

У подальшому важливо дослідити залежно від вмісту КВ, ЗРК,  $\alpha_k$  в суміші зміни швидкості і тиску реальної детонації, ідеальної роботоздатності, а також величини і форми імпульсу вибуху.

1. Федоренко П. И., Пашков А. П. Основные проблемы совершенствования технологии взрывных работ на карьерах // Проблемы гидрогеомеханики в горном деле и строительстве. – К.: Знание. – 1996. – Ч. 2. – С. 11–13.

2. Крысин Р. С., Домничев В. Н. Современные взрывчатые вещества местного приготовления. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 140 с.

3. Прокопенко В. С., Косьмин И. В., Лещ П. Л. Совершенствование и разработка взрывчатых веществ местного приготовления // Охрана труда. – К.: Охрана труда. – 2000. – С. 31–34.

4. Прокопенко В. С., Туручко І. І., Косьмін І. В. Нові вибухові речовини місцевого приготування // Проблеми охорони праці в Україні: Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП. – 2001. – Вип. 4. – С. 161–165.

5. Туручко І. І., Косьмін І. В. Нові вибухові речовини з регульованою об'ємною концентрацією енергії // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. – Київ. – 2001. – Вип. 5. – С. 52–56.

6. Прокопенко В. С. Фізико-технічні основи руйнування скельних порід вибухами свердловинних зарядів вибухових речовин у рукавах. – Автореф. дис. док. техн. наук, Київ: Націон. НДІ охорони праці, 2003. – 35 с.

7. Дубнов Л. В., Бахаревич Н. С., Романов А. Н. Промышленные взрывчатые вещества. – М.: Недра, 1982. – 358 с.

8. Светлов Б. Я., Солнцева Р. Н., Павлов А. Г. О работоспособности водонаполненных ВВ, содержащих алюминий // Физико-технические проблемы разраб. полезных ископаемых. – 1970. – № 3. – С. 69–77.

9. Пепекин В. И., Кузнецов Н. М., Лебедев Ю. А. О взаимосвязи параметров детонации с химическим составом взрывчатых веществ // Доклады АН СССР. – 1977. – Т. 234, № 1. – С. 205–108.

УДК 662.221.1:662.216.1

## ОБ УСЛОВИЯХ ХРАНЕНИЯ ДЫМНОГО ПОРОХА

*М. Ф. Буллер, канд. техн. наук, Н. И. Черникова, инж. (ГосНИИХП, г. Шостка)*

*Досліджено особливості кінетики сорбції води димним порохом. Вибрані умови зберігання димного пороху в Україні.*

Одним из важнейших требований для применения утилизированных взрывчатых материалов (порохов, топлив, взрывчатых веществ) на карьерах является безопасность их хранения. Эта проблема решается в рамках государственной программы по утилизации взрывчатых материалов.

Проведенными ранее исследованиями [1–2] было показано, что дымный порох не стареет, если содержание влаги в нем менее 1,13 % по массе, что возможно при относительной влажности воздуха  $p/p_s < 0,9$  ( $p$  – равновесное давление пара,  $p_s$  – давление насыщенного пара). Ускоренные тепловые испытания такого пороха в климатических условиях Украины подтвердили, что он может храниться более 50 лет, причем физико-химические свойства его компонентов и структура пороховых элементов практически не изменяются.

По многолетним наблюдениям [3] количество дней в году с неблагоприятными влажностными показателями ( $p/p_s > 0,9$ ) для юга Украины составляет 83 суток, для севера – 75 суток. В связи с этим исследования кинетики сорбции паров воды дымным порохом, по результатам которых могут быть выбраны условия хранения дымного пороха, приобретают особую актуальность.

Цель настоящей работы – исследование кинетики поглощения влаги дымным порохом и выбор условий его хранения. Объектом исследования были дымные пороха марок КЗДП (среднестатистический размер гранул  $d = 4,05$  мм), ДРП ( $d = 0,83$  мм) и порошкообразные компоненты дымного пороха: древесный уголь (ДУ), ДУ–сера, ДУ–сера–калиевая селитра ( $d = 20$  мкм).

Кинетику сорбции влаги изучали эксикаторным методом [4] при значениях  $p/p_s$ , равных 0,72 и 0,96, и температуре 15 °С. Полученные кинетические кривые представлены на рис. 1, 2.

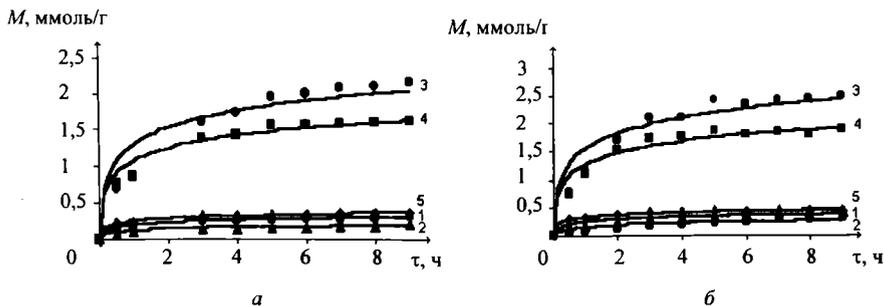


Рис. 1. Кинетические кривые сорбции воды ( $M$ ) дымным порохом при  $p/p_s = 0,72$  (а) и 0,96 (б) и малом времени выдержки  $\tau$ : 1 – порох марки ДРП; 2 – порох марки КЗДП; 3 – древесный уголь; 4 – древесный уголь–сера; 5 – древесный уголь–сера–калиевая селитра

Анализ кинетических кривых (см. рис. 1) показывает, что сорбция воды при значениях  $p/p_s$ , равных 0,72, 0,96 и малом времени выдержки (до 1 суток) проходит в два этапа: первый – быстрое насыщение пороха водой, второй – медленное донасыщение. При дальнейшей выдержке (см. рис. 2) наблюдается различие в поведении дымного пороха по отношению к воде: при  $p/p_s = 0,72$  порох не поглощает влагу, а при  $p/p_s = 0,96$  порох через некоторый промежуток времени (при  $\tau > 5$  суток) продолжает поглощать влагу.

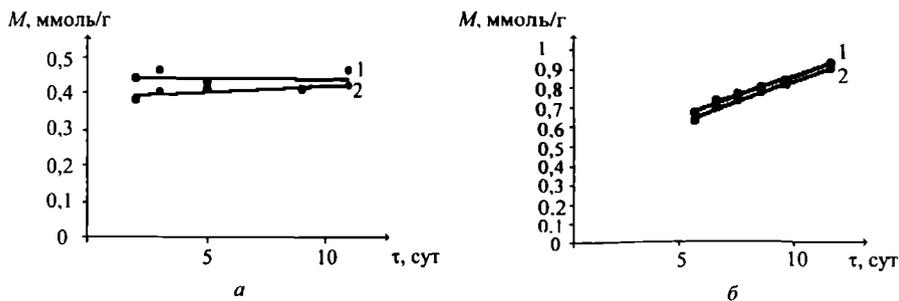


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции воды ( $M$ ) дымным порошком при  $p/p_s = 0,72$  (а) и  $0,96$  (б) и значительном времени выдержки  $\tau$ : 1 – порошок марки ДРП; 2 – порошок марки КЗДП

Представленные на рис. 1 кинетические кривые описываются уравнениями [5]:

для первого этапа

$$\frac{M_\tau}{M_\infty} = \frac{2S}{V} \left( \frac{D_1 \tau}{\pi} \right)^{1/2} \quad \left( \text{для } \frac{M_\tau}{M_\infty} < 0,5 \right); \quad (1)$$

для второго этапа

$$\frac{M_\tau}{M_\infty} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp \left( -\pi^2 D_{II} \tau / \left( \frac{V}{S} \right)^2 \right) \quad \left( \text{для } \frac{M_\tau}{M_\infty} > 0,5 \right), \quad (2)$$

где  $M_\tau$  – количество воды, сорбированное к моменту  $\tau$ ;  $M_\infty$  – предельное количество сорбированной влаги к моменту  $\tau \leq 2$  суток;  $S$  – площадь внешней поверхности частиц;  $V$  – объем частиц.

Исходя из уравнений (1)–(2), коэффициенты диффузии рассчитывали по следующим формулам.

Для первого этапа

$$D_I = (\text{tg} \alpha)_I^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{V}{S} \right)^2; \quad (3)$$

для второго этапа

$$D_{II} = (\text{tg} \alpha)_{II} \cdot \frac{1}{\pi^2} \cdot \left( \frac{V}{S} \right)^2, \quad (4)$$

где  $(\text{tg} \alpha)_I$  определяли по углу наклона прямой линии, построенной в координа-

тах  $\frac{M_\tau}{M_\infty} = f(\sqrt{\tau})$ ;  $(\text{tg} \alpha)_{II}$  – по углу наклона прямой линии в координатах

$$\ln \left( 1 - \frac{M_\tau}{M_\infty} \right) = f(\tau).$$

На рис. 3 в качестве примеров приведены такие графики в соответствующих координатах для пороха ДРП при  $p/p_s = 0,96$ .

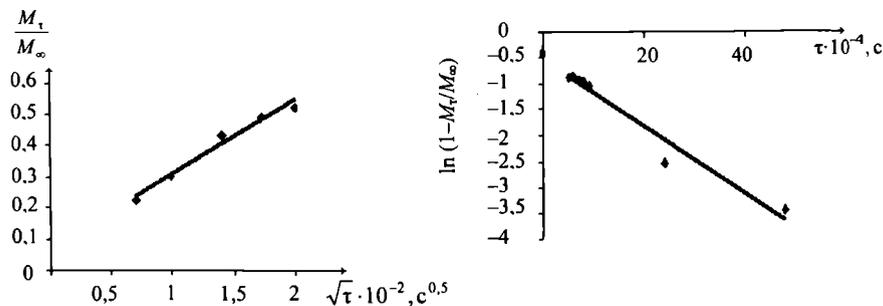


Рис. 3. Кинетика сорбции воды дымным порохом ДРП: а – (первый этап) в координатах  $\left(\frac{M_t}{M_\infty}\right) - \sqrt{t}$ ; б – (второй этап) в координатах  $\ln\left(1 - \frac{M_t}{M_\infty}\right) - \tau$

Результаты обработки экспериментальных данных сорбции воды по кинетическим уравнениям (1) и (2) на первых двух этапах представлены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты диффузии воды в дымный порох на разных этапах сорбции

Наименование	$S, \text{см}^2/\text{г}$	$V, \text{см}^3/\text{г}$	$p/p_s = 0,72$				$p/p_s = 0,96$			
			$\text{tg}\alpha_1$	$D_{I1}, \text{см}^2/\text{с}$	$\text{tg}\alpha_{II}$	$D_{II1}, \text{см}^2/\text{с}$	$\text{tg}\alpha_1$	$D_{I1}, \text{см}^2/\text{с}$	$\text{tg}\alpha_{II}$	$D_{II1}, \text{см}^2/\text{с}$
ДУ	15000	2,80	0,335	$0,78 \cdot 10^{-12}$	0,088	$0,087 \cdot 10^{-12}$	0,394	$11,8 \cdot 10^{-13}$	0,104	$1,0 \cdot 10^{-13}$
ДУ+сера	15000	1,41	0,290	$0,16 \cdot 10^{-12}$	0,126	$0,031 \cdot 10^{-12}$	0,454	$4,0 \cdot 10^{-13}$	0,096	$0,25 \cdot 10^{-13}$
ДУ+сера+нитрат калия	15000	0,65	0,156	$1 \cdot 10^{-14}$	0,084	$0,42 \cdot 10^{-14}$	0,126	$0,6 \cdot 10^{-14}$	0,067	$0,37 \cdot 10^{-14}$
ДРП	44	0,59	0,196	$1,4 \cdot 10^{-9}$	0,090	$0,45 \cdot 10^{-9}$	0,242	$2,3 \cdot 10^{-9}$	0,065	$0,34 \cdot 10^{-9}$
КЗДП	9,5	0,56	0,149	$1,7 \cdot 10^{-8}$	0,057	$0,56 \cdot 10^{-8}$	0,184	$2,6 \cdot 10^{-8}$	0,087	$0,85 \cdot 10^{-8}$

Для описания процесса поглощения влаги на третьем этапе при  $p/p_s = 0,96$  суток применяли уравнение

$$M_t = M_0 + k\tau \quad (\text{для } \tau > 5), \quad (5)$$

где  $M_0$  – константа;  $k$  – константа, характеризующая скорость процесса, равная тангенсу угла наклона прямой линии в координатах  $M_t - \tau$ .

Результаты обработки экспериментальных данных по уравнению (5) представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения  $M_0$  и  $k$  для дымных порохов

Наименование	$p/p_s = 0,96$	
	$M_0$ , ммоль/г	$k \cdot 10^6$ , ммоль/г·с
ДУ + сера + нитрат калия	0,419	0,648
ДРП	0,438	0,486
КЗДП	0,382	0,509

Полученные результаты дают возможность описать процесс поглощения влаги кинетическими уравнениями (1), (2), (5) на различных этапах. Так, для описания процесса поглощения влаги при  $p/p_s = 0,96$  в диапазоне влагосодержания дымного пороха 0–0,6 % по массе применимо уравнение (1), в диапазоне 0,6–1,1 % – уравнение (2), а при содержании влаги свыше 1,1 % по массе – уравнение (5). Рассматривая процесс поглощения воды порохом как трехэтапный и принимая во внимание то, что первый и второй этап скоротечны (до 5 суток), первыми двумя этапами при определении времени хранения пороха можно пренебречь.

Время хранения можно рассчитать по уравнению (5), зная предельно допустимые значения  $M_t$ . Предельно допустимые значения можно обосновать следующими рассуждениями. Дымный порох представляет собой плотную механическую смесь тонкодисперсных компонентов, один из которых водорастворимый. Условием хорошего качества пороха является отсутствие градиента концентрации компонентов по объему гранулы. Как известно, порох становится непригодным для применения, если градиент концентрации по одному из компонентов превысит 1 % по массе. Для нитрата калия это составит 0,0075 г на 1 грамм пороха. Такое количество нитрата калия может быть перемещено на поверхность зерен, если содержание влаги в порохе при 15 °С превысит 0,029 г воды на 1 грамм пороха. Иными словами, при содержании влаги в порохе свыше 2,9 % по массе (1,61 ммоль/г) возникают условия, при которых градиент концентрации компонентов в зернах может превысить допустимое значение за счет многократных циклов сорбции–десорбции. Таким образом, при расчетах срока хранения в уравнении (5) необходимо принять  $M_t$  равным 2,9 % по массе (1,61 ммоль/г).

Расчетами по уравнению (5) было определено, что гарантированный срок хранения порохов марок ДРП и КЗДП составляет 28 суток.

Поскольку дымный порох обладает низкой стойкостью к воде, для сохранения качества его необходимо хранить в упаковке. Поэтому гарантийный срок хранения дымного пороха будет определяться защитными свойствами упаковки. Последние зависят от влагопроницаемости материала упаковки, атмосферной стойкости материала упаковки и влагопроницаемости загрузочного узла.

Поскольку материалом упаковки является углеродистая сталь марки 08 кп, первую составляющую можно не рассматривать.

Атмосферная стойкость металла определяется его коррозией. При этом степень коррозии зависит от свойств металла, состава атмосферы, режима

частоты образования конденсата и его испарения. Такая многофакторность зависимости скорости коррозии создает трудности при прогнозировании состояния металла в процессе эксплуатации. Приняв, что скорость коррозии малоуглеродистой стали составляет 0,025 мм/год [6], можно определить, что срок службы металлического листа толщиной 8 мм, из которого изготовлена упаковка, составит 32 года.

Влагопроницаемость загрузочного узла металлического короба зависит от постоянства физико-химических свойств материала уплотнителя (прокладки). Следует отметить, что в результате окисления кислородом воздуха происходит старение резиновых прокладок и, как следствие, их разрушение при длительном хранении [7]. Старение резиновых прокладок проявляется в хрупкости, появлении трещин, увеличении влагопроницаемости. На скорость процесса старения влияют температура, концентрация и активность кислорода, световая энергия. При высоких температурах наблюдается тепловое старение резины, при низких – растрескивание, особенно в напряженном состоянии. При увеличении массы резины в результате окисления на 0,5 % ее прочность уменьшается на 50 %, при увеличении массы на 2 % резина полностью теряет свою эластичность и прочность.

Для герметизации загрузочного узла упаковки применяют прокладки из тепло- и морозостойкой бессерной резины, гарантийный срок эксплуатации которой не менее 15 лет.

Время защитного действия уплотнительного соединения на основании закона Фика может быть рассчитано по формуле [8]

$$\tau_{з.д.} = \frac{W \cdot M_{\tau} \cdot t}{\Pi \cdot P} \ln\left(\frac{P}{P - p_k}\right), \quad (6)$$

где  $W$  – объем пороха в упаковке;  $\Pi$  – площадь торцевой поверхности прокладки;  $t$  – толщина прокладки;  $P$  – коэффициент влагопроницаемости;  $p$  – давление паров воды в окружающей среде;  $p_k$  – критическое давление паров воды.

Расчет по формуле (6) показывает, что время защитного действия прокладки  $\tau_{з.д.} > 10^8$  ч намного превышает гарантийный срок ее эксплуатации, то есть время защитного действия упаковки будет определяться сроком ее эксплуатации, равным 15 лет.

Применяемая упаковка способна только в течение 15 лет гарантированно предохранять дымный порох от действия влаги. Для дальнейшего хранения пороха достаточно заменить только прокладку загрузочного узла упаковки. Если дымный порох хранится в составе изделий, то срок его хранения будет определяться сроком защитного действия узла герметизации.

### Выводы

1. Исследована кинетика сорбции воды дымным порохом. Получены кинетические уравнения, которые использованы для прогнозной оценки физической стабильности дымного пороха.
2. Обоснованы условия хранения дымного пороха, при которых обеспечивается сохранность его свойств в течение длительного времени.

3. Перспективним в розвитку данного дослідження являється розгляд питання модифікації поверхні гранул димного пороха з метою підвищення їх вологостійкості.

1. Буллер М. Ф. О старении дымного пороха // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: Збірник наукових праць. – Київ. – 2002. – Вип. 6. – С. 57–63.

2. Буллер М. Ф. О связи химического и физического старения дымного пороха // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: Збірник наукових праць. – Київ. – 2002. – Вип. 7. – С. 71–76.

3. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей // Государственный комитет СССР по стандартам. – М., 1986. – 140 с.

4. Мишин К. В., Бомштейн Р. И. Гигроскопичность нитратов аммония, натрия, калия // Бюллетень Военно-химического НИИ – Г.В.М.У – Н.К.Т.П. – 1932. – № 16. – С. 117.

5. Crank E. I., Park G. S. Diffusion in Polymers. – London–New York, Academies Press. – 1968. – 458 p.

6. Коррозия. Справочник / Под ред. Л. А. Шрайера. – М.: Металлургия. – 1981. – С. 10.

7. Эмануэль Н. М. Термоокислительное старение полимеров // Высокомолекулярные соединения. – 1985, Т. 27. – № 7. – С. 1347–1363.

8. Михайлов М. М. Влагопроницаемость органических диэлектриков. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 163 с.

УДК 622.023:622.236.4

## **ТЕХНОЛОГИЯ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ КИМБЕРЛИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВЗРЫВНЫХ ПАТРОНОВ**

***В. А. Бабич, инж. (Институт электросварки им. Е. О. Патона)***

*Наведено результати розробки, експериментальних досліджень та промислових випробувань спеціальних вибухових патронів, призначених для зменшення ушкодження кристалосировини під час її видобутку.*

Обеспечение хозяйства страны минеральным сырьем неразрывно связано с разведкой и разработкой месторождений полезных ископаемых, многие из которых добывают с использованием энергии взрыва. Особенно важны научно обоснованные и эффективные методы управления взрывом при разведке и добыче кристаллосырья, в частности алмазов, в связи с необходимостью сохранить их естественную структуру.