

Гудкова Инесса Юрьевна, к.т.н., н.с., тел. 8-916-8297491

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТЕТРАЗИН N-ОКСИДОВ КАК КОМПОНЕНТОВ СМЕСЕВЫХ ТВЕРДЫХ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ

И. Ю. Гудкова, И. Н. Зюзин, Д. Б. Лемперт

*Институт проблем химической физики РАН, Россия, Черноголовка*

E-mail: [Inessa@icp.ac.ru](mailto:Inessa@icp.ac.ru)

В работе обсуждается возможность применения некоторых производных тетразин N-оксидов (I-V) в качестве компонентов СТРТ.

**(I)** [1]

**(II)** [1]

**(III)** [2]

**(IV)** [3]

**(V)** [4]

Указанные соединения реально синтезированы в последние годы, их плотности лежат в интервале 1.86 - 1.93 г/см<sup>3</sup>, а энтальпии образования  $\Delta H^{\circ}_f$  оценены как 3388.2 [1]; 4935.2 [1]; 4100.0 [2]; 1297.1 [3] и 3757.6 [4] кДж/кг для **I**; **II**; **III**; **IV** и **V** соответственно. Соединения **I-V** существенно различаются не только по величинам  $\Delta H^{\circ}_f$ , но и по величине  $\alpha$  ( $\alpha = O/(2C+0.5O)$ ), которая минимальна у **III** ( $\alpha = 0.2$ ), а максимальная у **IV** ( $\alpha = 0.8$ ).

В настоящей работе проводили термодинамический анализ безметалльных топлив, состоящих из основного наполнителя (**I-V**) и связующего в количестве 18 % по объему, с оптимизацией соотношения в связующем активной и углеводородной составляющих. Наиболее высокие значения уд. импульса и эффективного импульса для 3-ей ступени  $I_{sp}$  и  $I_{ef(3)}$  ( $I_{ef(3)} = I_{sp} + 25(\rho - 1.7)$  [5]) имеют СТРТ на базе **II** ( $I_{sp}$  до 273.4 с), но составы с **II** имеют недопустимо высокие температуры горения  $T_c$  (до 4047 К при предельно допустимой  $T_c$  на уровне 3800 К).

Для композиций СТРТ на основе соединения **II** показаны возможные пути снижения  $T_c$  до 3700-3800 К. Это:

- а) повышение доли активного связующего выше 18 об.%;
- б) Разбавление активного связующего углеводородным при сохранении содержания смесового связующего на уровне 18 об.%;
- в) разбавление основного наполнителя **II** перхлоратом аммония.

Показано, что наиболее эффективным (т.е. когда снижение  $T_c$  на определенную величину сопровождается меньшими потерями в  $I_{sp}$  и  $I_{ef(3)}$ ) является третий путь, когда удалось снизить  $T_c$  до 3800 К при  $I_{sp} = 266.4$  с,  $I_{ef(3)} = 269.7$ с).

Составы на базе остальных компонентов (**I**, **III-V**) имеют  $T_c$ , не превышающие 3570 К. На рисунке видны достигаемые величины  $I_{ef(3)}$  составов "основной наполнитель с активным связующим 18 об.%" при условии  $T_c < 3800$  К. Для сравнения приведены составы с октогеном и

АДНА (для последнего это смесь с 18 об.% углеводородного связующего, которое для АДНА намного выгоднее).

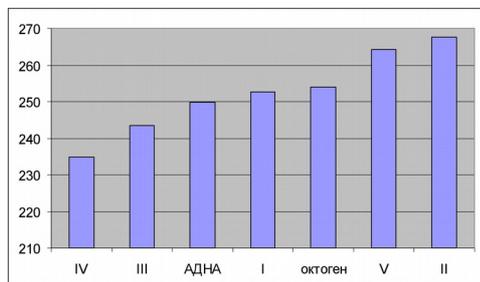


Рис. На оси абсцисс достигаемые величины  $I_{ef}(3)$ , с составов "основной наполнитель со связующим 18 об.%" при условии  $T_c < 3800$  К. Связующее: для АДНА - углеводородное, для остальных - активное.

Видно, что **II** и **V** существенно опережают октоген и АДНА, **I** - несколько опережает АДНА, но уступает октогену. наконец, **IV** и **III** существенно уступают по баллистической эффективности всем остальным.

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

#### Литература

- [1] *Chavez D. E., Parrish D. A., et al.* **2017**. *Angew. Chem.*. 56. 3575
- [2] *Hao Wei, Jiaheng Zhang, Shreeve J.M.* **2015**. *Chem. Asian J.* 10. 1130
- [3] *Hao Wei, Haixiang Gao, Shreeve J.M.* **2014**. *Chem. Eur. J.* 20. 16943
- [4] *Shreeve J.M., L. Hu, P. Yin, H. Gao, G. H. Imler, Parrish D. A.* **2019**. *Chem. Commun.* 55. 8979
- [5] Павловец Г., Цуцуран В. Физико-химические свойства порохов и ракетных топлив. **2009**. Изд. Минобороны: М. 408