

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ПИРОКСИЛИНОВЫХ ПОРОХОВ

М. Ф. Буллер, Т. В. Романько

Шосткинський інститут Сумського державного університету
ул. Інститутська, 1, г. Шостка, 41100, Україна. E-mail: info@ishostka.sumdu.edu.ua

Г. В. Межевич, В. А. Роботько

Державний науково-дослідницький інститут хімічних продуктів
ул. Леніна, 59, г. Шостка, 41100, Україна. E-mail: desna_2003@mail.ru

Рассмотрены пироксилиновые пороха как источника экологической опасности и экологического риска. Проведен анализ всех возможных опасностей, формируемых отдельными компонентами порохов, продуктами их разложения и сгорания на окружающую среду и здоровье человека. Установлено, что пироксилиновые пороха и боеприпасы обладают наивысшим уровнем экологической опасности и максимальной степенью экологического риска в процессе горения и взрыва, при которых происходит загрязнение окружающей среды и, как следствие, влияние на общий уровень здоровья населения и заболеваемость по отдельным нозологическим группам. Особенно негативным явлением в данной ситуации являются неконтролируемые по траектории разлеты боеприпасов и травмирование населения близлежащих населенных пунктов (психологические травмы, физические травмы, разрушение инфраструктуры и т.д.). Показано, что многокомпонентность химического состава газообразных продуктов разложения пироксилиновых порохов не позволяет определять с достаточной достоверностью степень экологического риска с использованием общепринятых подходов. Наиболее приемлемым в данном случае может быть поход с использованием математического моделирования.

Ключевые слова: пироксилиновые пороха, экологическая опасность, экологический риск, дифениламин, продукты сгорания, предельно допустимая концентрация.

ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ ПІРОКСИЛІНОВИХ ПОРОХІВ

М. Ф. Буллер, Т. В. Романько

Шосткинський інститут Сумського державного університету
вул. Інститутська, 1, м. Шостка, 41100, Україна. E-mail: info@ishostka.sumdu.edu.ua

Г. В. Межевич, В. А. Роботько

Державний науково-дослідницький інститут хімічних продуктів
вул. Леніна, 59, м. Шостка, 41100, Україна. E-mail: desna_2003@mail.ru

Розглянуті піроксилинові порохи як джерело екологічної небезпеки та екологічного ризику. Проведений аналіз усіх можливих небезпек, що формуються окремими компонентами порохів, продуктами їх розкладу та згорання на навколишнє середовище та здоров'я людини. Встановлено, що піроксилинові порохи та боеприпаси мають найвищий рівень екологічної небезпеки та максимальний ступінь екологічного ризику в процесі горіння та вибуху, за яких відбувається забруднення навколишнього середовища, й, як наслідок, вплив на загальний рівень захворюваності населення та захворюваність за окремими нозологічними групами. Особливо негативним явищем у даній ситуації є неконтрольовані за траєкторією розльоти боеприпасів і травмування населення прильотом населених пунктів (психологічні та фізичні травми, руйнування інфраструктури і т.і.). Показано, що багатокомпонентність хімічного складу газоподібних продуктів розкладу піроксилинових порохів не дозволяє визначати із достатньою ймовірністю ступінь екологічного ризику із застосуванням загально прийнятих підходів. Найбільш прийнятним у даному випадку може бути підхід із застосуванням математичного моделювання.

Ключові слова: піроксилинові порохи, екологічна небезпека, екологічний ризик, дифеніламін, продукти згорання, гранично допустима концентрація.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Пироксилиновые пороха используются в качестве метательного средства в артиллерийских боеприпасах. В процессе выстрела взрывчатое вещество в металлической оболочке (в большинстве случаев) доставляется к месту поражения за счет энергии продуктов горения пороха. В состав пироксилиновых порохов в основном входят следующие вещества [1]:

1. Пироксилин – продукт нитрации целлюлозы общей формулы [2]: $\text{-(C}_6\text{H}_7\text{O(OH)}_{3-x}\text{(ONO}_2\text{)}_x\text{O)}_n\text{-}$, при этом n – степень полимеризации, а x – степень нитрации ($2, 3 \leq x \leq 3$);
2. Дифениламин: $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$;
3. Этиловый спирт: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$;
4. Диэтиловый эфир: $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$;
5. Вода: H_2O .

Пироксилин является энергетической основой пироксилиновых порохов. В процессе производства пироксилин при добавлении этилового спирта и диэтилового эфира переводится из твердого состояния в эластичную пороховую массу, позволяющую сформировать пороховые элементы (зерна, трубки и т.д.) после удаления спирта и эфира.

Дифениламин вводится в состав пороха в качестве стабилизатора химической стойкости в виде раствора в диэтиловом эфире и добавляется во время приготовления пороховой массы [1].

Полученный порошок может быть использован для изготовления боеприпасов или же хранится определенное время на складах в герметичных условиях. Гарантийный срок хранения пироксилиновых порохов на складах – 50 лет, срок хранения пороха в составе боеприпасов определяется гарантийным

сроком хранения боеприпаса (18–20 лет). При этом обязательным условием хранения является отсутствие контакта пороха с влагой воздуха (наличие герметичности).

В процессе хранения боеприпасов и порохов негативное действие на окружающую среду (воздух, почва, вода), инфраструктуру (здания, сооружения) и живые организмы связано с их применением по прямому назначению (войсковые учения, военные действия). Основными губительными факторами в данной ситуации являются детонационные волны, повышенная температура (свыше 1000 °С) и газообразные продукты детонации (оксиды углерода, оксиды азота, вода) [3].

Боеприпасы с истекшими гарантийными сроками хранения, которые нельзя использовать по прямому назначению, утилизируются, для чего они разбираются на отдельные компоненты, и решается вопрос о дальнейшем использовании их в народном хозяйстве.

Из-за огромного количества на данный момент таких боеприпасов они хранятся в условиях неконтролируемого воздействия температуры и влаги. Исходя из того, что гарантийные сроки хранения боеприпасов (порохов) рассчитывались из принятой температуры хранения на определенную климатическую зону при отсутствии действия влаги, то понятно, что рассчитать прогнозные сроки дальнейшего безопасного хранения из-за отсутствия данных по температуре и условиям хранения не представляется возможным [4].

Цель работы – анализ вредного воздействия на атмосферный воздух и здоровье населения на территориях, прилегающих к местам хранения пироксилиновых порохов, с применением методологии оценки экологического риска.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Хранящиеся в таких условиях пироксилиновые пороха (разгерметизация боеприпаса, повышенная температура окружающей среды) представляют собой объект повышенной экологической опасности. При этом экологической опасностью обладают как компоненты пороха, так и продукты их деструкции в процессе хранения. Процесс деструкции будет ускоряться при повышении температуры и участия в этом процессе влаги [5] и замедляется присутствием в порохе дифениламина [6, 7]. Результирующая скорость деструкции пороха будет определяться наличием этих факторов.

При расходовании дифениламина на ингибирование скорость деструкции принимает характер самоускорения с выделением теплоты и возможностью самовоспламенения. В этом случае пагубное воздействие пороха будет сходно действию взорвавшегося боеприпаса, что намного опаснее действия компонентов порохов и продуктов их медленной деструкции.

Эволюция пагубного действия пороха в процессе неконтролируемого хранения может быть представлена в развитии как:

- за счет вымывания (компоненты пороха);
- за счет распада (продукты деструкции);

– за счет самовоспламенения или внешних факторов воспламенения (продукты горения, детонации).

Из пироксилинового пороха при вымывании в окружающую среду (воздух, почва) могут попадать дифениламин, этиловый спирт и диэтиловый эфир. Процесс может ускоряться при нарушении сплошности пороховых элементов под действием ультрафиолетового излучения, чередующихся положительных и отрицательных температур.

При деструкции пороха образуются и могут попадать в окружающую среду промежуточные продукты разложения нитратов целлюлозы. Исходя из двойственной природы нитратов целлюлозы (они представляют собой эфир азотной кислоты и природного полимера целлюлозы), деструкция пороха сопровождается уменьшением молекулярной массы (деполимеризация) и отрывом окислов азота (денитрация) [8, 9]. Медленное течение деструкции протекает до тех пор, пока образовавшиеся окислы азота будут взаимодействовать с дифениламином и активными его формами N-нитрозо- и C-нитропроизводными, образующимися в ходе связывания окислов азота [10]. При израсходовании активных форм стабилизатора процесс деструкции пороха переходит в стадию автокатализа, результатом которого может быть самовоспламенение и детонация. При детонации пороха, кроме деструктивных механических форм работы и термического действия по отношению к окружающим предметам, в воздух выделяются продукты детонации: окислы углерода, окислы азота, водяной пар. Для снижения вероятности разрушительного и загрязняющего действия пороха в процессе хранения нельзя допустить перехода медленной деструкции к мгновенному горению (детонации).

Проведем сравнительный анализ негативного действия потенциальных загрязнителей при хранении пироксилиновых порохов (табл. 1).

Количество азотной кислоты, приведенное в табл. 1, дано для условия взаимодействия окислов азота с водой. Максимальное количество вещества для случая распада дается двумя величинами: в числителе – на случай полного распада, а в знаменателе – до момента 2 % масс. распада. Порох считается непригодным для снаряжения боеприпасов, если он разложился более чем на 2 % от первоначальной массы.

Наиболее вредными веществами являются дифениламин, окислы азота и оксид углерода. Особенно вредными из них являются окислы азота. При взаимодействии с парами воды (продукт распада и горения) они образуют азотную кислоту, которая вызывает раздражение дыхательных путей и разрушает легкие. Окислы азота (окись и двуокись азота) в тропосфере инициируют образование фотохимического смога, в стратосфере выступают регулятором содержания азота в озоновом слое Земли [12].

Дифениламин может попадать в окружающую среду в процессе вымывания (случай нарушения герметичности укупорки и действия осадков) или образовывать N-нитрозо- и C-нитродифениламины в

процессе распада пороха. Образующиеся вещества – высокотоксичные соединения, поражают печень, вызывают кровоизлияние, конвульсии, они относятся к канцерогенам [13]. Их ПДК 2–5 мг/см³. Среди приведенных классов химических соединений наиболее опасным является N-нитрозодифениламин (обладает тератогенным и эмбриотоксическим действием, является канцерогеном) [14].

При распаде пороха выделение вредных веществ в окружающую среду происходит постоянно, однако скорость их выделения и количество незначительны.

Вымывание дифениламина и образовавшихся к этому моменту N-нитрозо- и C-нитродифениламинов происходит в случае разгерметизации боеприпаса. Процесс этот достаточно длителен из-за его низкой скорости.

Резкое увеличение количества и скорости выделения вредных веществ из пороха начинается в момент самоускорения распада пороха и возможного перехода распада в самовоспламенение (горение) с образованием большого количества вредных веществ [15].

Таблица 1 – Свойства потенциальных загрязнителей окружающей среды

Процесс	Вещества	Максимальное количество вещества, г/ кг пороха	ПДК, мг/м ³	Характер действия на человеческий организм
Вымывание	Дифениламин	до 20,0	10,0	Поражает нервную, сердечнососудистую и систему крови
	Этиловый спирт	до 30,0	1000,0	Возбуждает центральную нервную систему
	Диэтиловый эфир	до 20,0	300,0	Раздражает дыхательные пути, анестезирующее средство в медицине
Распад [11]	Оксиды азота	117,0 / 2,34	2,0	Кровяной яд, действует на центральную нервную систему
	Оксид углерода	49,0 / 1,0	5,0	Связывает гемоглобин крови, смертельный яд
	Диоксид углерода	167,6 / 3,35	9000,0	Раздражает кожу и слизистые оболочки
	Азотная кислота	171,7 / 3,43	10,0	Вызывает раздражение дыхательных путей, разрушает легкие
Самовоспламенение (горение, детонация)	Оксиды азота	152,2	2,0	Кровяной яд, действует на центральную нервную систему
	Оксид углерода	150,8	5,0	Связывает гемоглобин крови, смертельный яд
	Диоксид углерода	104,0	9000,0	Раздражает кожу и слизистые оболочки
	Азотная кислота	223,1	10,0	Вызывает раздражение дыхательных путей, разрушает легкие

В теории взрывчатых веществ, порохов и топлив общее количество газовых загрязнителей ($V_{\Sigma CO}$) определяется в пересчете на количество оксида углерода [16]:

$$V_{\Sigma CO} = V_{CO} + a \cdot V_{NO_2} + b \cdot V_{SO_2+H_2S}, \quad (1)$$

где V_{CO, NO_2, SO_2+H_2S} – количество выделившихся оксидов углерода, окислов азота, оксида серы и сероводорода; а и b – коэффициенты, учитывающие различную степень вредности газов и равные отношениям ПДК_{CO} к ПДК_{NO₂} и ПДК_{CO} к ПДК_{SO₂+H₂S}. У пироксилиновых порохов соединения серы в продуктах горения практически отсутствуют.

Однако, из данных табл. 1 невозможно определить, какое из веществ обладает наибольшей степенью экологического риска в зависимости от проте-

кающего процесса. При бесконтрольном хранении боеприпасов (порохов) это может быть момент начала в порохах самоускоряющейся реакции распада и возможного перехода ее в горение и детонацию.

В артиллерийских боеприпасах наибольшей степенью экологического риска обладает пироксилиновый порох и инициирующие взрывчатые вещества, имеющие меньшую температуру вспышки порядка 140–200 °С (для пироксилинового пороха она составляет 180–200 °С), меньшей степенью экологического риска – бризантные взрывчатые вещества (гексоген 225–235 °С, тротил 300–310 °С) [17]. Такой вывод напрашивается, если за точку отсчета в оценке экологического риска принимать температуру вспышки как определяющий фактор формирования опасности и риска.

Для боеприпасов и пироксилиновых порохов кроме внутренних источников риска (распад), суще-

ствують і зовнішні джерела ризику, які не піддаються прогнозу, найважливішим з яких є підвищена температура (пожежа, сонячна енергія, несоблюдение правил пожежної безпеки). Для зменшення ступеня цього екологічного ризику постійно проводиться моніторинг стану складів, боєприпасів і прилеглої території.

Для моніторингу внутрішніх ризиків потрібні надійні методи фізико-хімічного аналізу за станом глибини розпаду пороху [7, 15, 18] і надійні результати по кінетиці розпаду нітроцелюлози і хімізми дії дифеніламіна [19–22], що дозволить визначити кінцеві терміни техногенно-екологічної безпеки при зберіганні.

Для оцінки впливу на здоров'я населення газоподібних шкідливих речовин – продуктів розкладання порохів можна використовувати методологію, представлену в [23]:

$$K = - [y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta C_i} - 1)] \cdot N, \quad (2)$$

де K – кількість випадків виникнення захворювань конкретної нозологічної групи; y_0 – щоденний рівень захворюваності (раховується за визначеною методикою); β – коефіцієнт впливу токсиканта (довідкові дані); ΔC_i – зміна рівня добової концентрації токсиканта, мг/м³; N – загальна кількість населення, піддається впливу токсиканта.

Якщо в виразі (2) ввести нормативний показник захворюваності – 10^{-5} – для основної маси захворювань, а для онкологічних захворювань показник 10^{-6} , то можна отримати вираз для величини ризику негативного впливу на організм людини продуктів розкладання порохів при їх тривалому зберіганні:

$$Risk = - [y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta C_i} - 1)] \cdot N \cdot 10^{-n}, \quad (3)$$

де $n=5$ – показник для загального переліку захворювань різних нозологічних груп; $n=6$ – для онкологічних захворювань.

Представлений підхід можна вважати прогнозним, оскільки в виразі (2) присутня величина ΔC_i – зміна рівня добової концентрації токсиканта.

ВИВОДИ. Виходячи з вищеизложеного, піроксилінові порох і боєприпаси тривалого зберігання мають найвищим рівнем екологічної небезпеки і найвищою ступеню екологічного ризику, т.к. в процесі горіння і вибуху відбувається забруднення навколишнього середовища і, як наслідок, – вплив на загальний рівень здоров'я населення. Особливо негативним явищем в даній ситуації є неконтрольовані по траєкторії розльоти боєприпасів і травмування населення сусідніх населених пунктів (психологічні травми, фізичні травми, руйнування інфраструктури і т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров Т.С. Производство бездымного пироксилинового пороха. – М.: ОНТИ, 1935. – 154 с.
2. Закошиков А.П. Нитроцеллюлоза. – М.: ГИОП, 1950. – 371 с.
3. Физика взрыва / Под ред. Л. П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2 т.: Т. 1. Физматлит, 2002. – 832 с.
4. РТМ А 5550-73. В/ч 64176. Руководящий технический материал. Характеристика условий эксплуатации и учет их при испытаниях специзделий на сохраняемость. – М.: Военное изд. МО СССР, 1974. – 105 с.
5. Лурье Б.А., Валишина З.Т., Светлов Б.С. Кинетика гидролиза нитроцеллюлозы // ВСМ. Сер. II. – 1986. – Вып. 14 (258). – С. 13–19.
6. Chovancová M., Očko P., Pechová A., Lopúch J. Lifetime Prediction of Propellants according to NATO Standards. – Режим доступа: <http://www.witu.mil.pl>. – 10 p.
7. Lussier L.S., Gardnon H. Development of modern methods for determination of stabilizers in propellants // DREV R-9511. Unlimited Distribution. – April 1996. – Quebec. – 128 p.
8. Bohn M.A. NC-based energetic materials – stability, decomposition, and ageing // Presentation on the Meeting: “Nitrocellulose – Supply, Ageing and Characterization”. – April 24 to 25, 2007. – AWE, Aldermaston, England. – 129 p.
9. Lindblom T. Reactions in the System Nitrocellulose/ Diphenylamine with Special Reference to the Formation of a Stabilizing Product Bonded to Nitrocellulose. Acta Universitatis Upsaliensis // Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 935. – Uppsala. – 2004. – 77 p.
10. Лурье Б.А. Химические превращения дифеніламіна в піроксилінових порохі // Хімічна фізика. – 1988. – Т. 17, № 8. – С. 85–90.
11. Манелис Г.Б., Рубцов Ю.И., Смирнов Л.П., Дубовицкий Ф.И. Кинетика термического разложения пироксилина // Кинетика и катализ. – 1962. – Т. III, Вып. 1. – С. 42–48.
12. Гостинцев Ю.А., Гомера Ю.В. Образование окислов азота за фронтом УВ при взрывах и электрических искровых разрядах в атмосфере // Физика горения и взрыва. – 1995. – Т. 1, № 1. – С. 112–119.
13. Костюковский Я.Л., Маламед Д.Б. Канцерогенные N-нитрозамины. Образование, свойства, анализ // Успехи химии. – 1988. – Т. 57, вып.4. – С. 625–655.
14. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей / Под ред. Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – Изд. 7-е, пер. и доп. – В 3 т. Т. 2. – Л.: Химия, 1976. – 624 с.
15. Межевич Г.В., Роботко В.А., Закотей В.Г. и др. К выбору критерия безопасного хранения пироксилиновых порохов // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – Вип. 5(82). – С. 177–183.

16. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах / Пер. с англ.; под ред. Г.П. Демидюка и Н.С. Бахаревич. – М.: Недра, 1980. – 453 с. (The Science of Industrial Explosives, Melvin A. Cook)

17. Миропольский Ф.П. Химия взрывчатых веществ и порохов / Под ред. Р.С. Саркисяна. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1980. – 158 с.

18. Буллер М.Ф., Межевич Г.В.. Методы испытания утилизируемых порохов. – К.: Изд-во ООО «ДИА», 2005. – 94 с.

19. Bohn M.A., Eisenreich N., Doerich M., Pontius H. Characterization of ageing of NC based gun propellants by molar mass degradation of nitrocellulose and its modelling by random chain scission models including the description of the complete molar mass distribution functions // 5th International Nitrocellulose Symposium. – April 17–18, 2012. – Spiez, Switzerland. – 29 p.

20. AOP-48 Ed.2: Explosives, nitrocellulose based propellants – stability test procedures and requirements

using stabilizer depletion. – Brussels: North Atlantic Treaty Organization, Military Agency for Standardization, 2008.

21. STANAG 4527 (Edition 1): Explosive, chemical stability, nitrocellulose based propellants, procedure for assessment of chemical life and temperature dependence of stabilizer consumption rates. – Brussels: North Atlantic Treaty Organization, Military Agency for Standardization, 2000. – 15 p.

22. Буллер М.Ф., Фомин С.П., Межевич Г.В., Закотей В.Г. Состояние стабилизатора химической стойкости при старении порохов // Космич. техника. Ракетное вооружение: сбор. научн.-техн. статей. – 2007. – Вып. 1. – С. 87–97.

23. Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А. и др. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.

ECOLOGICAL RISK OF LONG-TERM STORAGE OF SINGLE-BASE POWDERS

M. Buller, T. Romanko

Shostka Institute of the Sumy State University

vul. Institut'skaya, 1, Shostka, 41100, Ukraine. E-mail: info@ishostka.sumdu.edu.ua

G. Mezhevich, V. Robotko

State Research Institute of Chemical Products

vul. Lenina, 59, Shostka, 41100, Ukraine. E-mail: desna_2003@mail.ru

In the presented work authors consider single-base powder as source of ecological safety and ecological risk. The analysis of all possible safety which render separate components of powders, products of their decomposition and combustion on environment and human health is carried out. Authors have determined that single-base powder and ammunition possesses the highest level of ecological safety and the maximum rate of ecological risk in the course of burning and explosion. Thus the environmental pollution is occurs and, as consequence, it influences on the common level of a population health and morbidity on individual nosologic groups. In this case especially negative event is uncontrollable on trajectory scatterings of ammunition and injures the population of nearby human settlements (psychological traumas, physical traumas, infrastructure destruction etc.). It is shown that multicomponent chemical composition of gaseous products of decomposition of single-base powder does not allow to define with sufficient reliability rate of ecological risk using of the standard approaches. Application of mathematical modeling can be the most acceptable method in this case.

Keywords: single-base powder, ecological safety, ecological risk, diphenylamine, combustion products, maximum permissible concentration.

REFERENCES

1. Egorov, T.S. (1935), Proizvodstvo bezdymnogo piroksilinovogo poroha [Production of smokeless single-base powder], ONTI, Moscow, USSR

2. Zakoshchikov, A.P. (1950), Nitrocelluloza [Nitrocellulose], GIOP, Moscow, USSR.

3. Orlenko, L.P. (2002), Fizika vzryva [Physics of explosion], 3rd ed., vol. 1, Fizmatlit, Moscow, Russia.

4. RTM A 5550-73, M/u 64176 (1974), *Rukovodnyashchiy tehnichestkiy material. Harakteristika usloviy ekspluatatsii i uchet ih pri ispytaniyah na sohranyemost* [A supervising technical material. The characteristic of service conditions and its control at tests of special products at the storage], Military publishing house of MD of USSR, Moscow, USSR.

5. Lurie, B.A., Valishina, Z.T., Svetlov, B.S. (1986), «Kinetics of hydrolysis of nitrocellulose», VSM, no. 14 (258), pp. 13–19.

6. Chovancová, M., Očko, P., Pechová, A., Lopúch J. «Lifetime Prediction of Propellants according to NATO Standards», www.witu.mil.pl, 10 p.

7. Lussier, L.S., Gardnon, H. «Development of modern methods for determination of stabilizers in propellants», DREV R-9511. Unlimited Distribution, April 1996, Quebec, 128 p.

8. Bohn M.A. «NC-based energetic materials – stability, decomposition, and ageing», Presentation on the Meeting: Nitrocellulose – Supply, Ageing and Characterization. April 24–25, 2007, AWE, Aldermaston, England.

9. Lindblom T. «Reactions in the System Nitrocellulose/ Diphenylamine with Special Reference to the Formation of a Stabilizing Product Bonded to Nitrocellulose», Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 935, Uppsala, 2004, 77 p.

10. Lurie, B.A. (1998), «Chemical transformations of diphenylamine in single-base powders», *Chemical physics*, Vol. 17, no. 8, pp. 85–90.
11. Manelis, G.B., Rubtsov, Y.I., Smirnov, L.P., Dubovitskiy, F.I. (1962), «Kinetics of thermal decomposition of nitrocellulose», *Kinetics and catalysis*, Vol. 3, no. 1, pp. 42–48.
12. Gostintsev, Y.A., Gomera, Y.V. (1995), «Formation of nitric oxides behind the shock wave front at explosions and electric spark discharges in atmosphere», *Physics of combustion and explosion*, vol. 1, no. 1, pp. 112–119.
13. Kostyukovskiy, Ya.L., Malamed, D.B. (1988), «Cancerogenic N-nitrosamines. Formation, properties, the analysis», *Progress of chemistry*, vol. 57, no. 4, pp. 625–655.
14. Lazarev, N.V., Levina, E.N. (1976), *Vrednye veshchestva v promyshlennosti. Spravochnik dlya himikov, injenerov i vrachey* [Hazardous substances in industry. A handbook for chemists, engineers and doctors], 7th ed., vol. 2, Himiya, L'viv, USSR.
15. Mezhevich, G.V., Robotko, V.A., Zakotey, V.G., Buller, M.F., Romanko, T.V. (2013), «On the criterion selection of safe storage of single-base powders», *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy State University*, no. 5(82), pp. 177–183.
16. Cook, M.A. (1980), *Nauka o promyshlennykh vzryvchatykh veshchestvakh* [The Science of Industrial Explosives], Nedra, Moscow, USSR.
17. Miropolskiy, F.P., Sarkisyan, R.S (1980) *Himiya vzryvchatykh veshchestv i porohov* [Chemistry of explosives and powders], VViA Jukovskogo, Moscow, USSR.
18. Buller, M.F., Mezhevich, G.V. (2005), *Metody ispytaniya utilizirovannykh porohov* [Test methods of utilized powders], DIA, Kyiv, Ukraine.
19. Bohn, M.A., Eisenreich, N., Doerich, M., Pontius, H. «Characterization of ageing of NC based gun propellants by molar mass degradation of nitrocellulose and its modelling by random chain scission models including the description of the complete molar mass distribution functions», 5th International Nitrocellulose Symposium, April 17–18, 2012, Spiez, Switzerland.
20. AOP-48 (EDITION 2) (2008), «Explosives, nitrocellulose based propellants – stability test procedures and requirements using stabilizer depletion», Brussels: North Atlantic Treaty Organization, Military Agency for Standardization.
21. STANAG 4527 (EITION 1) (2000), «Explosive, chemical stability, nitrocellulose based propellants, procedure for assessment of chemical life and temperature dependence of stabilizer consumptions rates», Brussels: North Atlantic Treaty Organization, Military Agency for Standardization, 15 p.
22. Buller, M.F., Fomin, S.P., Mezhevich, G.V., Zakotey, V.G. (2007), «A state of the stabilizer of chemical stability when ageing powder», *Kosmicheskaya tehnika. Raketnoe vooruzhenie.*, no. 1, pp. 87–97.
23. Onistchenko, G.G., Novikov, S.M., Rahmanin, Yu. *et all.* (2002), *Osnovy otsenki riska dlya zdorovya naseleniya pry vozdeistvii himicheskikh veschestv, zagryaznyayuschih okruzhayuschuyu sredu* [A framework for assessing the public health risk when exposed to chemicals that pollute the environment], NIIECh, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 15.07.2014