

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНВЕРСИОННЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ПОРОХОВ

*А. А. Желтоножко, докт. техн. наук, В. Р. Закусило, канд. техн. наук,  
Т. В. Калищук, инж. (ГосНИИХП, г. Шостка)*

*Проведено дослідження вибухових характеристик утилізованих піроксидних та баліститних порохів. Визначено залежність вибухових характеристик порохів від геометричних розмірів порохових елементів та насипної щільності.*

В связи с тем, что в Украине накопилось большое количество боеприпасов, не пригодных к применению из-за истечения срока годности, проблема их утилизации приобрела особую актуальность. Государственная программа утилизации непригодных боеприпасов предусматривает использование извлеченных взрывчатых материалов в народном хозяйстве, что позволит сократить дефицит водостойких промышленных взрывчатых веществ (ВВ), а также уменьшить запасы устаревших боеприпасов, опасных для дальнейшего хранения и экологически вредных при уничтожении.

При утилизации высвобождается большое количество пироксилиновых и баллиститных порохов. Для предотвращения загромождения складов и экономии средств на хранение основная их часть может быть переработана в промышленные ВВ, потребность в которых растет с каждым годом.

В настоящее время проводятся исследования с целью решения проблемы использования порохов, извлекаемых из боеприпасов, в народном хозяйстве. Для этого изучаются взрывчатые характеристики порохов, определяются их физико-химические характеристики. Разработаны методы определения чувствительности порохов к механическим и тепловым воздействиям, что позволило оценить степень опасности извлеченных порохов при утилизации боеприпасов. В России предпринята попытка исследования детонационных характеристик артиллерийских порохов [1]. Были разработаны способы применения баллиститных шашек для взрывных работ [2]. Однако до настоящего времени не найдены пути обеспечения безотказной работы пороховых зарядов. Часто при инициировании пороховых зарядов, особенно из баллиститных порохов, детонация не выходит на стационарный режим, пороховые заряды не детонируют полностью, вследствие чего наблюдается выброс пороха из скважины.

Для выяснения причин затухания детонации необходимо исследовать факторы, влияющие на детонацию пороха, что обеспечит оптимальное использование порохов для взрывных работ. Целью данной работы является определение зависимости взрывчатых характеристик пороха от вида пороха, размеров пороховых элементов и насыпной плотности.

Несмотря на то, что основной формой взрывчатого превращения порохов является горение, при определенных условиях они могут детонировать. Основной нитроцеллюлозных порохов является нитроцеллюлоза, пластифицированная тем или иным растворителем (пластификатором). В зависимости от летучести растворителя нитроцеллюлозные пороха делятся на следующие виды:

нитроцеллюлозные пороха, изготавливаемые с применением летучего спирто-эфирного растворителя, который в процессе производства почти целиком удаляется из пороха. Эти пороха называются пироксилиновыми. Они изготавливаются на основе нитроцеллюлозы, называемой пироксилином, с содержанием азота, как правило, более 12 %;

нитроцеллюлозные пороха, изготавливаемые на основе труднолетучих или нелетучих растворителей-пластификаторов (нитроглицерина или динитродиаэтиленгликоля), полностью остающихся в порохе. Они изготавливаются на основе нитроцеллюлозы, называемой коллоксилином, с содержанием азота, как правило, менее 12 %. Эти пороха называются баллиститными [3].

Пороха различаются по размерам и форме порохового элемента и по составу. Пироксилиновые пороха бывают пластинчатые, зерновые, трубчатые и т. д. Для исследований нами были взяты зерновые пороха следующих марок:

- одноканальный с толщиной горящего свода 0,4 мм;
- одноканальный с толщиной горящего свода 0,6 мм;
- семиканальный с толщиной горящего свода 0,5 мм;
- семиканальный с толщиной горящего свода 0,9 мм.

Детонационная способность взрывчатых материалов в значительной степени зависит от насыпной плотности. Для определения насыпной плотности были взяты пироксилиновые пороха марок ВУ, 4/1, 6/1, 5/7 П-6гр, 9/7. Зависимость насыпной плотности от геометрических размеров порохового элемента представлена в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость насыпной плотности от размера порохового элемента

Марка пороха	Диаметр порохового элемента, мм	Длина порохового элемента, мм	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %		
				общая	открытая	закрытая
ВУ	0,47–0,65	0,85–1,25	0,7	–	–	–
4/1	0,85–1,15	5,5–7,5	0,83	6,8	3,02	3,78
6/1	1,5–1,8	5,5–7,5	0,86	7,1	3,43	3,67
5/7 П-6гр	2,8–3,5	4,0–5,0	0,95	10,71	4,97	5,74
9/7	5,0–6,2	8,0–11,0	0,82	9,3	3,8	5,5

Как следует из приведенных данных, наименьшую насыпную плотность имеет порох марки ВУ, длина пороховых элементов которого составляет ~ 1 мм. Наибольшая плотность у пороха марки 5/7 П-6гр, пороховые элементы

которого представляют собой графитованные цилиндры длиной до 5 мм с семью каналами.

Второй важной взрывчатой характеристикой является критический диаметр детонации, то есть минимальный диаметр заряда, при котором происходит детонация. Для исследования были взяты пироксилиновые пороха тех же марок в зарядах конусной формы с бумажной оболочкой. Угол конусности заряда составлял  $5^\circ$ , максимальный диаметр основания конуса – 115 мм. Было установлено, что с увеличением размера частиц пороха критический диаметр детонации увеличивается. Критический диаметр заряда из мелких порохов марки ВУ составляет 20 мм, из порохов марок 4/1, 6/1, 5/7 П-6гр – 40–42 мм, из пороха марки 9/7 – до 80 мм.

От размера пороховых элементов в значительной степени зависит также чувствительность к начальному импульсу. Инициирование пороха марки ВУ проводили от электродетонатора мгновенного действия ЭД-8. При этом детонация была полная. Порох этой же марки, но водонаполненный, от одного электродетонатора не детонирует вообще, то есть чувствительность сухого пороха к начальному импульсу выше, чем водонаполненного. Водонаполненный порох марки ВУ хорошо детонирует от электродетонатора с промежуточным детонатором – тротиловой шашкой Т-400Г, равно как и пороха с крупными пороховыми элементами марок 4/1, 6/1, 5/7 П-6гр. А заряды с порохом марки 9/7 при таком же инициировании не вышли на стационарный режим детонации, наблюдался разброс пороха. Таким образом, для детонации крупных пороховых элементов требуется более мощный начальный импульс.

Исследования зависимости скорости детонации от размера пороховых элементов проводили на тех же марках пироксилиновых порохов методом Дотриша [4]. Результаты опытов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Скорость детонации пироксилиновых порохов различных марок

Марка пироксилинового пороха	Скорость детонации, км/с
ВУ (сухой)	3,85–4,00
ВУ (водонаполненный)	5,17–5,56
4/1 (сухой)	3,61
6/1 (сухой)	4,1

Из табл. 2 следует, что скорость детонации водонаполненного пироксилинового пороха значительно увеличивается по сравнению с сухим.

Баллиститные пороха изготавливаются на основе труднолетучих неудаляемых растворителей-пластификаторов, которые придают пороху непористую структуру. Вследствие этого баллиститные пороха детонируют труднее, чем пироксилиновые. Баллиститные пороха поступают следующих марок: НДТ-3, ДГ-3, ДГ-4 и др. Нами была изучена зависимость взрывчатых характеристик баллиститных порохов марки НДТ-3, чаще других поступающих по конверсии, от размеров пороховых элементов.

Баллиститный порох поступает по конверсии в виде трубок диаметром 4–7 мм, длиной от 300 мм и заряжается в скважины в виде пучков. Заряжание пучков в скважину – трудоемкий процесс, часто имеют место отказы, поэтому пороха нужно измельчать. Нами были проведены исследования зависимости взрывчатых характеристик порохов от длины пороховой трубки. Пороховую трубку измельчали на кусочки размером 0,5–5 см на аппарате по измельчению пороховой трубки, разработанном ГосНИИХП.

Результаты определения насыпной плотности, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о том, что с увеличением размера частиц насыпная плотность уменьшается, и, соответственно, увеличивается критический диаметр детонации (инициирование проводилось от капсуль-детонатора мгновенного действия ЭД-8 и тротиловой шашки-детонатора Т-400Г).

Таблица 3. Критический диаметр детонации и насыпная плотность измельченного трубчатого баллиститного пороха марки НДТ-3

Длина частиц измельченного баллиститного пороха НДТ-3, см	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Критический диаметр детонации, мм
0,5	0,73	90
1	0,72	95–100
2	0,66	115–120
3	0,59	115–125
5	0,47	160–180

Для определения зависимости скорости детонации баллиститного пороха от насыпной плотности заряда был взят порох марки НДТ-3 с длиной пороховой трубки до 0,5 см. Скорость детонации определяли методом Дотриша в металлической трубе с внутренним диаметром 80 мм, толщиной стенки 5 мм и длиной 600 мм. Один торец трубы заваривали, а на второй навинчивалась крышка с отверстием под капсуль-детонатор. Для определения скорости детонации водонаполненного пороха в трубу, заполненную порохом, перед испытанием заливали воду. Инициирование проводилось от капсуль-детонатора ЭД-8 и тротиловой шашки Т-400Г.

Скорость детонации определялась на пороховых зарядах разного диаметра и разной степени дисперсности пороха. Было установлено, что сухой дисперсный баллиститный порох (просеянный через сито с диаметром ячеек 0,5 см) детонирует полностью в металлической трубе диаметром 80 мм при инициировании от шашки-детонатора Т-400Г и электродетонатора ЭД-8 со скоростью 3,3 км/с, а в заряде с полиэтиленовой оболочкой диаметром 200 мм при инициировании двумя шашками-детонаторами Т-400Г и электродетонатором ЭД-8 – со скоростью 3,1 км/с.

При испытании заряда из дисперсного пороха, полностью залитого водой, при инициировании от шашки-детонатора Т-400Г и электродетонатора ЭД-8, заряд не сдетонировал. Заряд такого пороха в полиэтиленовой оболочке

диаметром 260 и 300 мм, полностью залитый водой, также не сдетонировал при использовании штатных средств инициирования. Полнота детонации не была достигнута и при увеличении массы боевика до 4 кг. При испытании заряда в полиэтиленовой оболочке диаметром 260 мм, заполненного на 2/3 водой, детонация происходила только в сухой части (заряд устанавливался вертикально). При испытании водонаполненного заряда из баллиститного пороха в скважине глубиной до 2 м, диаметром 200 мм, длиной 1200 мм и инициированием двумя шашками Т-400Г в нижней и верхней частях заряда произошел выброс пороха из скважины.

Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Таблица 4. Скорость детонации баллиститного пороха марки НДТ-3

Марка пороха	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Скорость детонации расчетная, км/с	Скорость детонации экспериментальная, км/с
НДТ-3 (сухой) длина пороховой трубки 0,5 см	0,73	3,6	3,3–3,7
НДТ-3 (водонаполненный) длина пороховой трубки 0,5 см	0,73	–	–
НДТ-3 (сухой) длина пороховой трубки 3 см	0,59	3,1	2,8
НДТ-3 (сухой) длина пороховой трубки 5 см	0,47	2,6	2,4

Из табл. 4 следует, что скорость детонации сухого баллиститного пороха соответствует расчетным значениям [5]. С увеличением насыпной плотности скорость детонации баллиститного пороха возрастает. Эти закономерности сохраняются для баллиститных порохов различной рецептуры, поскольку энергетические и физические характеристики у них практически одинаковы.

Для сравнения определяли скорость детонации баллиститной шашки типа РСИ-12К, состав которой незначительно отличается от состава пороха НДТ-3, а плотность составляет 1,61–1,62 г/см<sup>3</sup>. Скорость детонации шашки намного выше скорости детонации зарядов из баллиститного пороха насыпной плотности и составляет 5,0–5,2 км/с.

Результаты исследований показывают, что баллиститный порошок в водонаполненном состоянии не выходит на стационарный режим детонации. По-видимому, превращение пороха происходит в режиме низкоскоростной детонации или дефлаграции даже при взрывах в скважинах. Это подтверждается тем, что при массовых взрывах с использованием баллиститных порохов идет догорание полностью не превратившихся баллиститных пороховых элементов.

Даже при тщательном измельчении баллиститного пороха нельзя получить высокую насыпную плотность. При подпрессовке пороха в опытных условиях до плотности более 1,0 г/см<sup>3</sup> можно добиться нормальной работо-

способности таких зарядов в водонаполненном состоянии, но в производственных условиях это экономически нецелесообразно. Отметим, что баллиститные шашки плотностью 1,61–1,62 г/см<sup>3</sup> неплохо работают в воде.

Надежная детонация пироксилиновых порохов в воде объясняется их пористой физической структурой, образующейся в процессе их производства при удалении пластификатора спирто-эфирной смеси путем вымочки в воде и сушки. При детонации таких порохов в воде поры являются центрами детонации, то есть играют роль сенсibilизатора. Пористость пироксилиновых порохов 4/1, 6/1, 5/7П-6гр и 9/7 определяли по методике [6] (см. табл. 1).

Способ производства баллиститных порохов не обеспечивает их пористую структуру, так как активный пластификатор (нитроэфиры) полностью остается в нем. Поэтому при взрывании в воде, которая является энергоотнимающим средством (скорость детонации баллиститного дробленого пороха невысока) стационарный режим детонации не достигается.

В дальнейшем авторами будут продолжены работы по исследованию влияния пористости и плотности порохов на их детонацию в водонаполненном состоянии.

### Выводы

1. При исследовании взрывчатых характеристик пироксилиновых и баллиститных порохов установлено, что скорость и критический диаметр детонации порохов зависит от размеров пороховых элементов и насыпной плотности.

2. Скорость детонации пироксилинового пороха в водонаполненном состоянии значительно выше, чем у сухого.

3. Баллиститный порох в водонаполненном состоянии не выходит на стационарный режим детонации независимо от степени измельчения пороховой трубки и массы боевика.

1. *Занегин И. В., Карачинский С. И.* Детонационные и физико-химические характеристики артиллерийских порохов // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т. 37, № 5. – С. 81–84.

2. *Промышленные взрывчатые вещества* на основе утилизированных боеприпасов. Учебное пособие для вузов / Ю. Г. Щукин, Б. Н. Кутузов, Б. В. Мацевич, Ю. А. Татищев. – М.: Недра, 1998. – 319 с.

3. *Горст А. Г.* Пороха и взрывчатые вещества. – М.: Машиностроение, 1972. – 206 с.

4. *ГОСТ 3250-58.* Метод определения скорости детонации методом Дотриша.

5. *Авакян Г. А.* Расчет энергетических и взрывчатых характеристик ВВ. – Москва, 1964. – 106 с.

6. *Желтоножко А. А.* Исследование пористости твердых нитратов целлюлозы и разработка методов ее определения // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1997. – № 4. – С. 69–70.