

© Л.Н.Шиман¹, Е.Б.Устименко¹, В.В. Соболев², В.В. Куливар²

¹ Государственное предприятие «Научно-производственное объединение «Павлоградский химический завод», г. Павлоград, Украина.

² Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина.

ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СРЕДСТВАХ ВЗРЫВАНИЯ

© L. Shiman¹, E. Ustimenko¹, V. Sobolev², V. Kulivar²

¹State Enterprise Research-Industrial Complex «Pavlograd Chemical Plant», Pavlograd, Ukraine.

² Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

ENERGY SATURATED COMPONENTS OF SOLID ROCKET FUEL AND THEIR USE IN EXPLOSIVES

Цель – исследовать характеристики высокоэнергетических продуктов, полученных с заданными физико-химическими параметрами в результате глубокой химической переработки твёрдого ракетного топлива, для изготовления элементов неэлектрической системы инициирования зарядов взрывчатых веществ и оптических детонаторов.

Методы исследования. Использовались энергонасыщенные продукты, полученные в процессе утилизации твердого ракетного топлива межконтинентальных баллистических ракет РС-22 и некоторых боеприпасов: октоген, перхлорат аммония или калия, гексоген, извлеченный из боеприпасов. С помощью дифференциального и термического гравитационного анализов исследовались все продукты, предназначенные для изготовления элементов неэлектрической системы инициирования и эмульсионных взрывчатых веществ. Определение скорости детонации зарядов взрывчатых веществ проводилось с помощью прибора «Voodmate».

Результаты. Исследованы условия безопасного обращения с твёрдым ракетным топливом межконтинентальных стратегических ракет после длительного хранения. Работы по извлечению твердого топлива проводились на созданном лабораторно-испытательном комплексе. Проведены исследования физических, химических и взрывчатых свойств образцов твердого ракетного топлива и высокоэнергетических компонентов, полученных в результате глубокой химической переработки топлива. Перхлорат аммония, перхлорат калия и октоген. Извлеченные из ракетного топлива, исследовались на чувствительность к удару, трению, электростатическому разряду, детонационному импульсу, вибронагрузкам и действию капсуля-детонатора, исследовались также на химическую и термическую стойкость, тротилловый эквивалент.

Научная новизна. Установлено, что переход перхлората аммония из полимерного связующего в водный раствор зависит от типа и размеров образцов твердого топлива, временных режимов воздействия водной среды на твердого топлива и температуры. В результате проведенных исследований получены экспериментальные зависимости концентрации перхлората аммония от способа изготовления образцов твердого топлива, температуры воды и продолжительности воздействия воды при фиксированной температуре. Установлены зависимости порогового зажигания образцов октогена от энергетических и геометрических характеристик лазерного моноимпульса.

Практическое значение. Разработана технология и организовано производство по утилизации твердого ракетного топлива, состоящее из комплекса различных этапов и включающих гидромеханическое извлечение топлива из корпуса двигателя, механическое измельчение полученного продукта, глубокую химическую переработку топлива с выделением окислителей и высокоэнергетических компонентов, производство которых в Украине отсутствует.

Ключевые слова: утилизация ракет, взрывчатые вещества, детонация, химические технологии, системы взрывания

Введение. Утилизация ракет с истекшими гарантийными сроками хранения твердого ракетного топлива (ТРТ) заключается в разборке двигателей, извлечении ТРТ с последующей его переработкой [1]. В течении многих лет специализированные предприятия Украины проводят работы по утилизации и обычных видов боеприпасов [2], непригодных для дальнейшего использования, представляющих техногенную и экологическую опасность, которые могут возникнуть в случае аварийной ситуации при длительном хранении.

К основным задачам утилизации относятся исследование, создание и организация новых технологических процессов, направленных не на уничтожение материальных ресурсов, заложенных в ТРТ и боеприпасах, а на их возврат в экономику государства. Особенно актуален этот подход для таких материальных ресурсов, производство которых в Украине либо отсутствует, либо является опасным, экологически вредным и экономически нецелесообразным [2]. К таким материалам относятся некоторые компоненты, входящие в рецептуру эмульсионных ВВ, высокобризантные взрывчатые вещества (октоген, гексоген) и пиротехнические вещества для изготовления некоторых элементов неэлектрических систем инициирования (НСИ) зарядов промышленных ВВ [3, 4], в производстве светочувствительных взрывчатых композитов [5, 6, 7] для лазерных систем инициирования зарядов взрывчатых веществ [8, 9] и оптических детонаторов [10].

Целью работы – исследовать характеристики высокоэнергетических продуктов, полученных с заданными физико-химическими параметрами в результате глубокой химической переработки твердого ракетного топлива, для изготовления элементов неэлектрической системы инициирования зарядов взрывчатых веществ и оптических детонаторов.

Материалы и методы исследований. В экспериментальных исследованиях использовались следующие высокоэнергетические продукты, полученные в процессе утилизации ТРТ межконтинентальных баллистических ракет РС-22 и некоторых боеприпасов: октоген, перхлорат аммония или калия, гексоген, извлеченный из боеприпасов. Перечисленные вещества исследовались на чувствительность к удару, трению, электростатическому разряду, детонационному импульсу, вибронагрузкам и к действию капсуля-детонатора, химическую и термическую стойкость, тротиловый эквивалент, влажность извлеченного ТРТ. Испытания к удару и трению проводились по методике [11] с использованием копра БИМ 782-0000 и фрикционного прибора БИМ 781-0000 (Германия). Дифференциальный термический анализ (ДТА) и термический гравитационный анализ (ТГА) проводились для всех продуктов, предназначенных для изготовления

элементов НСИ и ЭВВ. Исследования проводились с применением дифференциального термоанализатора L81 немецкой фирмы LINSEIS и дифференциального гравиметрического термоанализатора Diamond TG/DTA компании Perkin Elmer (США). Определение плотности вещества осуществлялось с использованием устройства для измерения удельного веса на базе аналитических весов AX-200 с приставкой SMK. Термографический и термогравиметрический анализы, определение плотности и удельного веса продуктов утилизации ТРТ и боеприпасов производилось в соответствии с методиками, описанными в работах [12, 13].

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Такие взрывчатые вещества как октоген, перхлорат аммония (ПХА) или перхлорат калия (ПХК) являются компонентами твердого топлива утилизируемых межконтинентальных баллистических ракет (МБР) РС-22. Гексоген и октоген содержатся в некоторых видах боеприпасов. В процессе утилизации вооружений установлено, что некоторые высокоэнергетические компоненты, извлеченные из ТРТ, и взрывчатые вещества боеприпасов могут быть использованы в качестве продуктов для производства неэлектрической системы инициирования и светочувствительных взрывчатых композитов для лазерных систем инициирования.

Одной из наиболее безопасных и удобных в обращении является неэлектрическая система инициирования «Нонель» [3] и другие аналогичные системы, которые наиболее широко используются при добыче полезных ископаемых и в строительстве [4]. Основными элементами НСИ являются капсуль-детонатор (КД) и трубка-волновод, снаряженные такими высокоэнергетическими веществами как гексоген или ТЭН. В составе вещества-замедлителя КД используется, в частности, перхлорат калия.

Утилизацию размещенных на территории Украины МБР РС-22 проводит Павлоградский химический завод, используя гидромеханический способ, который обеспечивает безопасность технологического процесса в целом. Целесообразность использования этого способа извлечения подтверждается результатами, полученными в США и за более чем 20 летний опыт работы – специалистами Украины [14]. Способ гидромеханического извлечения ТРТ в наибольшей степени удовлетворяет комплексу технических, технологических, экономических, социальных и экологических требований [2]. Возврат извлеченных и регенерированных компонентов в промышленное производство позволяет изготавливать новые и модернизировать существующие образцы ракетного вооружения и боеприпасов. При этом исключается необходимость создания экологически вредных и аварийно опасных производств высокоэнергетических компонентов на территории Украины или экспортные поставки таких компонентов. Такой подход в наибольшей степени удовлетворяет комплексу технических, технологических, экономических, социальных и экологических требований.

Переход ПХА из полимерного связующего в водный раствор исследовался с учетом типа и размеров образцов ТРТ, временных режимов воздействия водной среды на образцы ТРТ и температуры, влияния параметров термоциклирования на интенсивность вымывания окислителя и других компонентов. В резуль-

тате проведенных исследований получены экспериментальные зависимости концентрации ПХА от способа изготовления образцов ТРТ, температуры воды и продолжительности воздействия воды при фиксированной температуре. Исследования показали, что во всех опытах наиболее эффективными переходами окислителя характеризуются образцы ТРТ, приготовленные в виде стружки, что свидетельствует о высоком значении удельной химически активной поверхности. Следующими по величине концентрации растворенных окислителей являются образцы ТРТ, приготовленные в виде кубиков. Худшие показатели концентрационных зависимостей относятся к образцам в виде брусков.

Изменение концентрации раствора водорастворимым окислителем в процессе термического циклирования исследовалось на образцах ТРТ, приготовленных в виде стружки 7x5x1 мм. Образцы подвергались семикратному воздействию водных сред (циклированию) при температурах 293, 333 и 353 К. Каждый последующий цикл выполнялся с применением навески свежего топлива. После каждого цикла в образцах топлива и водных средах определяется содержание компонентов наполнителя, растворимых и не растворимых в воде. Продолжительность каждого цикла составляла 30 мин. Результаты эксперимента представлены на рис. 1. Концентрация окислителя в растворе существенно увеличивается с каждым последующим циклом, причем этот показатель приобретает наибольшее значение при температурах 333 и 353 К. В процессе циклирования растворенный ПХА извлекался двумя способами: упариванием на водяной бане насыщенного водного раствора и кристаллизацией растворенного продукта из раствора [2] при низких температурах. Полученный кристаллический продукт был проанализирован на содержание основного вещества и массовой доли влаги, были определены стандартные параметры безопасности (табл. 1).

Таблица 1

Основные параметры конверсионных
и товарного качества высокоэнергетических компонентов

Наименование продукта	Температура разложения, К	Плотность, кг/м ³	Условная теплота разложения, кДж/кг	Чувствительность к механическим воздействиям	
				Удар, Дж	Трение, Н
Октоген:					
-конверсионный	551	1,89	5920	5,0	120
-по ОСТ	более 551	более 1,87	более 5800	5,0	более 48
ПХК:					
-конверсионный	853	2,51	625	не чувствит.	
-по ОСТ	более 833	2,52	627	не чувствит.	

Минимизация вредных выбросов в атмосферу и предотвращение попадания вредных продуктов в почву обеспечивается организацией замкнутого технологи-

ческого цикла рабочей жидкости. В этом процессе технологическая рабочая жидкость подвергается фильтрации и обработке для отделения твердых компонентов и нерастворимых частиц, в том числе, октогена и перхлората калия (рис. 2).

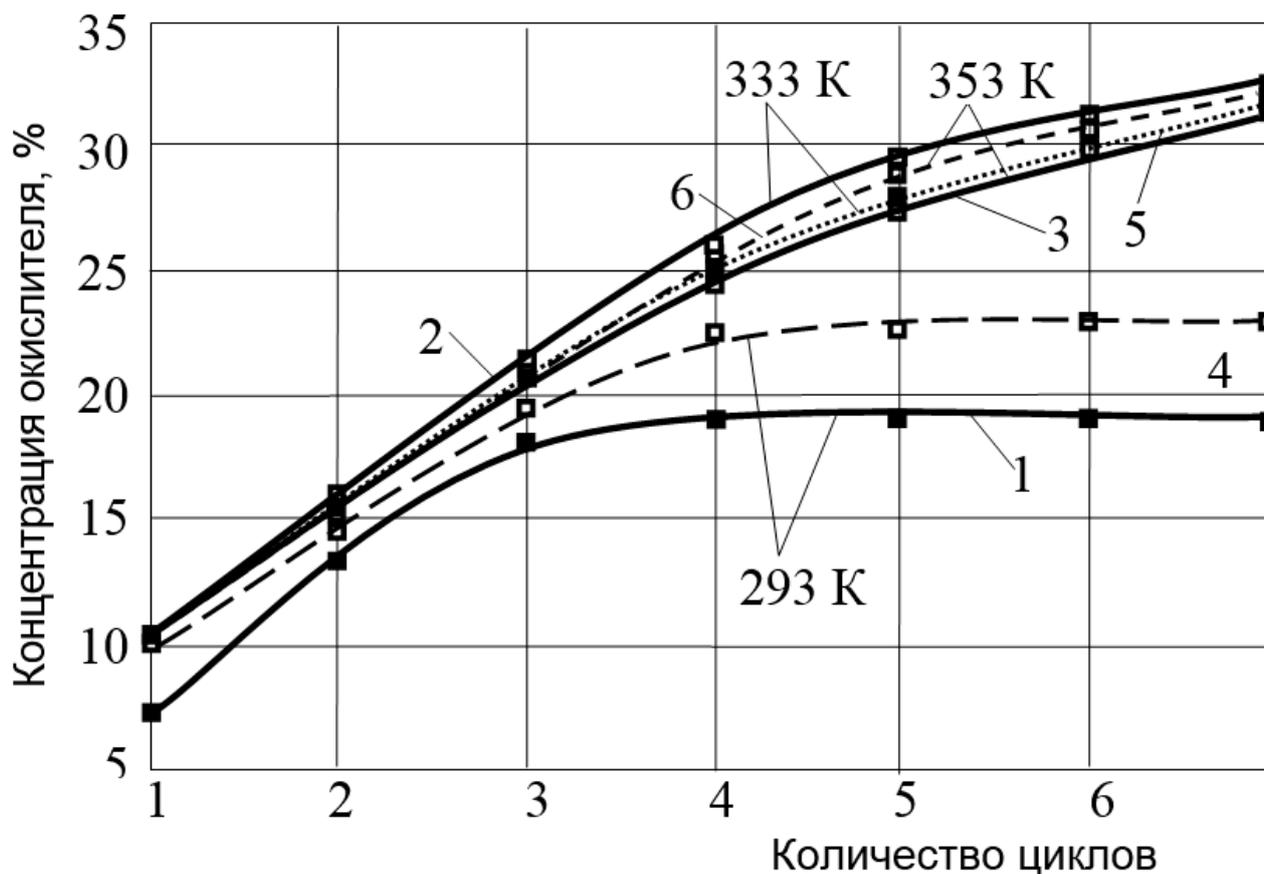


Рис. 1. Изменение концентрации перхлората аммония в растворе при семикратном воздействии водных сред на образцы ТРТ:

1, 2, 3 – экспериментальные данные; 4, 5, 6 – расчетные значения концентраций

Перхлорат калия и октоген как энергонасыщенные компоненты наиболее опасных и ответственных элементов НСИ должны строго соответствовать определенным требованиям, предъявляемым к фракционному составу и степени чистоты микрокристаллов. Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что эти параметры в максимальной степени отвечают за чувствительность к инициирующему импульсу и температурному воздействию, за полноту протекания химических реакций, а в целом определяют точность срабатывания капсюля-детонатора, надежность, безопасность и другие важнейшие параметры НСИ. После проведения первого этапа конверсии компонентов ТРТ и их экстрагирования были выполнены технологические процессы доведения свойств перхлората калия (ПХК) и октогена до требуемых физико-химических параметров (см. табл. 1.)

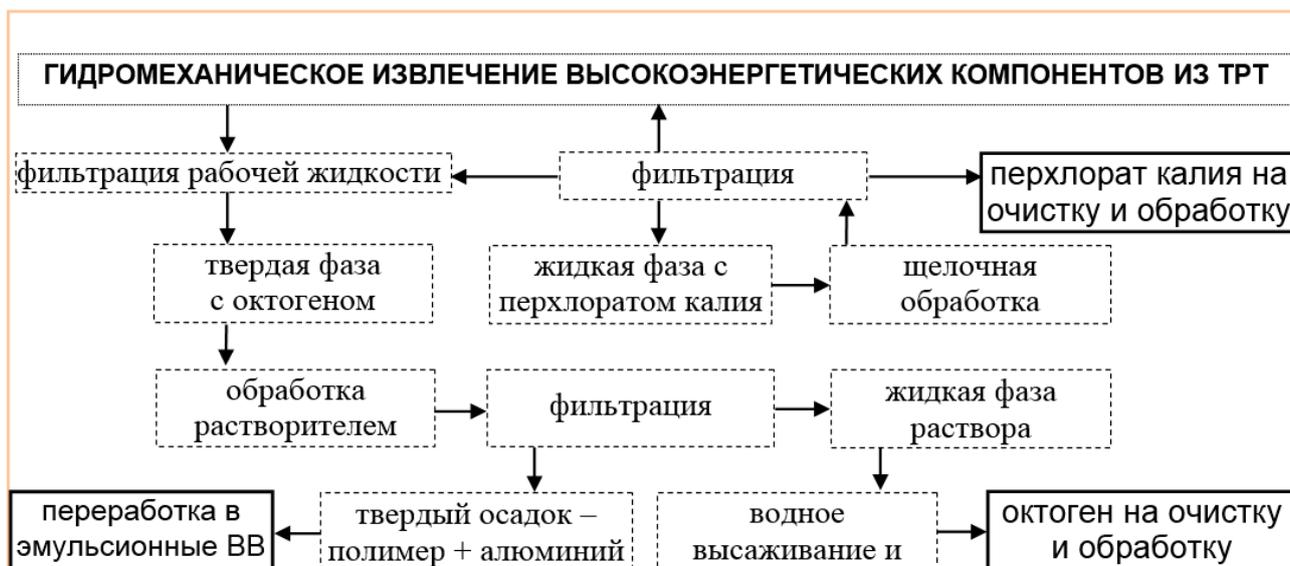


Рис. 2. Технологическая схема выделения высокоэнергетических компонентов из ТРТ

Твердая фаза с кристаллами октогена, отфильтрованная из рабочей жидкости, обрабатывается растворителем для экстрагирования и перевода в раствор октогена, а нерастворимая часть, содержащая полимерное связующее и алюминиевый порошок, используются в качестве энергетической добавки для изготовления ЭВВ. Октоген выделяют из раствора в виде кристаллического продукта, образованного путем проведения водного высаживания. После первого экстрагирования частицы октогена отличаются по форме и размерам, являются некондиционными, но после перекристаллизации размеры частиц не превышают 40 мкм, частицы становятся однородными по форме, имеют высокую степень чистоты и в их составе практически отсутствуют игольчатые кристаллы, характеризующиеся высокой чувствительностью к механическим воздействиям. Октоген используется как вторичное инициирующее ВВ в капсулах-детонаторах и как активное вещество в трубке-волноводе НСИ.

Выход октогена, полученного в процессе регенерации, составил более 98 %. Средняя продолжительность процесса переработки составила 24 часа. Полученные данные обеспечили четкие показатели качества продукта, основанные на сравнении с параметрами, предусмотренными ОСТ, в том числе и значениями военной спецификации США. Предыдущий опыт показал, что материалы, соответствующие требованиям уровня чистоты, отвечают также требованиям уровня кислотности и количества твердого остатка (нерастворимых веществ). Из оценки экономической целесообразности регенерации октогена следует, что благоприятный срок окупаемости составляет 3,6 года.

После фильтрации рабочая жидкость представляла собой раствор перхлората аммония. Для получения перхлората калия раствор ПХА обрабатывался щелочными растворами. Для использования в качестве замедляющего состава полученный перхлорат калия измельчался и просеивался до получения требуемого фракционного состава. Полученные частицы ПХК размером до 150 мкм практически не отличались от частиц товарной продукции, табл. 1.

Установлено, что при использовании полученных продуктов в элементах НСИ "Прима-ЕРА" характеристики по передаче инициирующего импульса соответствуют служебным режимам тех образцов неэлектрических систем инициирования, которые изготавливаются с использованием товарных марок высокоэнергетических компонентов [15].

В элементах системы "Прима-ЕРА" вместо гексогена или ТЭНа использовано одно из наиболее мощных ВВ – октоген, выделенный из ТРТ. В результате удалось повысить термическую стабильность трубки-волновода и капсуля-детонатора, степень безопасности в обращении с ними, снизить удельный расход ВВ и в целом улучшить служебные характеристики системы инициирования.

Перспективгой расширения сферы применения октогена являются средства взрывания лазерной системы инициирования зарядов ВВ – создание светочувствительных первичных взрывчатых композитов [5, 6, 7, 8, 9, 16]. Первые результаты исследований возможности получения первичных светочувствительных взрывчатых композитов, состоящих из матрицы полимера ПМВТ–3М, насыщенной микрочастицами октогена (флегматизированный октоген), оказались впоене удовлетворительными.. Значения пороговой плотности энергии зажигания ВВ импульсным лазерным излучением (длина волны 1,06 мкм, длительность импульса 11 нс) показаны в табл. 2. Для сравнения показаны результаты исследования флегматизированного азида свинца.

Таблица 2
Критические плотности энергии зажигания ВВ импульсом ОКГ

№ п/п	Взрывчатое вещество	Плотность энергии зажигания, мДж/см ²	
		исходное ВВ (порошок под давлением до $5 \cdot 10^7$ Па)	светочувствительный композит (20% полимера ПМВТ–3М)
1	Азид свинца	$6 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$
2	Октоген	15 (данные [17])	34

В экспериментах использовался одночастотный ОКГ на неодимовом стекле, Энергия излучения одного лазера ОКГ составляла 0,171 Дж.. На примере азида свинца видно, что при уменьшении диаметра луча критическая плотность энергии инициирования уменьшается. Начиная с диаметра $4 \cdot 10^{-3}$ см наблюдается выполаживание этой кривой, т.е. энергия стремится к некоторому минимуму. При диаметре луча $2 \cdot 10^{-3}$ см критическая плотность энергии инициирования составляет 6 мДж/см².

Порошки взрывчатых веществ (азид свинца и октоген), микрочастицы которых распределены в полимерной матрице ПМВТ-3М, представляют собой флегматичные (или с низкой чувствительностью) системы относительно механических, тепловых, электрических воздействий. При этом, чувствительность к лазерному моноимпульсу остается высокой, т.е. эти ВВ относятся к классу первичных светочувствительных.

В работах [18, 19] показано, что рассеяние лазерного света в материалах с высокой плотностью рассеивателей, например в исследованных образцах октогена, происходит главным образом на поверхностях различных микронеоднородностей. В отличие от высокой степени чистоты микрочастиц октогена, синтезированных для НСИ «Прима-ЕРА», при синтезе светочувствительных ВВ не следует стремиться использовать чистые исходные материалы, так как при этом уменьшается концентрация микронеоднородностей, а, следовательно, снижается вероятность надежного инициирования лазерным импульсом с заданной энергией.

Заключение. Разработана технология и организовано производство по утилизации твердого ракетного топлива, состоящее из комплекса различных этапов и включающих гидромеханическое извлечение топлива из корпуса двигателя, механическое измельчение полученного продукта, глубокую химическую переработку топлива с выделением окислителей и высокоэнергетических компонентов. Выбор такой технологии в наибольшей степени удовлетворяет техническим, технологическим, экономическим, социальным и экологическим требованиям.

В результате утилизации твердого ракетного топлива получены такие продукты как перхлорат аммония, перхлорат калия и октоген. Продукты исследовались на чувствительность к удару, трению, электростатическому разряду, детонационному импульсу, вибронагрузкам и действию капсюля-детонатора, исследовались также на химическую и термическую стойкость, тротиловый эквивалент. Установленные физико-химические и взрывчатые характеристики соответствуют эксплуатационным требованиям и критериям безопасности, установленным к элементам неэлектрической системы «Прима-ЕРА».

Использование октогена в волноводах системы инициирования зарядов ВВ «Прима-ЕРА» в течение последних нескольких лет свидетельствует об их высокой надежности и безопасности. Октоген в матрице полимера – взрывчатый композит – самое мощное светочувствительное первичное инициирующее ВВ, предназначенное для лазерных систем инициирования. Преимущественная область применения – специальные виды взрывных работ, боевые ракеты и т.п. Причем, это ВВ может быть использовано одновременно в качестве первичного и вторичного (например, как монозаряд в оптических детонаторах).

Перечень ссылок

1. Тухватуллин, З.А. (1999) *Утилизация твердотопливных ракет стратегического назначения в Удмуртии. Технология корпорации "Локхид Мартин"*. Воткинск: Удмуртия.
2. Шиман, Л.Н., Устименко, Е.Б., Голинько, В.И., & Соболев, В.В. (2013) *Безопасность процессов производства и применении эмульсионных взрывчатых веществ с компонентами утилизируемых вооружений*. Днепропетровск: Лира.
3. Густафссон, Р. (1977) *Шведская техника взрывных работ*. (Г.П. Демидюк, Ed. & Trans.). Москва: Недра.
4. Барон В.Л., & Кантор В.Х. (1989) *Техника и технология взрывных работ в США*. Москва: Недра.
5. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Ilyushin, M.A., & Zhitnik, N.E. (1994) Generating mechanical pulses by the laser blasting of explosive coating. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. 30(2), 239-242.
[doi:10.1007/BF00786134](https://doi.org/10.1007/BF00786134)

6. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Chernaj, V.A., Plyushin, M.A., & Dlugashek, A. (2003) Laser initiation of charges on the basis of di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazol)-copper (II) perchlorate. *Fizika Goreniya i Vzryva*. 39 (3), 105-110.
[doi:10.1023/A:1023852505414](https://doi.org/10.1023/A:1023852505414)
7. Соболев, В., & Чернай, В. (1998) Явище аномально великої чутливості вибухових сполук до детонаційного перетворення при дії лазерного випромінювання. *Наукові записки*. 1, 289–296.
8. Sobolev, V., Chernai, A., & Studinsky, N. (1996) OPSIN – a new system of blast-hole change blasting in explosives. *Proceedings of the Fifth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*. 441-443.
9. Илюшин, М.А., Соболев, В.В., & Чернай, В.А. (2001) Иницирующие взрывчатые вещества и составы в оптических системах иницирования пиротехнических средств. *Вісник НГАУ*, 1, 73–76.
10. Куратов, С.Е., Серёжкин, А.А., & Чесноков, А.А. (2015) Физико-математическая модель лазерного детонатора. *Физико-химическая кинетика в газовой динамике*, 16(1), 1-9.
11. *Рекомендации по перевозке опасных грузов, руководство по испытаниям и критериям* (1995). Методика ООН 5(a).
12. Шестак, Я. (1987). *Теория термического анализа*. Москва: Мир.
13. Афанасьев, Г.Т., & Боболев, В.К. (1968) *Иницирование твердых взрывчатых веществ ударом*. Москва: Наука.
14. Устименко, Е.Б., Шиман, Л.Н., Подкаменная, Л.И., & Кириченко, А.Л. (2007) Опыт использования продуктов переработки ТРТ, извлекаемого гидромеханическим методом из корпусов ракетных двигателей, в составах промышленных водосодержащих ВВ. *Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов: междунар. конф., тезисы докл.*, 211-215.
15. Шиман, Л.Н., Устименко, Е.Б., Подкаменная, Л.И., & Терещенко, И.П. (2007) Опыт применения неэлектрической системы иницирования марки "Прима-ЕРА" для взрывания скважинных зарядов взрывчатых веществ на нерудных и рудных карьерах. *Вісник КДПУ*, 5, 87–90.
16. Илюшин, М.А., Смирнов, А.В., & Судариков, А.М. (2010). *Металлокомплексы в высокоэнергетических композициях: монография*. (И.В. Целинский, Ed.). Санкт-Петербург: ЛГУ им. А.С. Пушкина.
17. Карабанов, Ю.Ф., Афанасьев, Г.Т., & Боболев, В.К. (1977) Зажигание твердых вторичных ВВ коротким импульсом ОКГ. *Химическая физика процессов горения и взрыва. Горение конденсированных систем*. 5–8.
18. Соболев, В.В., & Чернай, В.А. (2013) Использование метода Монте-Карло для решения задачи возбуждения детонации в заряде ВВ лазерным моноимпульсом. *Информационный бюллетень УСИБ*. 1, 3-8.
19. Sobolev, V.V., Shyman, L.N., Nalisko, M.M. & Kyrychenko, O.L. (2017) Computational modeling in research of ignition mechanism of explosives by laser radiation. *Natsionalnoho hirnychoho universytetu*. No. 6., 53-60.

АНОТАЦІЯ

Мета - дослідити характеристики високоенергетичних продуктів, отриманих із заданими фізико-хімічними параметрами в результаті глибокої хімічної переробки твердого ракетного палива, для виготовлення елементів неелектричної системи ініціювання зарядів вибухових речовин і оптичних детонаторів.

Методи дослідження. Використовувалися енергонасичені продукти, отримані в процесі утилізації твердого ракетного палива міжконтинентальних балістичних ракет РС-22 і деяких боеприпасів: октоген, перхлорат амонію або калію, гексоген, витягнутий з боеприпасів. За допомогою диференціального та термічного гравітаційного аналізів досліджувалися всі продукти, призначені для виготовлення елементів неелектричної системи ініціювання та емульсійних вибухових речовин. Визначення швидкості детонації зарядів вибухових речовин проводилося за допомогою приладу «Voodmate».

Результати. Досліджено умови безпечного поводження з твердим ракетним паливом міжконтинентальних стратегічних ракет після тривалого зберігання. Роботи з вилучення твердого палива проводилися на створеному лабораторно-випробувальному комплексі. Проведено дослідження фізичних, хімічних і вибухових властивостей зразків твердого ракетного палива і високоенергетичних компонентів, отриманих в результаті глибокої хімічної переробки палива. Перхлорат амонію, перхлорат калію і октоген. Витягнуті з ракетного палива, досліджувалися на чутливість до удару, тертя, електростатичного розряду, детонаційного імпульсу, вібронагрузкам і дії капсули-детонатори, досліджувалися також на хімічну і термічну стійкість, тротиловий еквівалент.

Наукова новизна. Встановлено, що перехід перхлората амонію з полімерного сполучного в водний розчин залежить від типу і розмірів зразків твердого палива, тимчасових режимів впливу водного середовища на твердого палива і температури. В результаті проведених досліджень отримані експериментальні залежності концентрації перхлората амонію від способу виготовлення зразків твердого палива, температури води і тривалості впливу води при фіксованій температурі. Встановлено залежності порогового запалювання зразків октогена від енергетичних і геометричних характеристик лазерного моноімпульса.

Практичне значення. Розроблено технологію та організовано виробництво з утилізації твердого ракетного палива, що складається з комплексу різних етапів і включають гідромеханічне вилучення палива з корпусу двигуна, механічне подрібнення отриманого продукту, глибоку хімічну переробку палива з виділенням окислювачів і високоенергетичних компонентів, виробництво яких в Україні відсутня.

Ключові слова: *утилізація ракет, вибухові речовини, детонація, хімічні технології, системи підривання.*

ABSTRACT

Objectiveis - to study characteristics of high-energy products obtained with the specified physical and chemical parameters as a result of advanced chemical processing of solid rocket fuel to produce elements of non-electric system of the initiation of explosives and optical detonators.

Research methods. Energy-saturated products were used; the products were obtained while utilizing solid rocket fuel of intercontinental ballistic rockets PC-22 and some ammunition supplies: Octogen, ammonium or potassium perchlorate, hexogen extracted from the ammunition supplies. Differential and thermal gravitational analyses have made it possible to study all the products aimed at producing elements of non-electric initiation system and emulsion explosives. The Voodmate device was used to determine detonation velocity of the explosive charges.

Results. Conditions of safe handling of solid rocket fuel of intercontinental ballistic rockets after its long-time storage have been analyzed. Solid fuel was extracted in terms of the specially developed laboratory and testing complex. Physical, chemical, and explosive properties of the samples of both solid rocket fuel and high-energy components, obtained as a result of advanced chemical fuel

processing, have been studied. Ammonium perchlorate, potassium perchlorate, and Octogen extracted from the rocket fuel were analyzed for their sensitivity to impact, friction, electrostatic discharge, detonation impulse, vibration loads, and action of fulminating detonator; they were also studied for chemical and thermal resistance as well as TNT equivalent.

Scientific novelty. It has been determined that transition of ammonium perchlorate from the polymer binder to water solution depends on the type and size of the solid fuel samples, time mode of the water medium effect upon the solid fuel, and temperature. The studies have resulted in the experimental dependences of ammonium perchlorate concentration upon the technique of solid fuel sample preparation, water temperature, and period of water action in terms of the fixed temperature. Dependences of threshold ignition of Octogen samples upon the energy and geometry features of laser monopulse have been specified.

Practical implications. A technology has been developed, and manufacturing has been organized to recycle solid rocket fuel involving a complex of different stages and including hydromechanical fuel extraction from the engine case, mechanical grinding of the obtained product, advanced chemical processing of the fuel with the extraction of oxidizers and high-energy components which are not produced in Ukraine.

Keywords: *rocket recycling, explosives, detonation, chemical technologies, detonation system*