

УДК 622.231.2

Соболева Л.И., Михеев Д.И., Анников В.Э., Акинин Н.И.

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ УТИЛИЗИРУЕМЫХ ПОРОХОВ НА ДЕТОНАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗОПАСНЫХ В ОБРАЩЕНИИ ПОРОХОВЫХ ВОДНО-ГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ

**Соболева Любовь Ивановна**, студентка 1 курса магистратуры инженерного химико-технологического факультета;

**Михеев Денис Игоревич**, ст. преподаватель кафедры техносферной безопасности инженерного химико-технологического факультета [mikheevmd@mail.ru](mailto:mikheevmd@mail.ru)

**Анников Владимир Эдуардович**, к.т.н., в.н.с. кафедры техносферной безопасности инженерного химико-технологического факультета

**Акинин Николай Иванович**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой техносферной безопасности инженерного химико-технологического факультета

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев д. 20 корп. 1 стр. 2

*В Российской Федерации практически полностью запрещено уничтожение энергонасыщенных компонентов боеприпасов с истекшими гарантийными сроками хранения. Одним из путей утилизации является их вторичное применение в составе промышленных взрывчатых веществ. В отличие от бризантных взрывчатых веществ, применение метательных взрывчатых веществ — порохов — требует дополнительных способов подготовки для утилизации в виде промышленных взрывчатых составов. Перспективным направлением является использование порохов в смесях с энергонасыщенными водными гелями. В настоящей работе представлено исследование влияния размеров зерен утилизируемых пироксилиновых порохов на скорость детонации, массовую скорость и давление детонации водно-гелевых взрывчатых составов.*

**Ключевые слова:** детонация, утилизация, пироксилиновые пороха, промышленные взрывчатые вещества, водные гели, сларри, скорость детонации.

## INFLUENCE OF THE SIZES OF UTILIZED GUNPOWDERS ON THE DETONATIONAL CHARACTERISTICS OF SAFE IN HANDLING WATER-GEL COMPOSITIONS

Soboleva L.I., Mikheev D.I., Annikov V.E., Akinin N.I.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*In Russian Federation, the destruction of energy-intensive components of expired munitions is almost completely prohibited. One of the ways of its utilization is their secondary use as component of industrial explosives. Unlike blasting explosives, the use of propellants like gunpowders requires additional preparation methods for disposal in the form of industrial explosives. A promising direction of that kind of utilization is the use of gunpowders in mixtures with slurry explosives. In this paper, the research of the influence of the grain sizes of single base propellants on to detonation velocity, the mass velocity and detonation pressure of water-gel explosive compositions is presented.*

**Keywords:** detonation, utilization, single base propellants, industrial explosives, water gels, slurry explosives, detonation velocity.

Боеприпасы после их изготовления на предприятиях и проведения различных испытаний складываются на базах и арсеналах Министерства обороны РФ. При этом назначается гарантийный срок хранения (ГСХ), в течение которого обеспечивается сохранность их технических характеристик и взрывчатых свойств. После окончания ГСХ боеприпасы подлежат списанию, и их переводят в другие хранилища, при этом увеличиваются затраты на хранение, так как данные боеприпасы требуют более тщательного контроля. Предварительные оценки показывают, что затраты на хранение списанных боеприпасов могут увеличиваться на 10-20 %, по сравнению с затратами на хранение боеприпасов, ГСХ которых не истек [1].

Основным направлением снижения запасов устаревших боеприпасов является их утилизация и, главным образом, расснаряжение боевых частей, снаряженных большими массами взрывчатых веществ

(ВВ), порохов и твердых ракетных топлив. Одну из крупнейших групп изделий, уничтожаемых по истечению ГСХ, составляют пороха. Исходя из необходимости реализации государственной политики в области утилизации вооружения и военной техники (ВВТ), на данный момент действует Федеральная целевая программа «Промышленная утилизация вооружения и военной техники на 2011 — 2015 годы и период до 2020 года». Основной целью данной программы является утилизация в полном объеме высвобожденных ранее и высвобождаемых в программный период ВВТ и боеприпасов [2].

Работы по исследованию детонационной способности пироксилиновых порохов (ПП) ведутся с конца 30-х годов XX века: Тадуеш Урбанский установил детонационную способность бездымных порохов, Н.М. Сытый в годы ВОВ, разрабатывая способы применения отходов производства ПП, обнаружил повышение детонационной способности

ПП в увлажненном и водонаполненном состояниях [3, 4]. А.Я. Апин изучал влияние свойств наполнителя на детонацию ПП, отмечая влияние размеров пороха и пористость зерен на способность к детонации [5]. В работе [6] отмечается зависимость параметров детонации семиканальных порохов от размеров зерен ПП, что объясняется распространением детонации по отдельным пороховым элементам.

Вышеописанные исследования легли в основу применения утилизируемых ПП в качестве компонентов промышленных взрывчатых веществ (ПВВ) [7]. Одними из наиболее перспективных ПВВ на основе ПП являются составы типа Гельпор – смеси зеренных порохов с гелями водных растворов нитратов. В статье [8] проанализирована детонационная способность подобных составов подобных пороховых водно-гелевых составов (ПВГС), а также эффективность их применения для горной добычи и специальных работ, демонстрирующая широкий потенциал. Предварительные результаты исследований подтверждают распространение детонации по пороховым элементам.

В работе представлены результаты исследования влияния размера частиц пороховых элементов (ПЭ) на детонационные характеристики безопасных в обращении ПВГС.

В работе использовался семиканальный пироксилиновый порох марок 4/7, 6/7 гр, 9/7 и 14/7, средние размеры зерен которых представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Размеры пороховых элементов в зависимости от марки ПП**

Марка пороха	Характеристики ПЭ	
	d, мм	l, мм
4/7	2,00	3,05
6/7	4,17	4,16
9/7	5,70	13,00
14/7	8,00	17,00

Составы на основе указанных марок ПП исследовались на способность к детонации в зарядах при соотношении компонентов с сохранением прямого контакта между зернами пороха [5] с помощью электромагнитного метода [9]. Для ПП марок 4/7, 6/7 гр и 9/7 использовались заряды диаметром 20 мм с оболочкой из полипропилена

толщиной 1,2 мм, для ПП марки 14/7 использовались оболочки диаметром 30 мм. Результаты экспериментов и их сравнение с расчетом в программе Shock and Detonation [10] представлены в таблице 2.

Результаты расчетов демонстрируют падения скорости и давления в точке Чепмена-Жуге с уменьшением количества ПП в составе. Экспериментальные данные свидетельствуют о росте скорости детонации и давления с увеличением размеров ПЭ, не смотря на снижение удельного количества ПП в составе. Небольшое снижение скорости детонации для состава с ПП марки 14/7, по-видимому, связано с возрастанием предельного диаметра детонации. Подобный рост характеристик, вероятно, связан с режимом детонационного процесса, в ходе которого распространение детонации происходит по ПЭ с некоторым ускорением относительно всей системы. В пользу этого предположения говорят результаты экспериментов с ПП марки 4/7, размеры ПЭ которого достаточно малы для эффективного распространения детонации, что приводит к общему падению детонационных характеристик состава.

Типовые профили детонационных волн для каждой марки ПП представлены на рисунке 1. Как видно из рисунка, у всех составов наблюдается усеченный максимум, характерный для водонаполненных взрывчатых систем. В составе с ПП марки 4/7 (а) пик давления практически отсутствует, что наряду с относительно низким значением скорости детонации свидетельствует о низкой детонационной способности его ПЭ. Для составов с ПП марок 6/7 гр (б) и 9/7 (в) наблюдаются стандартные детонационные профили, снижение значения давления для составов с 9/7 связаны с уменьшением массовой доли ПП в составе. В случае использования ПП марки 14/7 (г) наблюдается появление выраженного вторичного пика. В составах с порохами других марок подобные явления либо не ярко выражены, либо вовсе отсутствуют. С ростом размера ПЭ частота появления вторичного пика увеличивается, что в целом свидетельствует о неравномерном течении детонации с ростом гетерогенности состава, а в частности подтверждает предположение о распространении детонационного процесса в составе по ПЭ.

**Таблица 2. Детонационные характеристики ПВГС с различными марками ПП**

Марка ПП	Соотношение ПП/ВГ, % масс.	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Детонационные характеристики			
			$D_{расч}$ , км/с	$P_{СДрасч}$ , ГПа	$D_{эксп}$ , км/с	$P_{СДэксп}$ , ГПа
4/7	65/35	1,42	6,37	12,80	5,10	7,18
6/7	63/37	1,42	6,37	12,77	6,46	13,98
9/7	58/42	1,37	6,15	11,47	6,53	11,60
14/7	53/47	1,32	5,92	10,19	6,31	10,50

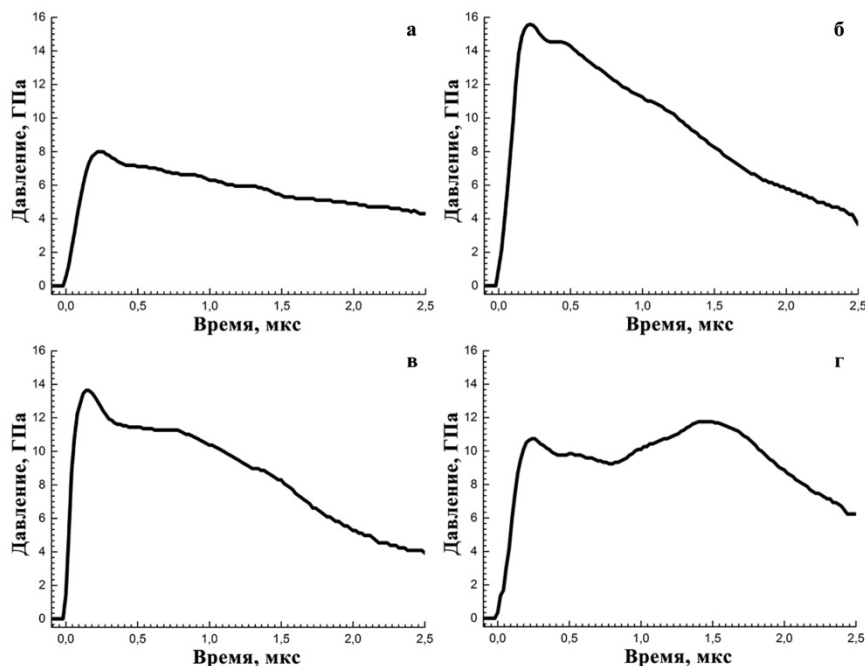


Рисунок 1. Типовые профили детонационных волн для различных марок пироксилиновых порохов. а) 4/7; б) 6/7 гр; в) 9/7; г) 14/7.

### Заключение

В ПВГС на основе утилизируемых порохов наблюдается рост скорости детонации при увеличении размеров ПЭ, несмотря на уменьшение массовой доли пороха в составе, приводящее к снижению давления в детонационной волне. Подобный режим предполагает распространение детонационного процесса по зернам пороха с некоторым ускорением относительно детонации всего состава, что ведет к растяжению детонационной волны и увеличению времени действия высокого давления.

Увеличение размеров ПЭ в составе приводит к появлению в детонационной волне второго пика давления, являющегося, судя по более высокому значению максимального давления, проявлением основной детонационной волны состава, в то время как первый пик – проявление опережающей детонационной волны, распространяющейся по ПЭ. Проявление подобного эффекта при увеличении размеров зерен используемого пороха, по-видимому, связано с ростом собственной детонационной способности ПЭ с увеличением его размеров.

### Литература

1. Васильев С.В. Актуальные проблемы безопасной утилизации ракет и боеприпасов. с 8-15. Сборник докладов. - М.: «Типография ФПК НИИ «Геодезия», 2012. – 455с.
2. Промышленная утилизация боеприпасов: Россия готова? // Военно-промышленный курьер, 2013, URL <http://vpk-news.ru/articles/15386> (дата обращения 25.05.2017)
3. Tadeusz Urbanski Chemistry and Technology of Explosives / translation Marian Jurecki. Oxford: Pergamon Press Ltd., 1967, Vol. 3, pp. 540-541

4. Сытый Н.М. Отходы пироксилиновых порохов как бризантное взрывчатое вещество // Сб. статей Опыт использования Пироксилиновых порохов на инженерных работах, Киев: Издательство АН УССР, 1952, с. 7-16
5. Апин А.Я. О детонации порохов // Сб. статей Опыт использования Пироксилиновых порохов на инженерных работах. Киев: Издательство АН УССР, 1952, с. 83-96
6. Занегин И.В., Карачинский С.И. Детонационные и физико-химические характеристики артиллерийских порохов // Физика горения и взрыва. 2001, т.37, № 5, с. 81-84
7. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных боеприпасов: учебное пособие для ВУЗов/ Ю.Г. Щукин [и др.] Под общей ред. Ю.Г. Щукина. – М.: Издательство «Недра», 1998. – 319 с.
8. Анников В.Э., Акинин Н.И., Михеев Д.И., Соболева Л.И., Державец А.С., Бригадин И.В., Дорошенко С.И. Об особенностях детонации и взрывного воздействия на горные породы пороховых взрывчатых веществ на гелевой основе // Горный информационно-аналитический бюллетень, Москва, 2015, т. № 12, с. 318–324
9. Зайцев В.М., Похил П.Ф., Шведов К.К. Электромагнитный метод измерения скорости продуктов взрыва // Доклады АН СССР, 132(6):1339-1340, 1960)
10. Sumin A.I., Gamezo V.N., Kondrikov B.N., Raikova R.V. Shock and detonation general kinetics and thermodynamics in reactive systems computer package. Trans. Of the 11-th (Int.) Detonation Symp., Snowmass, Colorado, USA. August 31-September 4, 1998, Bookcomp, Ampersand, 2000.