

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
НЕКОТОРЫХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ
ЗА СЧЕТ ДОГОРАНИЯ ПРОДУКТОВ НЕПОЛНОГО СГОРАНИЯ**

*А. И. Глаголев, А. И. Зубков, В. А. Каллистов,
И. Е. Никитина, Е. Я. Чумакова*

(Москва)

Энергетические характеристики твердых топлив зависят от соотношений горючих и окислительных компонентов топлива. В баллистических топливах носителем избыточного кислорода является нитроглицерин. Исходя из условий обеспечения необходимых механических свойств, предельное количество нитроглицерина, вводимое в топливо, существенно меньше требуемого для достижения стехиометрического состава.

Смесевые твердые топлива, представляющие собой механические смеси горючего и окислителя, с высоким содержанием окислителя характеризуются лучшими энергетическими свойствами, величина удельного импульса $I_{уд}$ достигает 2500 Н·с/кг, по сравнению с баллистическими топливами, имеющими $I_{уд} \approx 2130 \div 2300$ Н·с/кг, [1, 2]. Используемые твердые окислители обладают небольшим количеством активного кислорода [2]. Например, перхлорат аммония NH_4ClO_4 содержит 34,2% O_2 , нитрат лития $LiNO_3$ — 34,81%, хлорнокислый калий $KClO_4$ — 46,2% O_2 . Что касается перхлората лития $LiClO_4$, содержащего 60,1% O_2 , то его практическое использование ограничивает значительная стоимость и высокий молекулярный вес продуктов сгорания. Получение стехиометрического состава смесевых топлив затруднено увеличением содержания окислителя в топливной композиции, что приводит к ухудшению литевых качеств топлива и, как следствие, усложняет производство зарядов однородного состава с удовлетворительными физическими свойствами.

Таким образом, рассмотренные твердые топлива имеют отрицательный кислородный баланс, который приводит к снижению энергетических характеристик двигателя. С целью устранения указанных недостатков твердых топлив возникает необходимость рассмотрения возможности дожигания продуктов неполного сгорания в дополнительном окислителе в камере сгорания РДТТ или вне ее. В качестве дополнительного окислителя могут использоваться составы, отвечающие основным требованиям, предъявляемым к окислителям твердых топлив.

Для дожигания продуктов неполного сгорания твердого топлива рассмотрена возможность использования в качестве дополнительного окислителя дешевых недефицитных и нетоксичных твердых и жидких составов, например аммонийной селитры NH_4NO_3 , распространяемого окислителя АК-27И, смеси твердой NH_4NO_3 и жидкого АК-27И, а так-

же атмосферного воздуха. Процесс дожигания с применением первых двух окислителей может быть организован в камере сгорания РДТТ, а дожигание на воздухе в небольших прямоточных насадках, располагаемых за срезом сопла. На рис. 1 представлена одна из возможных принципиальных схем организации процесса дожигания с использованием воздушной среды (1 — камера сгорания, 2 — прямоточный насадок, 3 — сопло, 4 — граница струи, p_k — давление в камере).

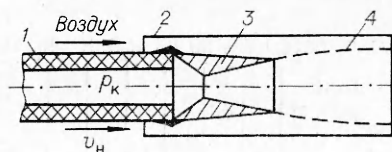


Рис. 1.

В данной работе использована методика [3], позволяющая решить термодинамическую задачу горения топлива в камере и истечение из сопла при заданных условиях протекания рабочего процесса. Состав продуктов сгорания топлив вычисляется в предположении, что в камере сгорания реализуется условие полного термодинамического равновесия.

Для определения параметров рабочих тел в состоянии равновесия должны быть заданы элементарный химический состав исходного рабочего тела и два любых термодинамических параметра, которые определяют условие существования рабочего тела.

В состав продуктов сгорания могут входить компоненты в следующих состояниях: газообразные электрически нейтральные индивидуальные вещества, конденсированные компоненты и газообразные ионизированные вещества, включая электронный газ. На основании решения уравнений состава рабочего тела с учетом минимума полного изобарно-изотермического потенциала определяются термодинамические характеристики продуктов сгорания топлив в камере и на срезе сопла.

В данной работе рассмотрены топливные композиции: баллиститное топливо № 1 ($C_{22,865}H_{29,464}O_{34,290}N_{9,635}Mg_{0,496}$), баллиститное топливо № 2 ($C_{19,223}H_{26,284}O_{36,803}N_{9,983}Ca_{0,0296}K_{0,0226}Zn_{0,0124}S_{0,0113}$) и смешанное топливо ($C_{13,531}H_{43,563}O_{22,687}N_{5,811}Cl_{5,617}Al_{5,559}$).

На рис. 2, 3 приведены изменения мольного состава и термодинамических характеристик продуктов сгорания на срезе сопла двигателя при различных давлениях в камере ($p_k = 60 \div 110$ бар на срезе сопла, $p_a = 16$ бар) для смешанного топлива.

Применение в качестве дополнительного окислителя к баллиститному составу № 1 аммонийной селитры NH_4NO_3 позволяет получить расчетный удельный импульс, равный 2472,3 Н·с/кг при давлении в камере 80 бар.

Влияние добавок окислителя на энергетику твердого баллиститного топлива исследовано посредством термодинамического анализа, результаты которого приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Добавка окислителя к баллиститному топливу № 1	Состав топлива	p_k , бар	$\frac{P_{k'}}{kg \cdot k}$	T_k , К	k	$\frac{I_{уд'}}{kg}$
NH_4NO_3	$C_{13,215}H_{19,505}O_{36,711}$ $N_{16,748}Mg_{0,298}$	80	0,2710	2745,6	1,189	2472,3
		100	0,2708	2752,3	1,189	2500,7
		120	0,2705	2764,5	1,189	2548,3
$NH_4NO_3 + AK-27I$	$C_{11,571}H_{31,179}N_{14,971}$ $O_{38,376}Mg_{0,251}$	40	0,3016	2876,2	1,182	2562,4
		80	0,3004	2919,9	1,182	2613,1
		120	0,2996	2944,6	1,182	2683,7

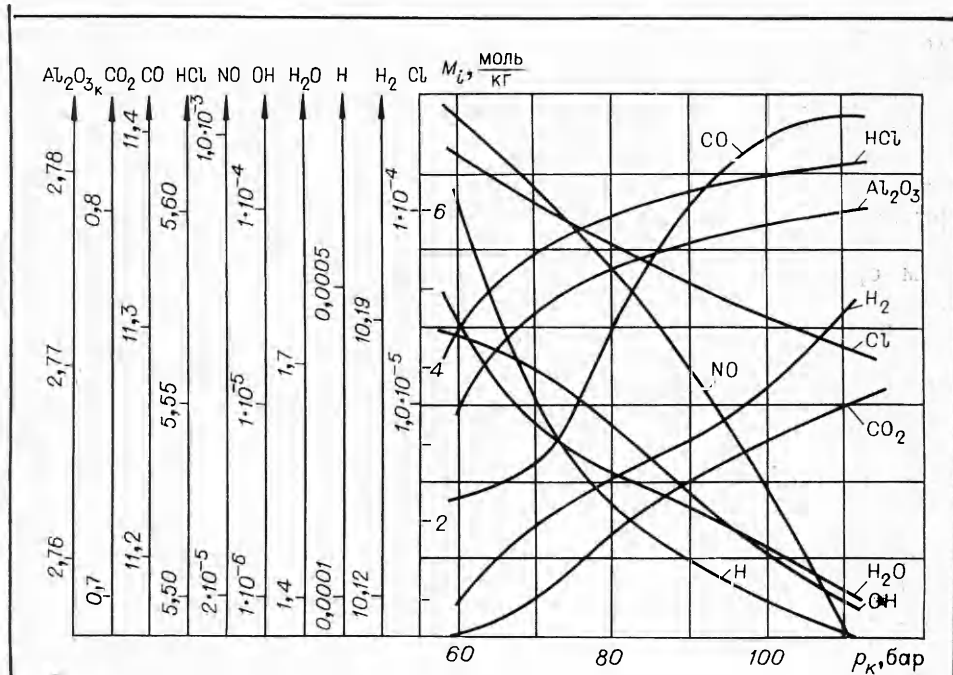


Рис. 2.

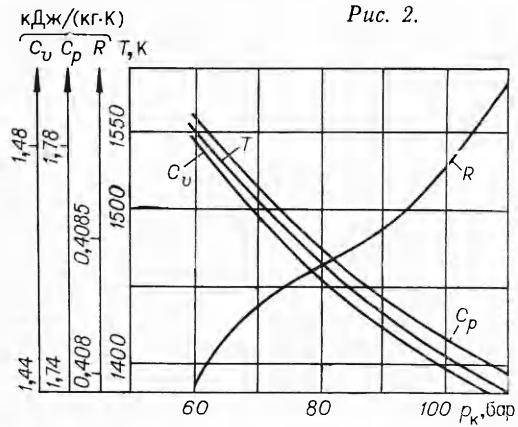


Рис. 3.

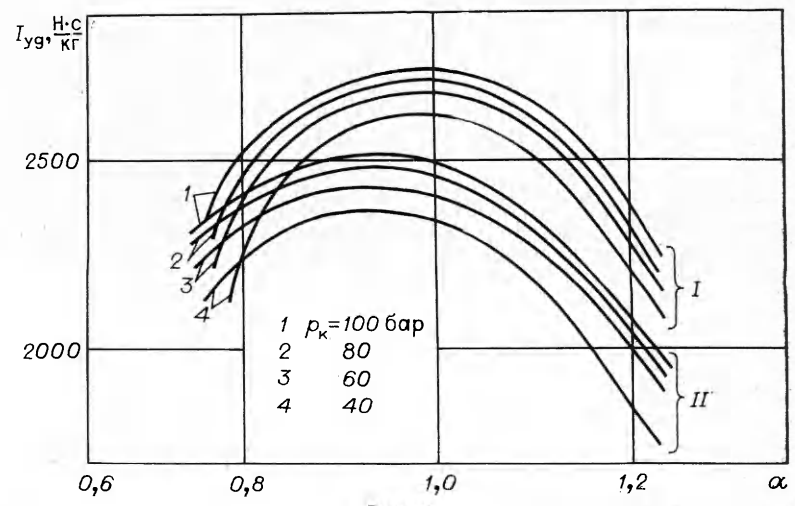


Рис. 4.

Таблица 2

Состав топлива	Условная формула	$I_n^0, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
77,38% т. № 2 + +22,62% NH_4NO_3	$\text{C}_{8,9342}\text{H}_{38,984}\text{N}_{18,015}\text{O}_{37,1808}\text{Ca}_{0,1376}\text{K}_{0,0105}\text{Zn}_{0,00576}$ $\text{S}_{0,00525}$	-3659,863
62,87% т. № 2 + +37,13% $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{АК-27И}$	$\text{C}_{12,086}\text{H}_{28,752}\text{N}_{13,863}\text{O}_{38,939}\text{Ca}_{0,1861}\text{K}_{0,0142}\text{Zn}_{0,00779}$ $\text{S}_{0,0071}$	-2941,113

Термодинамические параметры (газовая постоянная R_k , температура горения T_k , показатель адиабаты k) в камере двигателя и расчетный удельный импульс I_{yx} получены при различных давлениях в камере.

Использование в качестве дополнительного окислителя смеси NH_4NO_3 с добавкой АК-27И позволяет повысить значение произведения $(RT)_k$ и, следовательно, удельный импульс двигателя, например, до 2562,4 Н·с/кг при давлении в камере 40 бар; при увеличении p_k до 120 бар удельный импульс возрастает до 2683,7 Н·с/кг.

Добавка минерального окислителя NH_4NO_3 к баллиститному топливу № 2 существенно повышает удельный импульс, величина которого может достигать 2358,3 Н·с/кг при $p_k=40$ бар.

Результаты расчетов I_{yx} топливных композиций № 2 с аммонийной селитрой (II) и в смеси с ($\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{АК-27И}$) (I) при разных значениях давления в камере и коэффициенте избытка окислителя α представлены на рис. 4.

Применение для дожигания в качестве дополнительного окислителя смеси аммонийной селитры с АК-27И в соотношении, обеспечивающем $\alpha \approx 0,9 \div 1,0$, позволяет увеличить удельный импульс баллиститного состава № 2 до 2620,9 Н·с/кг при $p_k=40$ бар. Рост давления в камере до 80 бар приводит к возрастанию I_{yx} на 5÷7%. В табл. 2 приведены исходные составы баллиститного топлива № 2 с дополнительным окислителем, повышающим кислородный баланс топливной смеси до близкого к стехиометрическому соотношению горючих и окислительных компонентов.

Проведенные термодинамические исследования показали возможность повышения энергетических параметров, в частности, удельного импульса баллиститных и некоторых смесевых твердых топлив на 15—30% за счет дожигания продуктов неполного сгорания в присутствии дополнительного окислителя в камере двигательной установки.

Поступила в редакцию
10/X 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Добровольский. Жидкостные ракетные двигатели. М., «Машиностроение», 1968.
2. Я. М. Паушкин. Химия реактивных топлив. М., Изд-во АН СССР, 1962.
3. Г. Б. Синярев. Труды МВТУ, № 159, М., 1973.
4. Я. М. Шапиро, Г. Ю. Мазинг, Н. Е. Прудников. Теория ракетных двигателей на твердом топливе. М., Воениздат, 1966.