

О. Б. Аніпко<sup>1</sup>, д.техн.н., професор, Д. С. Баулін<sup>2</sup>, к.техн.н., с.н.с.

## ДОЦІЛЬНІ ТЕРМІНИ РЕГЕНЕРАЦІЇ НІТРОЦЕЛЮЛОЗНИХ ПОРОХОВИХ ЗАРЯДІВ ТРИВАЛИХ ТЕРМІНІВ ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРИВАЛІСТЬ ПІСЛЯРЕГЕНЕРАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ЇХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

<sup>1</sup>Харківський Національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

<sup>2</sup>Національна академія Національної гвардії України, Харків

**Ключові слова:** пороховий заряд, нітроцелюлозний порох, балістичні характеристики, геронтологічні зміни, регенерація зарядів, післярегенераційний період.

### Постановка проблеми та аналіз публікацій

В основі зарядів до ствольних систем (артилерійське та стрілецьке озброєння) лежать піроксилінові порох, виготовлені на основі нітроклітковини, яка, у свою чергу, є хімічно нестійкою сполукою і вступаючи в реакцію з іонами (ОН), що знаходяться в повітрі, утворює азотну та азотисту кислоти за механізмом автокаталітичної реакції. Таким чином, фізико-хімічні властивості порохів безперервно змінюються з часом. Цей процес посилюється тим фактом, що з часом втрачаючи щільність, енергетичну цінність як паливо, порох набувають бризантних властивостей і ймовірність мимовільного вибуху безперервно зростає.

Проведені дослідження [1–5] показали, що терміни зберігання боєприпасів в Україні становлять набагато більш 30 років і збільшуються з кожним роком. Встановлено [6–8], що вже після 25 років зберігання через зміни енергетичних характеристик порохового заряду відбуваються зміни балістичних характеристик зброї, які неможливо відкоригувати введенням поправок в установки стрільби. Виникає питання доцільності застосування таких боєприпасів, як у точності виконання вогневих завдань та експлуатації озброєння загалом, так і у сфері безпеки особового складу.

Виникає комплексна проблема оцінки стану зарядів, яка пов'язана з відсутністю у державі надійної системи моніторингу стану порохових зарядів боєприпасів, розроблення технології їх регенерації, утилізації та можливості застосування за призначенням [3]. Перша з наведених проблем є ключовою, оскільки саме від її результатів залежить подальше продовження життєвого циклу боєприпасів.

Одним із завдань, пов'язаних із проблемою експлуатації боєприпасів, є можливість прогнозування зміни їх властивостей на різних етапах зберігання.

Найважливішим показником зміни властивостей порохів є зниження початкової швидкості снаряда. За цим показником оцінюється зміна балістичних показників озброєння.

Аналіз літературних джерел свідчить, що останнім часом з'явилися публікації [1, 2, 5, 7], пов'язані з обґрунтуванням термінів експлуатації боєприпасів. Проведені експериментальні дослідження [9–11] підтверджують, що при тривалому зберіганні спостерігаються зміни у хімічному складі нітроцелюлозних порохів. Зміна кольору порохових елементів підтверджує хімічні реакції, що відбуваються, з поступовим зменшенням їх маси [7].

Однак невідомо, як показник початкової швидкості снаряда реагує на зміну маси порохового заряду. Також немає обґрунтованого прогнозу змін енергетичних характе-

ристик порохових зарядів та балістичних характеристик озброєння. У [12, 13] показана можливість проведення регенерації порохових зарядів та відновлення їх властивостей шляхом обробки розчином перекису водню. Однак не показано часових рамок проведення регенерації порохових зарядів для отримання найкращого ефекту.

У доступних джерелах [14–17], присвячених експлуатації боєприпасів, є дані про вплив характеристик порохів на балістичні характеристики та матеріальну частину озброєння. Однак даних про регенерацію та відновлення властивостей порохів у літературі не виявлено. Очевидно, це пов'язано з тим, що не допускалося тривале зберігання боєприпасів шляхом їхньої планової ротації у визначені терміни. Але, навіть у збройних силах розвинених країн (США, Німеччина, Великобританія, Франція) є досить великі запаси боєприпасів [20–22], які вимагають певних дій, пов'язаних з їхньою утилізацією чи регенерацією, оскільки терміни їх зберігання дуже великі.

У зв'язку з цим **метою статті** є визначення найбільш доцільних термінів відновлення властивостей нітроцелюлозних порохів тривалих термінів зберігання для отримання найкращого ефекту.

### **Виклад основного матеріалу**

У літературних джерелах [12, 13, 18] є дані про можливість проведення регенерації порохових зарядів на основі піроксиліну для відновлення їх балістичних та енергетичних характеристик. За оцінками [13], регенерація порохових зарядів дає збільшення маси заряду  $\Delta\omega \approx 3\%$ .

З формули [13]

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_T} = k \frac{\Delta V_0}{V_{0T}}, \quad (1)$$

де  $\Delta\omega$  – зміна маси заряду;  $\omega_T$  – маса заряду таблична;  $k$  – коефіцієнт пропорційності;  $\Delta V_0$  – зміна початкової швидкості;  $V_{0T}$  – початкова швидкість снаряда таблична, видно, що збільшення маси заряду впливає на збільшення початкової швидкості снаряда, причому не лінійно, а через коефіцієнт  $k$ .

На рис. 1 наведено графік зміни величини початкової швидкості снаряда в залежності від термінів експлуатації боєприпасів. Відповідно до [1, 2], величина початкової швидкості зменшується з часом за певною залежністю.

На рис. 1 показано періоди експлуатації боєприпасів: гарантійний (I) та період деградації порохового заряду (II), протягом якого балістичні та енергетичні характеристики знаходяться в межах норми.

Зменшення початкової швидкості на величину 5 % від табличних даних знаходиться в діапазоні можливого застосування боєприпасів, коли зміна  $V_0$  коригується прицільними пристосуваннями і установками для стрільби [8, 9, 11].

Можна уявити період до точки **A** як гарантійний, у якому балістичні характеристики боєприпасів перебувають у встановлених межах [1, 2, 14].

Період після точки **A** – період доцільних термінів регенерації порохових зарядів. Саме в цьому періоді найбільше доцільно проводити відновлення характеристик нітроцелюлозних порохів.

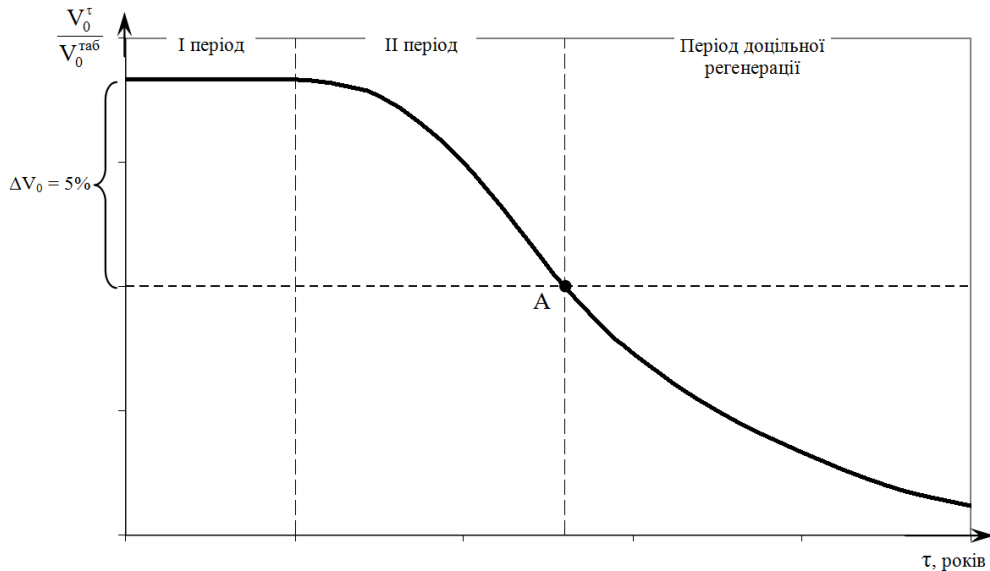


Рисунок 1 – Залежність зміни величини початкової швидкості снаряда від часу експлуатації боєприпасу

Як зазначалося вище, у процесі регенерації маса порохового заряду збільшується на 3 % шляхом насичення нітроцелюлози воднем. На скільки збільшиться початкова швидкість снаряда однозначно відповісти неможливо, оскільки коефіцієнт  $k$  залежить від умов виробництва та експлуатації порохового заряду і буде різним для кожної партії боєприпасів.

Але відомо [13, 18], що ефект збільшення маси заряду, а звідси і збільшення початкової швидкості, існує.

Звідси, під час проведення регенерації порохового заряду під час доцільної регенерації у певному терміні експлуатації  $t_1$  (точка В), отримаємо збільшення початкової швидкості (рис. 2).

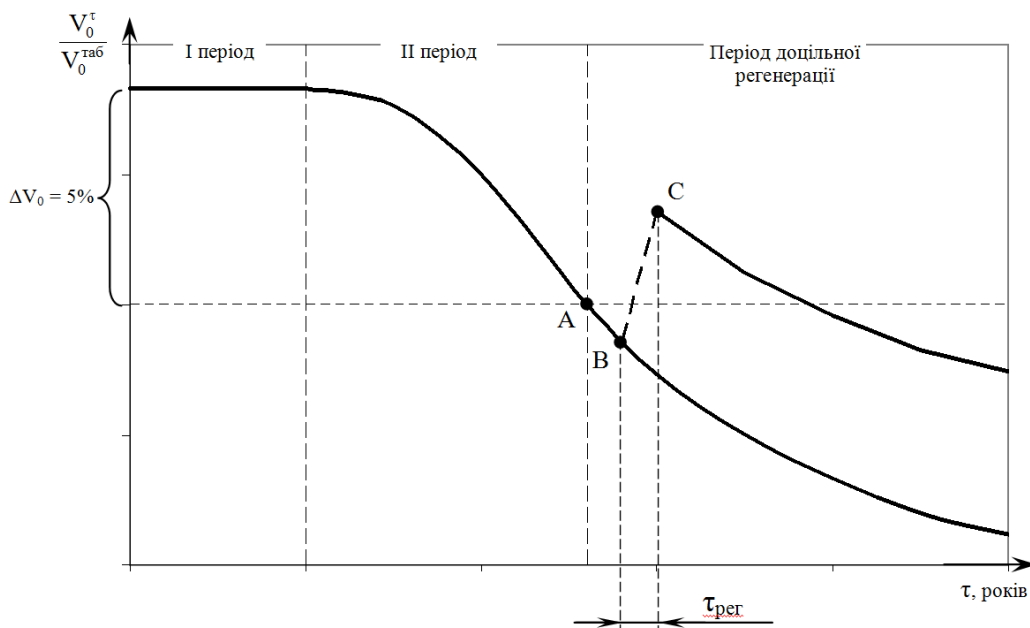


Рисунок 2 – Зміни величини початкової швидкості снаряда під час проведення регенерації порохового заряду

Процес регенерації займає певний час ( $\tau_{\text{рег}}$ ), і показник властивості порохового заряду ( $V_0$ ) переміститься з точки В у точку С. Як видно, значення величини початкової швидкості буде відповідати рівню гарантійного періоду.

Далі, процес зменшення початкової швидкості проходить за тим самим законом  $V_0(\tau)$ , але з точки С.

На рис. 3 показаний новий період експлуатації порохового заряду – період після регенерації.

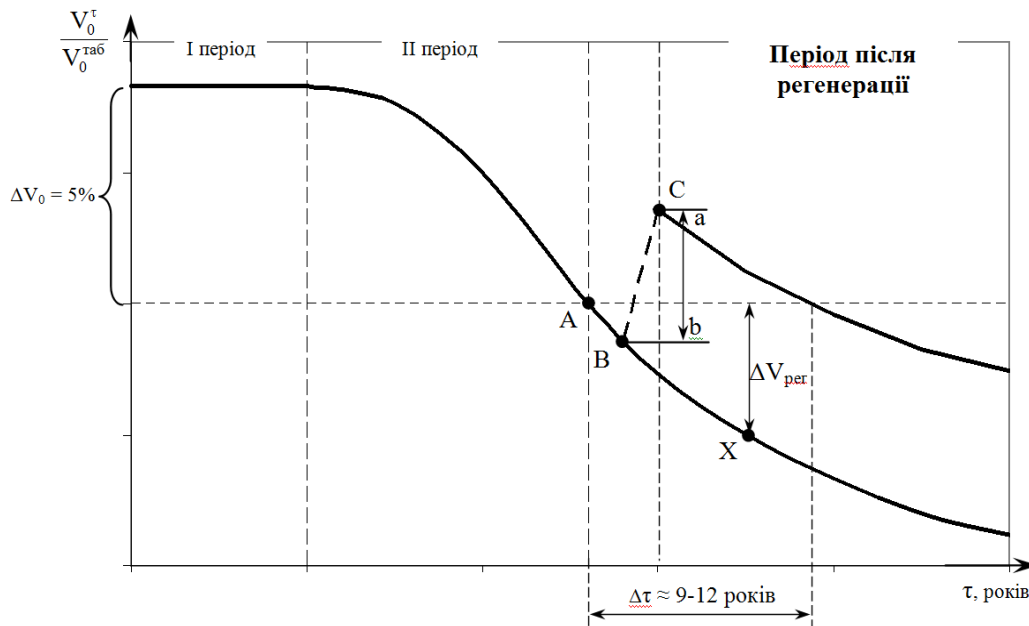


Рисунок 3 – Післярегенерацийний період експлуатації порохового заряду

Також на рис. 3 представлений ефект від регенерації ( $\Delta V_{\text{рег}}$ ) у вигляді відрізка a-b.

Якщо величину  $\Delta V_{\text{рег}}$  (відрізок a-b) перемістити візуально на залежність зміни початкової швидкості, то отримаємо точку X, яка показує термін експлуатації боєприпасів, після якого регенерація не доцільна, оскільки її ефект не відновить характеристики порохового заряду до рівня 5 %-го зниження початкової швидкості і, відповідно, буде неефективною.

На рис. 4 представлений випадок регенерації порохового заряду в момент погіршення його характеристик на 5 % (з точки А), тобто на межі експлуатації. Саме в цей момент (А-С) пропонується проведення регенерації, оскільки в цей період часу передбачається отримати максимальний ефект.

Але в момент, коли втрата властивостей порохового заряду оцінюється у 5 %, інтерес викликає можливість технологічно довести ефект від регенерації також до 5 % (рис. 4).

Це відповідає відновленню властивостей на рівень гарантійної експлуатації (А-С'). Подальша експлуатація порохових зарядів графічно представлена з точки С' і може бути продовжена вдвічі.

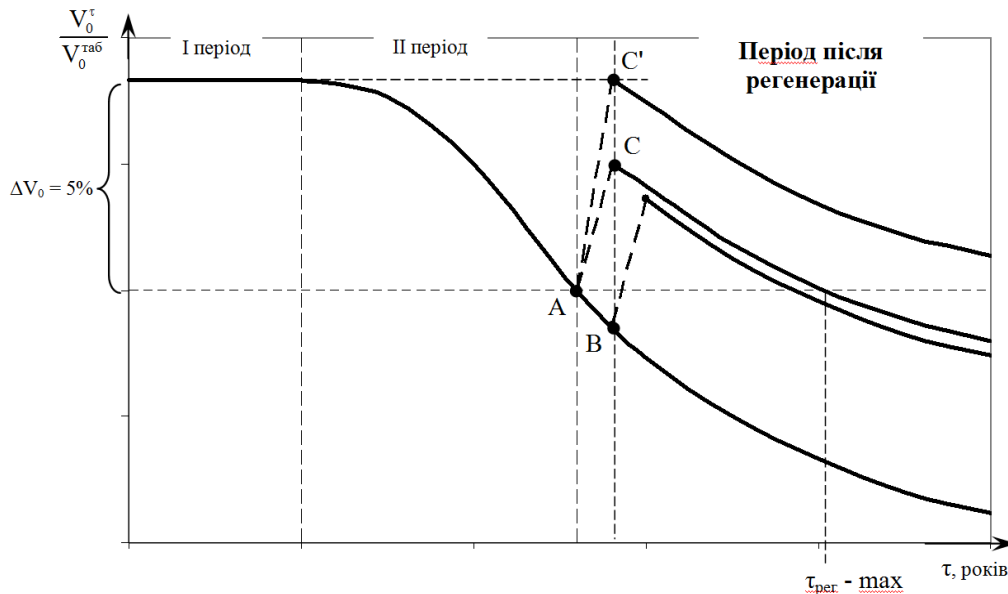


Рисунок 4 – Максимальний ефект регенерації порохового заряду

**Висновки.** Проблема нітроцелюлозних порохів тривалих термінів зберігання є комплексною і полягає в невідповідності стану розвитку існуючої теоретико-експериментальної бази визначення та підвищення їх енергетичних характеристик.

Показано принципову можливість відновлення балістичних та енергетичних характеристик нітроцелюлозних порохів шляхом обробки їх перекисом водню.

На підставі проведених досліджень, використовуючи модель експлуатації боєприпасів, у життєвому циклі порохових зарядів вперше запропоновано застосувати період після регенерації, що дає змогу визначати час доцільного відновлення характеристик зарядів. Він трохи коливатиметься для різних партій порохів, але, з достатньою ймовірністю, його тимчасові рамки можна визначити з 25–27 років.

#### Література

1. Аніпко О.Б., Баулін Д.С., Горелишев С.А. Геронтологічні властивості порохових зарядів боєприпасів та їх вплив на показники живучості стрілецької зброї: Монографія. Харків: Вид-во Національної академії Національної гвардії України, 2019. 119 с.
2. Аніпко О.Б., Бусяк Ю.М. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения. Монографія. Х.: АВВ МВД Украины, 2010 – 128 с.
3. Аніпко О.Б., Хайков В.Л. Анализ методов оценки состояния пороховых зарядов как элемент системы мониторинга артиллерийских боеприпасов // Інтегровані технології та енергозбереження. 2012. №3. С. 60–71.
4. Баулін Д.С. Експериментальне дослідження впливу конструктивних характеристик боєприпасів на початкову швидкість куль // Збірник наукових праць “НАДПС України ім. Б.Хмельницького”. 2004. №31. Частина II. С. 5–7.
5. Гончаренко П.Д. Интегральная поправка в начальную скорость на износ ствола и геронтологические изменения порохового заряда // Збірник наукових праць Академії військово-морських сил імені П.С. Нахімова. 2011. №1 (5). С. 11–14.

6. Баулін Д.С. Нитроцелюлозні порохові заряди тривалих термінів експлуатації: проблемні задачі та їх можливі рішення // Інтегровані технології та енергозбереження. 2021. №4. С. 33–45.
7. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Цветометрия пороховых элементов метательных зарядов артиллерийских боеприпасов // Артиллерийское и стрелковое вооружение. 2011. №1. С. 28–35.
8. Вертелецкий В.Ф. Прогнозирование изменения физико-химических свойств порохового заряда и начальной скорости 30 мм артиллерийских боеприпасов морской номенклатуры // Інтегровані технології та енергозбереження. 2012. №2. С. 24–31.
9. Аніпко О.Б., Баулін Д.С., Бірюков І.Ю., Гунько О.О. Прогнозування змін балістичних характеристик пострілів роздільно-гільзового заряджання із зарядами тривалих термінів експлуатації // Інтегровані технології та енергозбереження. 2022. №1. С. 52–62.
10. Аніпко О.Б., Баулін Д.С. Аналітична гіпотеза для обґрунтування принципової можливості регенерації нітроцелюлозних порохів після тривалого зберігання перекисом водню // Інтегровані технології та енергозбереження. 2022. №4. С. 65–72.
11. Черкашин А.Д. Проверка достоверности прогноза и коррекция зависимости изменения начальной скорости пули 9 мм пистолетного патрона ПМ // Системи озброєння і військова техніка. 2010. № 3. С. 90–92.
12. Анипко О.Б. Результаты экспериментального исследования воздействия перекиси водорода на нитроцеллюлозные высокомолекулярные соединения // Інтегровані технології та енергозбереження. 2014. № 2. С. 50–55.
13. Oleg Anipko, Dmitro Baulin, Stanislav Horielyshev, Igor Boikov, Yurii Babkov, Oleksandr Oleksenko, Halyna Misiuk, Volodymyr Kutsenko, Mykhailo Ivanets, Valerii Voinov Study Of The Nitrocellulose Gunpowder Regeneration Process Using Hydrogen Peroxide. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2023, № 5(43), С. 3–13.
14. Анипко О.Б., Муленко А.О., Баулин Д.С. Экспериментальное исследование износа ствола 5,45 мм автомата Калашникова АК-74 при стрельбе боеприпасами длительных сроков хранения // Інтегровані технології та енергозбереження. 2013. №2. С. 121–125.
15. Анипко О.Б., Муленко А.О., Баулин Д.С., Черкашин А.Д. Проблема живучести стволов стрелкового оружия при применении боеприпасов послегарантийных сроков хранения // Інтегровані технології та енергозбереження. 2010. №3. С. 80–83.
16. Анипко О.Б., Гончаренко П.Д., Хайков В.Л. Преждевременные разрывы снарядов корабельной артиллерии и методы их предупреждения. Зарубежный опыт. // Збірник наукових праць Академії військово-морських сил імені П.С. Нахимова. – 2011. – №4(48). – С. 6–16.
17. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М., Гончаренко П.Д., Хайков В.Л. Живучесть нарезных и гладких стволов при использовании боеприпасов послегарантийных сроков хранения. Севастополь: Академия военно-морских сил имени П.С. Нахимова, 2012. 208 с.
18. Баулін Д.С. Методика проведення експериментального дослідження щодо відновлення характеристик піроксилінових порохів // Інтегровані технології та енергозбереження. 2022. №3. С. 30–41.

Bibliography (transliterated)

1. Anipko O.B., Baulin D.S., Horyelyshev S.A. Herontolohichni vlastyvoli porokhovykh zaryadiv boeprypasiv ta yikh vplyv na pokaznyky zhyvuchosti strilets'koyi zbroyi: Monohrafiya. Kharkiv: Vyd-vo Natsional'noyi akademiyi Natsional'noyi hvardiyi Ukrainy, 2019. 119 p.
2. Anypko O.B., Busyak YU.M. Vnutrennyaya ballistyka stvol'nykh system pry pryimenenyy boeprypasov dlytel'nykh srokov khranennya. Monohrafiya. KH.: AVV MVD Ukrainy, 2010 – 128 p.
3. Anypko O.B., Khaykov V.L. Analyz metodov otsenky sostoyannya porokhovykh zaryadov kak élement systemy monytorynha artylleryyskykh boeprypasov // Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya. 2012. №3. P. 60–71.
4. Baulin D.S. Eksperymental'ne doslidzhennya vplyvu konstruktyvnykh kharakterystyk boeprypasiv na pochatkovu shvydkist' kul' // Zbirnyk naukovykh prats' "NADPS Ukrainy im. B.Khmel'nyts'koho". 2004. №31. Chastyna II. P. 5–7.
5. Honcharenko P.D. Yntehral'naya popravka v nachal'nyu skorost' na yznos stvola y herontolohycheskye yzmenennya porokhovoho zaryada // Zbirnyk naukovykh prats' Akademiyi viys'kovo-mors'kykh syl imeni P.S. Nakhimova. 2011. №1 (5). P. 11–14.
6. Baulin D.S. Nytrotselyulozni porokhovi zaryady tryvalykh terminiv ekspluatatsiyi: problemni zadachi ta yikh mozhyvi rishennya // Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya. 2021. №4. P. 33–45.
7. Anypko O.B., Khaykov V.L. Tsvetometryya porokhovykh élementov metatel'nykh zaryadov artylleryyskykh boeprypasov // Artylleryyskoe y strelkovee vooruzhenye. 2011. №1. P. 28–35.
8. Verteletsky V.F. Prohnozyrovanye yzmenennya fyzyko-khymycheskykh svoystv porokhovoho zaryada y nachal'noy skorosty 30 mm artylleryyskykh boeprypasov morskoy nomenklatury // Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya. 2012. №2. P. 24–31.
9. Anipko O.B., Baulin D.S., Biryukov I.YU., Hun'ko O.O. Prohnozuvannya zmin balistychnykh kharakterystyk postriliv rozdil'no-hil'zovoho zaryadzhannya iz zaryadamy tryvalykh terminiv ekspluatatsiyi // Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya. 2022. №1. P. 52–62.
10. Anipko O.B., Baulin D.S. Analychna hipoteza dlya obgruntuvannya pryntsyypovoyi mozhyvosti reheneratsiyi nitrotselyuloznykh porokhiv pislya tryvaloho zberihannya perekysom vodnyu // Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya. 2022. №4. P. 65–72.
11. Cherkashyn A.D. Proverka dostovernosti prohnoza y korrektsyya zavysymosty yzmenennya nachal'noy skorosty puly 9 mm pystoletnoho patrona PM // Systemy ozbroyennya i viys'kova tekhnika. 2010. № 3. P. 90–92.
12. Anypko O.B. Rezul'taty éksperymental'noho yssledovannya vozdeystviya perekysu vodoroda na nytrotselyuloznye vysokomolekulyarnye soedynennya // Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya. 2014. № 2. P. 50–55.
13. Oleg Anipko, Dmitro Baulin, Stanislav Horielyshev, Igor Boikov, Yurii Babkov, Oleksandr Oleksenko, Halyna Misiuk, Volodymyr Kutsenko, Mykhailo Ivanets, Valerii Voinov Study Of The Nitrocellulose Gunpowder Regeneration Process Using Hydrogen Peroxide. EUREKA: Physics and Engineering, 2023, № 5(43), P. 3–13.
14. Anypko O.B., Mulyenko A.O., Baulyn D.S. Éksperymental'noe yssledovanye yznosa stvola 5,45 mm avtomata Kalashnykova AK-74 pry strel'be boeprypasamy dlytel'nykh srokov khranennya // Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya. 2013. №2. P. 121–125.

15. Anypko O.B., Mulyenko A.O., Baulyn D.S., Cherkashyn A.D. Problema zhyvuchesty stvolov strelkovoho oruzhya pry pryomenenyy boeprypasov posleharantyynykh srokov khranenyya // *Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya*. 2010. №3. P. 80–83.

16. Anypko O.B., Honcharenko P.D., Khaykov V.L. Prezhdevremennyye razryvy snaryadov korabel'noy artylleryy y metody ykh preduprezhdenyya. Zarubezhnyy opyt. // *Zbirnyk naukovykh prats' Akademiyi viys'kovo-mors'kykh syl ymeny P.S. Nakhymova*. – 2011. – №4(48). – P. 6–16.

17. Anypko O.B., Busyak YU.M., Honcharenko P.D., Khaykov V.L. Zhyvuchest' nareznykh y hladkykh stvolov pry yspol'zovanny boeprypasov posleharantyynykh srokov khranenyya. Sevastopol': Akademya voenno-mors'kykh syl ymeny P.S. Nakhymova, 2012. 208 p.

18. Baulin D.S. Metodyka provedennya eksperymental'noho doslidzhennya shchodo vidnovlennya kharakterystyk piroksylinovykh porokhiv // *Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya*. 2022. №3. P. 30–41.

УДК 355.014: 623.522

О. Б. Аніпко, д.техн.н., професор, Д. С. Баулін, к.техн.н., с.н.с.

### **ДОЦІЛЬНІ ТЕРМІНИ РЕГЕНЕРАЦІЇ НІТРОЦЕЛЮЛОЗНИХ ПОРОХОВИХ ЗАРЯДІВ ТРИВАЛИХ ТЕРМІНІВ ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРИВАЛІСТЬ ПІСЛЯРЕГЕНЕРАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ЇХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ**

В даний час проблемою багатьох країн світу є наявність в арсеналах, базах та складах великої кількості різноманітних боєприпасів, які знаходяться за межами гарантійних термінів зберігання. Відсутність в Україні виробничих потужностей з виготовлення боєприпасів призвела до того, що в даний час в експлуатації є боєприпаси, час зберігання яких перевищує 30 років.

Аналіз досліджень показав, що вже після 25 років зберігання через зміни енергетичних характеристик порохового заряду відбуваються зміни балістичних характеристик зброї, які неможливо відкоригувати введенням поправок в установки стрільби. Виникає питання доцільності застосування таких боєприпасів, як у точності виконання вогневих завдань та експлуатації озброєння загалом, так і у сфері безпеки особового складу.

Показана комплексна проблема оцінки стану зарядів, яка пов'язана з відсутністю у державі надійної системи моніторингу стану порохових зарядів боєприпасів, розроблення технології їх регенерації, утилізації та можливості застосування за призначенням. Перша з наведених проблем є ключовою, оскільки саме від її результатів залежить подальше продовження життєвого циклу боєприпасів.

Проведені експериментальні дослідження підтверджують, що при тривалому зберіганні спостерігаються зміни у хімічному складі нітроцелюлозних порохів. Зміна кольору порохових елементів підтверджує хімічні реакції, що відбуваються у них, з поступовим зменшенням їх маси.

Наведено, що у процесі регенерації маса порохового заряду збільшується на 3% шляхом насичення нітроцелюлози воднем.

Графічно показані пріоритетні часові рамки, коли проведення регенерації дає максимальний ефект.



Аналізуючи результати дослідження, використовуючи модель експлуатації боеприпасів, у життєвому циклі порохових зарядів вперше запропоновано застосувати період після регенерації, що дає змогу визначити час доцільного відновлення характеристик порохів. Він трохи коливатиметься для різних партій порохів, але, з достатньою ймовірністю, його тимчасові рамки можна визначити в 25–27 років.

Прогнозована можливість технологічно довести ефект від регенерації до 5 %. Це відповідає відновленню властивостей на рівень гарантійної експлуатації і її продовження вдвічі.

**Ключові слова:** пороховий заряд, нітроцелюлозний порох, балістичні характеристики, геронтологічні зміни, регенерація зарядів, післярегенераційний період/

О. Б. Анипко, д.техн.н., професор, Д. С. Баулин, к.техн.н., с.н.с.

### ЦЕЛЕСООБРАЗНЫЕ СРОКИ РЕГЕНЕРАЦИИ НИТРОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ПОРОХОВЫХ ЗАРЯДОВ ДЛИТЕЛЬНЫХ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПОСЛЕРЕГЕНЕРАЦИОННОГО ПЕРИОДА ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

В настоящее время проблемой многих стран мира является наличие в арсеналах, базах и складах большого количества разнообразных боеприпасов, находящихся вне гарантийных сроков хранения. Отсутствие в Украине производственных мощностей по производству боеприпасов привело к тому, что в настоящее время в эксплуатации есть боеприпасы, время хранения которых превышает 30 лет.

Анализ исследований показал, что уже после 25 лет хранения из-за изменения энергетических характеристик порохового заряда происходят изменения баллистических характеристик оружия, которые невозможно откорректировать введением поправок в установки стрельбы. Возникает вопрос о целесообразности применения таких боеприпасов, как в точности выполнения огневых задач и эксплуатации вооружения в целом, так и в сфере безопасности личного состава.

Показана комплексная проблема оценки состояния зарядов, связанная с отсутствием в государстве надежной системы мониторинга состояния пороховых зарядов боеприпасов, разработки технологии их регенерации, утилизации и возможности применения по назначению. Первая из приведенных проблем является ключевой, поскольку именно от ее результатов зависит дальнейшее продление жизненного цикла боеприпасов.

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают, что при продолжительном хранении наблюдаются изменения в химическом составе нитроцеллюлозных порохов. Изменение цвета пороховых элементов подтверждает происходящие в них химические реакции с постепенным уменьшением их массы.

Представлено, что в процессе регенерации масса порохового заряда увеличивается на 3 % путем насыщения нитроцеллюлозы водородом.

Графически показаны приоритетные временные рамки, когда проведение регенерации дает максимальный эффект.

Анализируя результаты исследования, используя модель эксплуатации боеприпасов, в жизненном цикле пороховых зарядов впервые предложено применить период после регенерации, что позволяет определять время целесообразного восстановления характеристик порохов. Он будет немного колебаться для разных партий порохов, но, с достаточной вероятностью, его временные рамки можно определить в 25–27 лет.

Спрогнозована можливість технологічно довести ефект від регенерації до 5 %. Це буде відповідати відновленню властивостей на рівень гарантійної експлуатації і подальше продовження експлуатації порохів в 2 рази.

**Ключевые слова:** пороховий заряд, нітроцелюлозний порох, баллістическі характеристики, геронтологічні зміни, регенерація зарядів, післярегенераційний період.

O. Anipko, D. Baulin

### **EXPEDIENT REGENERATION PERIODS FOR NITROCELLULOSE POWDER CHARGES WITH LONG SHELF LIFE AND THE DURATION OF THE POST-REGENERATION PERIOD OF THEIR LIFE CYCLE**

Currently, a problem in many countries of the world is the presence in arsenals, bases and warehouses of a large number of various ammunition that are beyond the guaranteed storage period. The lack of ammunition production capacity in Ukraine has led to the fact that currently there are ammunition in use whose storage time exceeds 30 years.

An analysis of the research showed that after 25 years of storage, due to changes in the energy characteristics of the powder charge, changes occur in the ballistic characteristics of the weapon, which cannot be corrected by introducing amendments to the firing settings. The question arises about the advisability of using such ammunition, both in accurately performing fire missions and operating weapons in general, and in the field of personnel safety.

The complex problem of assessing the state of charges is shown, associated with the lack in the state of a reliable system for monitoring the state of powder charges of ammunition, the development of technology for their regeneration, disposal and the possibility of using it for its intended purpose. The first of these problems is key, since the further extension of the life cycle of ammunition depends on its results.

Experimental studies have confirmed that changes in the chemical composition of nitrocellulose powders are observed during long-term storage. The change in color of the powder elements confirms the chemical reactions occurring in them with a gradual decrease in their mass.

It is presented that during the regeneration process the mass of the powder charge increases by 3 % by saturating the nitrocellulose with hydrogen.

The priority time frames for when regeneration gives the maximum effect are graphically shown.

Analyzing the results of the study, using the ammunition operation model, it was proposed for the first time to use a period after regeneration in the life cycle of powder charges, which makes it possible to determine the time of expedient restoration of the characteristics of gunpowder. It will fluctuate a little for different batches of gunpowder, but, with reasonable probability, its time frame can be determined at 25–27 years.

It is predicted that it will be possible to technologically increase the effect of regeneration to 5 %. This will correspond to the restoration of properties to the level of guaranteed operation and a further extension of the operation of the gunpowder by 2 times.

**Keywords:** powder charge, nitrocellulose powder, ballistic characteristics, gerontological changes, regeneration of charges, post-regeneration period.