

вается изготовителями агрегатов систем, а эксплуатант может только поддерживать этот уровень.

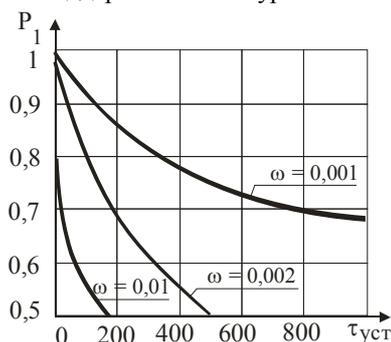


Рис. 4. Зависимость вероятности готовности изделия от длительности устранения отказов

Таким образом, эксплуатантам в системе управления затратами на техническое обслуживание доступно управление только двумя переменными: поддержанием безотказности (заданного  $\omega$ ) и сокращением времени устранения отказов и неисправностей.

#### Библиографический список

1. Емелин, Н. М. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов / Н. М. Емелин. М. : Машиностроение, 1995.
2. Емелин, Н. М. Определение периодичности диагностирования сложных систем при их техническом обслуживании по фактическому состоянию / Н. М. Емелин // Надежность и контроль качества. 1990. № 8. С. 57–60.

О. Г. Войко

### DIRECTIONS OF THE EXPLOITER AIRPLANES IN GOOD CONDITION MAINTENANCE PROBLEM SOLUTION

*The possibility of the aviation technique diagnose regimes optimization is viewing. The method of the diagnose regimes analysis based upon Kolmogorov differential equations is developed.*

*Keywords: functional systems, diagnostication moods, equation system, state graph.*

УДК 662.23

Т. И. Горбенко

### РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ НИТРАТА АММОНИЯ<sup>1</sup>

*Проведен термодинамический анализ энергетических возможностей смесевых твердых топлив. Особое внимание уделено поиску путей повышения баллистической эффективности твердого топлива на основе нитрата аммония и установлению реальных пределов, которые может обеспечить химия высокоэнергетических компонентов. Экспериментально показано влияние каталитических добавок на способность к самостоятельному горению топлива на основе нитрата аммония при атмосферном давлении и возможность увеличения скорости горения топлива.*

*Ключевые слова: смесевое твердое топливо, нитрат аммония, нанодисперсный порошок алюминия (Al<sub>ex</sub>), стационарная скорость горения, коэффициент избытка окислителя.*

Одной из основных проблем при разработке высокоэнергетических смесевых твердых топлив (СТТ) на основе бесхлорных окислителей является расширение пределов регулирования их баллистических характеристик. Представляет большой интерес как с экологической, так и экономической точки зрения использование нитрата аммония (НА) для создания высокоэнергетических топлив. Интерес к использованию нитрата аммония в перспективных высокоэнергетических топливах обусловлен

тем, что он является полностью газифицируемым, производит чистые и бездымные продукты сгорания, является дешевым, доступным и экологически безопасным энергетическим материалом. Применение нитрата аммония в составе перспективных высокоэнергетических топлив связано с проблемой управления процессом их горения. На характеристики горения оказывают существенное влияние низкая реакционная способность металлических горючих, продуктов разложения и горения

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта № 2008-3-1.3-26-01 по теме «Полимерные нанокompозиты повышенной эффективности для двигательных установок и газогенераторов различного назначения», выполняемой в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007–2012 гг.».

НА, поведение горючего-связующего (ГСВ) в волне горения. В научных работах достаточно полно изучен механизм горения чистого НА и композиций на его основе [1–3]. Известно, что топлива на основе нитрата аммония с инертным горючим-связующим не способны к самостоятельному горению при давлении ниже 2 МПа. Перспективными направлениями регулирования баллистических характеристик нитратаммониевых топлив являются следующие: использование модифицированного НА, не имеющего фазовых переходов в интервале температур от –50 до +50 °С и обладающего повышенной реакционной способностью продуктов его разложения; использование активного органического горючего-связующего и нанодисперсного порошка алюминия; использование каталитических добавок. Однако имеющихся данных по влиянию таких энергетических компонентов на механизм горения нитратаммониевых топлив недостаточно.

Целью данной работы является разработка эффективных рецептов нитратаммониевых топлив с высоким удельным импульсом, экологически безопасными продуктами сгорания, технологичных при изготовлении.

Особое внимание в работе уделено поиску путей повышения баллистической эффективности твердого топлива на основе нитрата аммония и установлению реальных пределов, которые может обеспечить химия высокоэнергетических компонентов. С учетом особенностей создания высокоэнергетических топлив на основе НА исследованы следующие направления воздействия на процессы энерговыделения в волне горения:

- выбор термодинамически выгодного соотношения компонентов, обеспечивающих высокий удельный импульс и технологичность при изготовлении;
- использование активного горючего-связующего;
- подбор модификаторов горения;
- изменение удельной поверхности алюминия путем замены микроразмерного алюминия на нанодисперсный;
- подбор эффективного содержания нанодисперсного алюминия в топливе.

В работе рассмотрена топливная система «окислитель–органическое горючее-связующее–алюминий». В качестве активного горючего-связующего использовался метилполивинил-тетразол, пластифицированный нитроэфирно-нитраминным пластификатором (МПВТ АСП), в качестве окислителя – нитрат аммония.

**Термодинамический расчет энергетических характеристик топлива.** Энергетические характеристики топлив, а также термодинамические и теплофизические свойства их продуктов сгорания определены термодинамическими расчетами по программе «Астра-4» (МГТУ им. Н. Э. Баумана). Исходными данными для термодинамических рас-

четов являются содержание компонентов (мас. %) в топливе, эквивалентные формулы компонентов и их энтальпии. Расчет компонентных составов проведен с учетом варьирования параметров – коэффициента избытка окислителя  $\alpha = 0,8...1,0$ , содержания алюминия (Al)  $z = 5, 10, 15\%$ . Вариация по б осуществлялась за счет изменения соотношения НА и активного горючего-связующего. Компонентные составы для  $z = 15\%$ , эквивалентные формулы и энтальпии исходных веществ  $\Delta H$  представлены в табл. 1. Состав топлива при  $\alpha = 1,0$  содержит недостаточное количество горючего-связующего для связывания кристаллического окислителя и металлической добавки. Из-за недостаточного количества ГСВ смесь может быть чрезмерно зернистой или жесткой. Из-за переизбытка ГСВ смесь может быть жидкой. Под технологичностью топливной массы понимают разработку таких топливных композиций, в которых соотношение вязких и твердых составляющих обеспечивает возможность формирования образцов, сохранение формы заряда, возможность механической обработки образца, отсутствие выкрашивания твердых компонентов из топливной матрицы, возможность нанесения на топливный образец бронировочного покрытия, разброс по плотности одного состава не более  $0,02 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . За критерий технологичности выбрано соотношение твердых и жидких компонентов топливной системы:

$$B = N_1 / N_2,$$

где  $N_1, N_2$  – процентное содержание твердых и жидких компонентов в топливной массе соответственно. Для того чтобы топливная система имела хорошие технологические показатели, необходимо чтобы значение параметра  $B$  находилось в промежутке от 2,8 до 6.

В термодинамических расчетах дополнительно задаются значения давления в камере сгорания  $p_k$  и на выходе  $p_a$ . Основные расчеты проведены при давлении в камере сгорания 2, 4, 6 МПа, а на выходе – 0,1 МПа. Следует отметить, что существующие программы не позволяют учитывать дисперсность компонентов. Рассчитанный удельный импульс представляет верхнее предельное значение (идеальное значение) этого параметра. Для сравнения различных топлив по энергетическим характеристикам используются значения удельного импульса. Удельный импульс является одной из основных энергетических характеристик топлива.

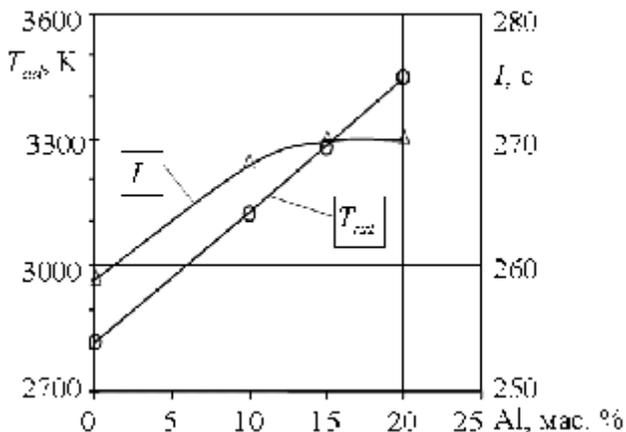
Термодинамические расчеты показали возможность формирования твердых топлив на основе НА, по энергетическим характеристикам не уступающих известным аналогам. Увеличение содержания алюминия в топливе приводит к росту значений как адиабатической температуры горения  $T_{ad}$ , так и удельного импульса  $I$  во всем диапазоне изменения давлений и значений  $\alpha$ . Следует заме-

Таблица 1

Компонентные составы и характеристики исходных веществ

$\alpha$	Содержание компонентов, мас. % ( $z = 15$ )		Исходные вещества	Эквивалентные формулы	$\Delta H$ , кДж/кг
	НА	МПВТ-АСП			
0,8	55,1	29,9	НА	$N_{25,00}H_{50,00}O_{37,50}$	– 4 557,12
0,9	67,6	17,4	МПВТ-АСП	$C_{18,38}H_{31,10}O_{31,90}N_{16,95}$	– 1 046,67
0,95	73,0	12,0	Al	$Al_{37,04}$	0,0
1,0	78,0	7,0			

тить, что в металлизированных составах, независимо от величины  $z$ , удельный импульс снижается с ростом значений  $\alpha$ . При фиксированном значении  $\alpha = 0,9$  варьирование содержания алюминия от 0 до 15 мас. % за счет изменения соотношения окислителя и связки увеличивает удельный импульс от 259 с (для безметалльной системы) до 270 с при одновременном повышении значений адиабатической температуры горения (см. рисунок). Введение в рецептуру исследуемой системы алюминия от 15 до 20 мас. % не вызывает значимого изменения значений удельного импульса. Введение Al выше 20 % приводит к нетехнологичной компоновке топливной системы.



Зависимость удельного импульса  $I$  и адиабатической температуры  $T_{ad}$  от количества алюминия в топливе

Для сравнения приведены значения  $T_{ad}$  и  $I$  для составов на основе перхлората аммония (ПХА) и НА при  $z = 15\%$ , давления  $p_k = 4,0$  МПа (табл. 2). Сравнительный анализ показывает, что по значению удельного импульса нитратные составы ( $\alpha = 0,9$ ) на активном ГСВ незначительно уступают составам на основе ПХА, а снижение  $T_{ad}$  на 400 К в нитратных составах по сравнению с перхлоратными способствует возможности увеличения «времени жизни» работы двигателя.

**Результаты экспериментов.** Технологически воспроизводимые топливные системы на основе НА и активного ГСВ, содержащие 15 мас. % Al, характеризуются коэффициентом избытка окислителя  $\alpha = 0,8...0,95$ . Данное значение  $\alpha$  значительно выше, чем для нитратаммониевых топлив на инертном горючем-связующем. Использование активного горючего-связующего, содержащего кислород, позволяет повысить энергомассовые и баллистические характеристики высокоэнергетических топлив. Для проведения экспериментального исследования характеристик горения был выбран базовый состав с  $\alpha = 0,9$ , обладающий достаточно высоким удельным импульсом и отвечающий требованиям технологичности изготовления. Часть эксперимента проведена на образцах с

$\alpha = 0,95$ . Экспериментально исследовали составы, содержащие НА марки ЖВ (не имеет фазовых переходов в интервале температур от  $-50$  до  $+50$  °С) с размером частиц 160...315 мкм, активное горючее-связующее МПВТ АСП, имеющее коэффициент избытка окислителя  $\alpha = 0,61$ , промышленный алюминий марки АСД 4 ( $S_{уд} = 0,51$  м<sup>2</sup>/г) и алюминий, полученный методом электровзрыва провололок в аргоне, марки Alex ( $S_{уд} = 13,89$  м<sup>2</sup>/г). При изготовлении образцов использовали смесь порошков алюминия АСД 4/Alex как соотношение 80/20, 50/50, 0/100 %. Общее количество металлического горючего в топливе составляло 15 %. Измерение стационарной скорости горения проводили при атмосферном давлении на открытом воздухе. На каждую точку сжигали 3–5 образцов. Разброс в параллельных опытах не превышал 10...15 %. Проведенные эксперименты показали, что металлизированные составы на основе НА и МПВТ АСП при значениях  $\alpha = 0,9$  и  $0,95$  независимо от содержания Alex в топливе при атмосферном давлении не горят. На поверхности горения наблюдали жидкий кипящий слой НА.

Традиционным способом регулирования скорости горения СТТ является введение малых количеств веществ (до 2 мас. %), изменяющих либо температуры начала распада исходных топливных компонентов, либо процессы распада последних, либо течение реакций взаимодействия продуктов распада исходных компонентов между собой или с более термостойкими компонентами топлива [4; 5]. Как правило, подбор веществ, регулирующих скорость горения топлив, проводят исходя из их влияния на термическое разложение окислителей топливных композиций, так как последние составляют до 80 мас. % топливной массы [1; 2]. Вторым компонентом по массовому содержанию в металлизированных твердых топливах является металлическое горючее (до 10...16 мас. %), поэтому нельзя исключить возможность поиска эффективных добавок среди веществ, влияющих на ход реакций взаимодействия металлического горючего с продуктами распада менее термостойких составляющих топливной композиции.

В работе исследованы практические возможности модифицирования составов на основе НА путем введения в их структуру каталитических добавок сажи, хлорида олова ( $SnCl_2$ ) и сложной добавки сажа +  $SnCl_2$  (в соотношении 1/1). Известно, что сажа обеспечивает возможность горения нитратных составов при атмосферном давлении, повышает активность предпламенных процессов, уменьшает образование жидкой фазы на поверхности горения [3]. Хлорид олова влияет на горение Alex, препятствуя образованию нитрида алюминия, увеличивая выход оксида алюминия в продуктах реакции [6]. Добавки вводили в количестве 2 мас. % сверх 100 %. Влияние смешанной добавки оценивали эффективностью  $K$ , под которой понимали отношение скоростей горения металлизированного состава с добавкой сажа +  $SnCl_2$  к метал-

Таблица 2

Сравнение термодинамических параметров топливных систем

НА+МПВТ-АСП+Al			ПХА+МПВТ-АСП+Al		
$\alpha$	$T_{ad}$ , К	$I$ , с	$\alpha$	$T_{ad}$ , К	$I$ , с
0,85	3 326	271	0,8	3 705	277
0,9	3 289	270	0,9	3 687	273

лизированному составу с добавкой сажи при прочих равных условия. Стационарная скорость горения исходного состава на основе НА и смешанного металлического горючего, а также составов с добавкой сажи, хлорида олова и сложной добавкой сажа + SnCl<sub>2</sub>, эффективность сложной добавки *K* приведены в табл. 3.

Получено, что при  $\alpha = 0,9$  в присутствии сажи, являющейся катализатором разложения НА, все образцы устойчиво горят при атмосферном давлении, замена АСД-4 на Alex приводит к росту скорости горения в 1,8 раза. Введение добавки SnCl<sub>2</sub> в исходные образцы с большим содержанием в смешанном металлическом горючем АСД-4 не привело к зажиганию образцов. В образцах, содержащих АСД-4 и Alex в соотношении 1/1, добавка SnCl<sub>2</sub> обеспечила скорость горения образцов порядка 1,31 мм/с, что в 1,7 раза больше скорости горения аналогичных образцов с сажей. Добавка SnCl<sub>2</sub> не является катализатором нитрата аммония, но влияет на ход реакций взаимодействия Alex с продуктами распада менее термостойких составляющих топливной композиции. По-видимому, в присутствии добавки хлорида олова такое соотношение АСД 4 и Alex, как 1/1 обеспечивает оптимальный контакт между частицами алюминия микронного размера и частицами наноалюминия с учетом площадей удельной поверхности соответствующих частиц и обеспечивает условия теплопроводности в конденсированную фазу в процессе горения топлива. Повышение реакционной активности частиц наноалюминия по сравнению с АСД 4 в присутствии хлорида олова способствует более раннему их окислению в пределах жидко-вязкого слоя расплава нитрата аммония. При полной замене АСД-4 на Alex ( $\alpha = 0,9$ ) в присутствии хлорида олова образцы дают кратковременную вспышку и затем гаснут. По-видимому, это связано с тем, что Alex, интенсивно прогорая в начальный момент времени, не успевает передать тепло вглубь образ-

ца, чему способствует также наличие жидко-вязкого слоя расплава нитрата аммония.

В присутствии сложной добавки сажа + SnCl<sub>2</sub>, скорость горения образцов увеличивается с ростом содержания Alex. Сложная добавка приводит к увеличению скорости горения образцов, содержащих нанодисперсный алюминий, на 30 % по отношению к аналогичным образцам с сажей. Изучение влияния добавки сажа + SnCl<sub>2</sub> показало, что на фоне катализатора распада нитрата аммония – сажи, действие второй компоненты добавки усиливается по мере увеличения содержания в металлическом горючем нанодисперсного алюминия. Выявленная закономерность указывает на ведущую роль природы металлического горючего в формировании уровня скорости горения изучаемых систем. Так, если введение сажи увеличивает скорость горения систем по мере роста содержания в них Alex в 1,3 и 1,8 раза по отношению к образцам с большим содержанием в них микродисперсного алюминия АСД-4, то дополнительное введение SnCl<sub>2</sub> на фоне сажи приводит к росту скорости горения в 1,4 и 2,2 раза соответственно. Эффективность сложной добавки увеличивается с ростом содержания Alex. По данным дифференциального термического анализа добавка хлорида олова не оказывает влияния на температуру разложения АСД-4, а температуру начала разложения Alex снижает с 773 до 513 К (табл. 4) [7].

Исследование горения составов с  $\alpha = 0,95$  показало неустойчивость воспламенения образцов как в присутствии сажи, так и в присутствии сложной добавки сажа + SnCl<sub>2</sub>. Снижение содержания активного горючего-связующего в топливе за счет повышения содержания НА привело к снижению реакционной способности топливной композиции в целом. Из данных дифференциального термического анализа (табл. 4) видно, что температурный интервал разложения органического связующего

Таблица 3

Скорость горения нитратаммониевых составов, содержащих смешанное металлическое горючее

№ состава	Содержание АСД-4/Alex, мас. %	Скорость горения, при 0,1 МПа, мм/с				
		Исходная	Сажа	SnCl <sub>2</sub>	Сажа + SnCl <sub>2</sub> (1/1)	<i>K</i>
$\alpha = 0,9$						
1	12/3	не горит	0,60	не горит	0,60	1,0
2	7,5/7,5	не горит	0,79	1,31	0,84	1,1
3	0/15	не горит	1,07	вспышка	1,34	1,3
$\alpha = 0,95$						
4	12/3	–	не горит	–	не горит	–
5	7,5/7,5	не горит	0,87	–	–	–
6	0/15	не горит	не горит	–	1,9	–

Таблица 4

Результаты дифференциального термического анализа

Система	Температура разложения, К		
	Начало	50,0 мас. %	100,0 мас. %
НА	443	533	553
АСД-4	1 063	–	–
Alex	773	1 023	–
АСД-4 + 2 % SnCl <sub>2</sub>	1 056	–	–
Alex + 2 % SnCl <sub>2</sub>	513	863	–
МПВТ-АСП	385	449	673

МПВТ-АСП достаточно широк (385...673 К), включая термическое разложение НА и Alex в присутствии добавки хлорида олова. Активное связующее МПВТ-АСП пластифицировано нитроэфирно-нитраминным пластификатором (ДИНА). При термическом разложении ДИНА распадается с выделением оксида азота  $\text{NO}_2$ , который является сильным окислителем. Возможно, на активном ГСВ скорость горения нитратаммониевых топлив определяется скоростью и температурным интервалом распада самой связки. Таким образом, проведенные расчеты компонентного состава и энергетических характеристик топлив, экспериментальные исследования показали, что повышенной реакционной способностью будут обладать технологически воспроизводимые составы при значении  $0,85 < \alpha \leq 0,9$ . Результаты экспериментов впервые показывают целесообразность проведения подбора добавок не только по влиянию на окислитель, но и по влиянию на металлическое горючее.

При полном сгорании образцов наблюдали образование шлаков в виде пористого каркаса, состоящего из алюмосодержащих образований и сажи. Результаты определения массы шлаков от содержания Alex в смешанном металлическом горючем, отнесенной к начальной массе образцов при сжигании, приведены в табл. 5. Приведенные результаты показывают, что добавка  $\text{SnCl}_2$  практически не влияет на формирование твердых веществ. Увеличение скорости горения топливных смесей за счет замены в смешанном металлическом горючем микро-размерного алюминия на Alex приводит к уменьшению массы шлаков независимо от типа добавки.

Для сравнения приведены скорости горения состава на основе нитрата аммония на активном горючем-связующем МПВТ АСП и составов на основе исходного перхлората аммония и двойного окислителя ПХА/октоген на инертном горючем-связующем СКДМ 80, содержащих 15 мас. % Alex (табл. 6).

Данные, представленные в табл. 6, свидетельствуют о том, что применение активного горючего-связующего позволяет заменить традиционный окислитель перхлорат аммония в СТГ на бесхлорный окислитель нитрат аммония, при этом обеспечивается высокое значение коэффициента избытка окислителя топливной системы в целом, приемлемый комплекс эксплуатационных и энерго-

массовых характеристик, а также полнота сгорания дисперсного алюминия.

Таким образом, в работе показана практическая возможность влияния сажи и сложной добавки сажа +  $\text{SnCl}_2$  на способность к самостоятельному горению металлизированных составов на основе нитрата аммония и активно-горючего-связующего при атмосферном давлении.

Добавка сажи в топливо обеспечила устойчивое зажигание и полное сгорание образцов при атмосферном давлении без заметного образования жидкой фазы на поверхности горения независимо от состава смешанного металлического горючего.

Увеличение содержания Alex в смешанном металлическом горючем приводит к снижению времени задержки зажигания образцов, росту скорости горения, уменьшению массы шлаков при полном сгорании образцов независимо от типа используемой добавки. Проведенные эксперименты показали возможность эффективно управления процессом горения нитратаммониевых топлив при атмосферном давлении.

Полученный экспериментальный материал позволяет наметить новый подход к выбору каталитических добавок, эффективно влияющих на формирование уровня скорости горения металлизированных нитратаммониевых твердых топлив, в особенности содержащих нанодисперсный алюминий.

#### Библиографический список

1. Глазкова, А. П. Катализ горения взрывчатых веществ / А. П. Глазкова. М. : Наука, 1976.
2. Манелис, Г. Б. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ и порохов / Г. Б. Манелис, Г. М. Назин, Ю. И. Рубцов, В. А. Струнин. М. : Наука, 1996.
3. Пути решения применения нитрата аммония в смесевых твердых топливах / Г. Я. Павловец, Ю. М. Милехин, В. Ю. Мелешко и др. // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. М., 2004. Вып. 2 (39). С. 15–19.
4. Бахман, Н. Н. Горение гетерогенных конденсированных систем / Н. Н. Бахман, А. Ф. Беляев. М. : Наука, 1967.
5. Андреев, К. К. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ / К. К. Андреев. М. : Наука, 1966.

Таблица 5

Влияние содержания Alex при горении топлив на массу шлаков

№ состава	Содержание АСД-4/Alex, мас. %	Относительная масса шлаков, %, при 0,1 МПа	
		Сажа	Сажа + $\text{SnCl}_2$ (1/1)
$\alpha = 0,9$			
2	7,5/7,5	17,6	18,2
3	0/15	15,6	16,5

Таблица 6

Скорость горения при 0,1 МПа

u, мм/с	Составы		
	НА + МПВТ АСП + сажа + $\text{SnCl}_2$ (1/1) + 15 % Alex ( $\alpha = 0,9$ )	ПХА + СКДМ-80 + 15 % Alex ( $\alpha = 0,7$ )	ПХА/октоген (1/1) + СКДМ-80 + 15 % Alex ( $\alpha = 0,5$ )
	1,34	2,13	1,71

6. Ильин, А. П. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии / А. П. Ильин, А. А. Громов. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002.

7. Синогина, Е. С. Изучение воспламенения горения высокоэнергетических материалов на основе бесхлорных окислителей : дис. ... канд. физ.-мат. наук / Е. С. Синогина. Томск : ТГУ. 2006.

T. I. Gorbenko

## ADJUSTMENT OF POWER PERFORMANCES OF PROPELLANT BASED ON AMMONIUM NITRATE

*Thermodynamic analysis of power performances of compound solid propellant is given. The main emphasis is given on the ways of increasing the solid propellant efficiency based on ammonium nitrate and determination limits chemistry of high-power compounds can give. The influence of catalytic admixtures on the propellant ability to burn independently at atmospheric pressure is shown. The capabilities to increase the burning rate of propellant are considered.*

*Keywords: compound solid propellant, ammonium nitrate, ultra fine aluminum powder (Alex), steady-state burning rate, oxidizer superfluity coefficient.*

УДК 621.385.6

Н. А. Тестоедов, И. В. Трифанов, И. В. Стерехов, Л. И. Оборина, Т. А. Трифанова

## РАЗРАБОТКА АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ ДИАПАЗОНА КРАЙНЕ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ<sup>1</sup>

*Рассмотрены основные направления разработки антенно-фидерных устройств диапазона крайне высоких частот (КВЧ).*

*Ключевые слова: элементная база, антенно-фидерное устройство, система спутниковой связи, облучатель, диапазон частот, радиотехнические характеристики, электроиспытания.*

Элементная база антенно-фидерных устройств (АФУ) КВЧ-диапазона может быть использована для создания устройств дефектоскопии и радиовидения, систем построения радиоизображений трехмерных объектов, устройств сверхвысокочастотной (СВЧ) диагностики плазмы, а также для производства и применения медицинской аппаратуры с использованием фокусировки в локальную область заданной формы, высокоразрешающих радиообъективов и других приборов контроля и обнаружения [1].

С освоением КВЧ-диапазона спутниковая связь получает огромный потенциал для широкого круга новых областей применения: подвижной персональной связи, широкополосного доступа к Интернету, мультимедийного широкого вещания, высокоскоростного обмена корпоративной информацией, определения местоположения абонентов мобильной связи. В каждом классе услуг спутниковая связь, работающая в КВЧ-диапазоне и в других уже освоенных диапазонах, будет способна обеспечить более высокое качество сервиса при сопоставимой стоимости по сравнению с наземными сетями. Высокое качество сервиса будет достигаться за счет широкополосности каналов, экономичности абонентских станций и простых пользовательских интерфейсов [2].

Это тенденция обусловлена явными преимуществами КВЧ-диапазона (30...300 ГГц). К ним относится более высокая разрешающая способность радиолокационных систем, более высокое быстродействие и большое количество каналов связи, возможность применения сверхширокополосных сигналов, меньшие габариты и масса аппаратуры [3].

По сравнению с оптическим, КВЧ-диапазон также имеет преимущества, такие как уверенное прохождение электромагнитного излучения в окнах прозрачности при любых погодных условиях. Наличие определенных полос поглощения миллиметровых волн в атмосфере позволит обеспечить электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств и скрытность связи между объектами в космосе [3].

Следует отметить, что мировая индустрия телекоммуникаций уже сегодня становится важнейшим фактором развития сетевой экономики как основы постиндустриального общества. Отечественная спутниковая связь, работающая в КВЧ-диапазоне, позволит расширить возможности интеграции России в мировые структуры сетевой экономики XXI в. и создать надежную единую систему спутниковой связи для решения различных задач [4].

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансировании работ по гранту РНП 3172/11-09.