900$  К. Для других величин энтальпии образования имеем прирост  $dI_{sp}$  2-3 с при 6% содержании бора.

Для окислителя  $C_4H_4N_8O_9F_2$  рис.1 (б), наибольший прирост  $dI_{sp} = 4.38$  с имеем при  $\Delta H^{\circ}_f = 500$  ккал/кг и 6% бора,  $I_{sp} = 283$ с,  $T_c = 4075$ К. При  $\Delta H^{\circ}_f = 0$  ккал/кг и 6% бора прирост  $dI_{sp} = 2.66$  с,  $I_{sp} = 261.3$  с,  $T_c = 3720$ К.

Для окислителя  $C_4H_4N_8O_8F_4$ , рис.1 (в), наибольший прирост  $dI_{sp} = 4.7$ с имеем при  $\Delta H^{\circ}_f = 500$  ккал/кг и 6% бора,  $I_{sp} = 291$  с,  $T_c = 4280$ К. При  $\Delta H^{\circ}_f = 0$  ккал/кг и 6% бора , прирост  $dI_{sp} = 3.2$  с,  $I_{sp} = 270$  с,  $T_c = 3905$ К.

Рисунок.2 (а-в). Зависимость  $I_{sp}$  составов 15% АС + Al или бор + окислитель



Энтальпия образования окислителя (ккал/кг)  
1)-500; 2)-250; 3) 0; 4)+250; 5)+500

Для окислителя  $C_4H_4N_8O_{10}$ , (рис.2), при введении алюминия в состав повышается  $I_{sp}$  при энтальпии образования окислителя от -500 до 0 ккал/кг. При больших значениях энтальпии образования от 0 до 500 ккал/кг - бор повышает удельный импульс, а для окислителей  $C_4H_4N_8O_9F_2$  и  $C_4H_4N_8O_8F_4$  при энтальпии образования от 250 до 500 ккал/кг введение Al снижает удельный импульс, а, введение бора в состав – повышает. Первое отличие от того, что было с аналогичными рецептурами с Al, это то, что у составов с бором исчезает феномен наличия минимума  $I_{sp}$  при малых содержаниях бора. Этого можно было ожидать, т.к. в большинстве случаев при горении борсодержащих составов основными продуктами сгорания на срезе сопла являются газообразные НFO,

$\text{HBO}_2$ , фториды и оксифториды бора. Конденсированный нитрид бора появляется только при содержаниях бора, существенно превышающих те, что обеспечивают максимум  $I_{sp}$ .

Выводы:

- наибольший прирост величины удельного импульса имеем при 6% содержании бора в композиции.
- композиции, состоящие из фторсодержащего окислителя с высокой энтальпией образования, при 6% содержании бора в составе имеют удельный импульс от 260 до 270 с, однако температура в камере сгорания более 4000К
- При повышении энтальпии образования фторсодержащего окислителя введение Al снижает удельный импульс, а введение бора – повышает.

Литература:

[1] Д.Б. Лемперт, Г.Н. Нечипоренко, С. И. Согласнова. // Хим.Физика. 2008. Т. 27. №12. С.28-32.

[2] Trusov B.G. Program System TERRA for Simulation Phase and Thermal Chemical Equilibrium // XIV International Symposium on Chemical Thermodynamics. St. Petersburg, Russia. 2002. P. 483-484.

Работа выполнена на средства ИПХФ РАН в рамках выполнения госзадания ( № госрегистрации АААА-А19-119101690058-9)