

УДК 623.522

О. Б. Аніпко, Д. С. Баулін

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПЛИВУ ТЕРМІНІВ ЗБЕРІГАННЯ БОЄПРИПАСІВ НА ЇХ БАЛІСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Викладені теоретичні основи впливу термінів зберігання боєприпасів на балістичні характеристики стрілецької зброї.

Постановка проблеми. Однією із проблем національної безпеки України є наявність різноманітних боєприпасів з вичерпаним гарантійним строком зберігання, тисячі тонн яких на цей час зберігаються на базах та арсеналах МО і МВС України.

Досвід зберігання боєприпасів показує, що їх чутливість до зовнішніх впливів із закінченням гарантійного строку зберігання (ГСЗ), підвищується, що пов'язане зі змінами властивостей порохових зарядів, якими споряджені боєприпаси.

Негативними аспектами зберігання боєприпасів з післягарантійними строками зберігання є невідповідність їх балістичним характеристикам зброї, небезпека спонтанного загоряння та вибуху, ймовірність завдання збитків озброєнню та особовому складу при їх застосуванні за призначенням.

У процесі тривалого зберігання піроксилінові пороху, які використовуються в боєприпасах ствольних систем, здатні самовільно розкладатися і зазнавати різних фізико-хімічних перетворень. Ці зміни мають місце, як у суто фізичних процесах (масоперенесення, випаровування, поглинання вологи), так і фізико-хімічних процесах (рекристалізація, ексудація), що негативно позначається на балістичних властивостях порохів, які можуть змінитися настільки, що практичне застосування боєприпасів стане небезпечним і неможливим.

При визначенні строку придатності пороху (його довговічності) необхідно враховувати відрізок часу, протягом якого пороху та заряди після виготовлення будуть зберігати свої властивості, що забезпечують тактико-технічні характеристики озброєння. У зв'язку із цим, однією з основних вимог, що визначають придатність порохів до застосування, є достатня стійкість (стабільність), тобто здатність протягом тривалого часу зберігати незмінними свої фізико-хімічні властивості. Тривалість зберігання боєприпасів визначає їх кількість на базах (складах) і обсяги виробництва нових.

Метою статі є визначення вимог до інформації, що підлягає аналізу в органах управління внутрішніх військ, а також аналіз засобів і джерел інформації та даних, які можна від них отримати.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Сьогодні не існує методів прогнозування властивостей піроксилінових порохів, строк експлуатації яких більше 5 років, також відсутня модель експлуатації боєприпасів, строк експлуатації яких більше 10 років. Саме тому задачі про зміну властивостей порохів набувають першорядного значення, вони визначають строки експлуатації боєприпасів взагалі.

Виклад основного матеріалу. Від стабільності порохів залежить незмінність їх фізико-хімічних, а, отже, і балістичних властивостей.

Балістичні якості піроксилінових порохів визначаються сукупністю властивостей: працездатністю, формою порохових елементів, швидкістю горіння і оцінюються величинами початкової швидкості кулі, максимального тиску порохових газів і середнього відхилення початкової швидкості при стрільбі з тієї або іншої зброї [1 – 3].

Здатність порохів забезпечувати сталість цих величин у процесі тривалого зберігання і при стрільбі в різних умовах називають балістичною стабільністю порохів. Вона тісно пов'язана з їх фізичною і хімічною стійкістю. Порохи, що відрізняються високою фізичною або хімічною стійкістю, будуть також і балістично стабільними [2].

Балістична стабільність піроксилінових порохів обмежена через випаровування розчинника і вологи. Зміни у компонентах пороху супроводжуються істотною зміною його балістичних властивостей. При зміні змісту летких речовин у поросі на 1 %, швидкість горіння змінюється на 12 %, тиск порохових газів – на 15 %, початкова швидкість кулі – на 4 % [1].

Балістична стабільність має вирішального значення у визначенні строку експлуатації порохів.

Найголовнішими факторами, що забезпечують здатність до тривалого зберігання є: склад та якість вихідних матеріалів, спосіб виробництва, домішки в поросі, умови зберігання.

З тривалістю зберігання пов'язані питання необхідних виробничих потужностей порохових заводів і система контролю за станом порохів. Однак визначення гарантійних строків безпечного зберігання порохів та їх експлуатаційної придатності є надзвичайно важкою проблемою. Наявні відомості [2, 3] про стан порохів при тривалому зберіганні не мають надійної інформації обчислення тривалості їх безпечного зберігання.

При тривалому зберіганні відбувається розклад пороху. За певних умов розклад хімічно нестійкого пороху може протікати настільки швидко, що відбувається його загоряння [1, 3].

Прискоренню розкладу пороху сприяє підвищення температури навколишнього середовища. Нагрівання пороху на 5 °С прискорює процес у 1,5 – 2 рази [1]. Присутність вологи в невеликих кількостях прискорює процес гідролітичного розпаду, більш небезпечного, ніж термічний розклад [2].

У процесі тривалого зберігання при підвищених температурах у порохах зменшується кількість розчинника, що супроводжується зниженням їх енергетичних і балістичних характеристик [3, 4].

Для забезпечення безпеки під час виробництва, зберігання, військової експлуатації, бойового застосування, чутливість порохів до зовнішніх впливів повинна мати певні межі.

Малостійкі порохи є економічно не вигідними, тому що потребують частого оновлення бойового запасу, вони також становлять значну небезпеку. Відомі випадки, коли самозагоряння пороху супроводжувалося людськими втратами, а іноді призводило до великих катастроф [1].

Потреба загальновійськової армії у боєприпасах тільки до стрілецької зброї на наступальну операцію становить 10 тис. т [3]. Задовольнити її під час бойових дій можливо лише за наявності сировинної бази, достатніх виробничих потужностей, простій і безпечній технології виготовлення порохів [2, 3, 5].

Наразі Україна не має на своїй території заводів з виробництва боєприпасів до стрілецької зброї. Запаси боєприпасів у арсеналах і на складах досить великі, але строки їх зберігання більше ніж 15 – 20 років [5 – 8]. У зв'язку із цим актуальними є задачі дослідження порохових зарядів боєприпасів із тривалими строками зберігання та вплив зміни їх фізико-хімічних властивостей на балістичні характеристики стрілецької зброї.

Піроксилінові високоазотисті порохи містять азот, що є хімічно нестійким елементом, який вступає в автокаталітичну реакцію з іонами ОН повітря і є причиною того, що за будь-яких умов зберігання, у нітроцелюлозних порохах (НЦП) відбувається автокаталітична реакція. На її швидкість впливають температура, вологість, площа поверхні порохового елемента, а також умови зберігання. Саме зміна швидкості автокаталітичної реакції є причиною виникнення проблеми оцінювання стану порохового заряду.

Проблема зміни фізико-хімічних властивостей порохів металевих зарядів стосується практично всіх об'єктів озброєння (рис. 1), оскільки дотепер теплота, що виділяється при згорянні порохів, є джерелом енергії, необхідної для доставляння кулі, снаряда, ракети до цілі.



Рис. 1. Масштаб проблеми старіння порохових зарядів в цілому

Однією з умов забезпечення мобілізаційної готовності військ є створення необхідного запасу боєприпасів. Рішення цієї задачі базується на використанні порохів і зарядів з певним строком експлуатаційної придатності.

Під строком експлуатаційної придатності (довговічністю) варто розуміти відрізок часу, протягом якого порох і заряди після виготовлення зберігають свої балістичні характеристики, чим

забезпечуються тактико-технічні характеристики зброї. Економічно виправданим є використання лише таких порохів і зарядів, строк експлуатації яких становить десятки років (20 – 30 і більше) [2].

Відомо [1 – 3], що всі піроксилінові пороху за природою компонентів є хімічно нестійкими системами, тому в процесі експлуатації зазнають фізичних і хімічних перетворень. Однією з найважливіших проблем комплексного оцінювання властивостей порохів і зарядів є прогнозування їх змін на тривалий час та визначення на цій основі гарантійних строків їх експлуатаційної придатності, а також видів і строків чергових випробувань.

Найбільш об'єктивно ця задача вирішується за допомогою аналізу статистичних даних про зміну властивостей порохів під час експлуатації в природних умовах. Спостереження за НЦП ведуть вже близько 90 років [2]. За цей час накопичено чимало статистичного матеріалу, що дозволяє за результатами визначення фізико-хімічних показників методом порівняння встановлювати орієнтовні строки експлуатації порохів і зарядів. При цьому загальний строк придатності НЦП може досягати 20 років [2].

Балістичними характеристиками пороху є величини, від яких залежать найбільший тиск порохових газів p_m і швидкість наростання тиску $\frac{dp}{dt}$ при згорянні пороху. До таких величин віднесені: сила пороху, швидкість його горіння, коволом порохових газів. На рис. 2 наведені фактори, що впливають на балістичні характеристики порохів.

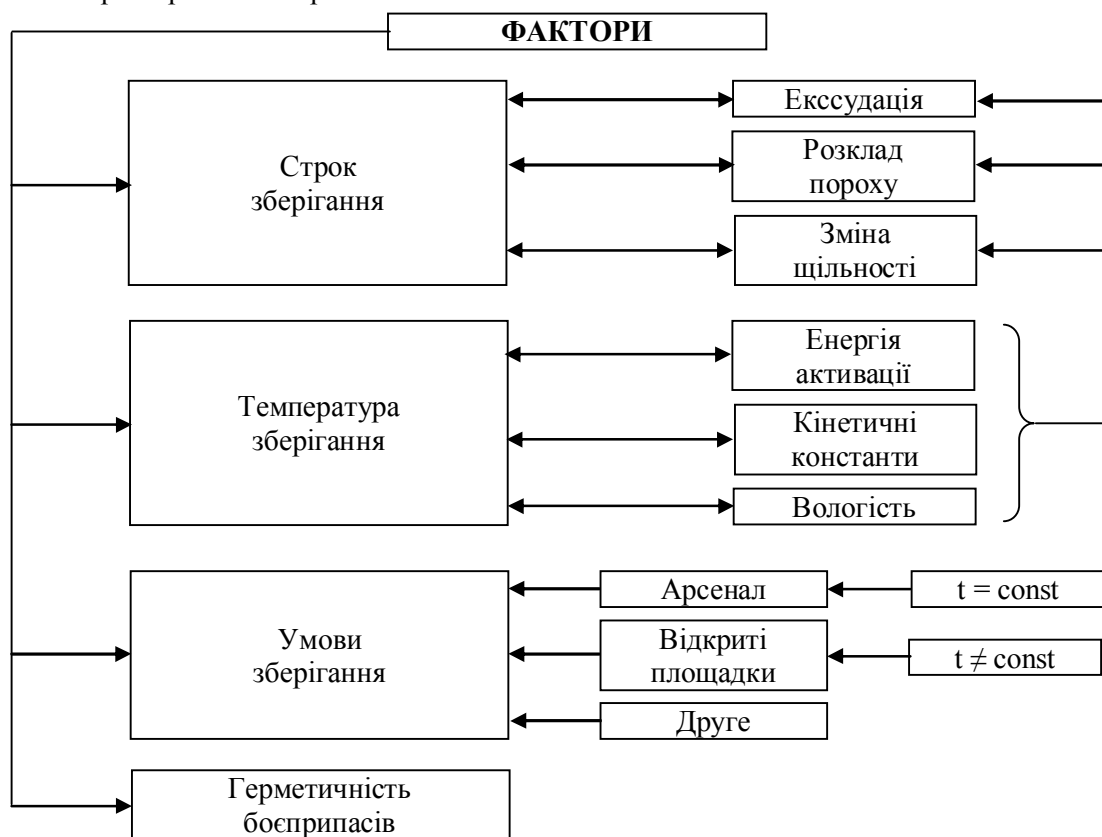


Рис. 2. Фактори, що впливають на характеристики порохів

Фізико-хімічна стабільність порохових зарядів визначається факторами, найважливішими з яких є строк зберігання, температура і умови зберігання боеприпасів [1].

У процесі тривалого зберігання змінюється щільність пороху і, відповідно, його міцність, при великих строках зберігання відбувається розклад пороху з повною втратою балістичних властивостей.

Чим більше враховувати факторів, що впливають на балістичні характеристики порохів, тим можливо одержати більш точні методи оцінювання і прогнозування стану боеприпасів при тривалих строках експлуатації. Проте через складність явища пострілу не всі його процеси можна врахувати навіть приблизно. Деякі з них доводиться не вводити в математичні залежності, що описують зв'язок між окремими процесами явища пострілу.

При тривалому зберіганні боеприпасів відбувається зміна сили пороху, швидкості його горіння та

щільності, а, отже, й маси заряду. Остання прямо зв'язана із щільністю пороху, тому було визнано доцільним визначити перші три параметри та їх зміну як функцію від строку експлуатації боєприпасів.

За зміною початкової швидкості кулі необхідно визначити фізико-хімічні характеристики порохів, тому що методи хімічного і фізичного дослідження порохів недосконалі, потребують більших витрат часу, проведення великої кількості експериментів.

У зв'язку з цим має місце постановка оберненої задачі внутрішньої балістики: підібрати такі умови заряджання і порохові константи, при яких дана куля буде мати початкову швидкість, яка визначена експериментально для боєприпасів відповідного строку зберігання. Обернена задача внутрішньої балістики припускає безліч розв'язків.

Через некоректність постановки оберненої задачі та недостатньо повне знання і дослідження явища пострілу, однією з головних задач внутрішньої балістики є точне визначення констант, головним чином, пороху, з урахуванням його фізико-хімічної природи. Визначення констант пороху пов'язане з уточненням методики досліду визначення тиску, за величиною якого встановлюють балістичні характеристики [9 – 10].

Кількість вихідних даних для розв'язання оберненої задачі внутрішньої балістики невелика. Необхідну величину початкової швидкості кулі можна забезпечити різними способами: вибором марки пороху, змінами його маси, щільності, параметрів патрона або ствола. Тому обернена задача практично завжди має багато варіантів розв'язання, які задовольняють вихідним даним.

Для практичного розв'язання оберненої задачі внутрішньої балістики велике значення мають наближені або спрощені методи розв'язання основних задач [9, 11 – 13].

Основні процеси, що відбуваються у першому періоді пострілу, описуються рівняннями:

– енергії (рівняння Резаля)

$$p = \frac{f_{I\Pi\Pi\Pi} \cdot \frac{k - l\varphi}{2} qv^2}{s(l_{\Pi} + l)}; \quad (1)$$

– газоутворення

$$\frac{d\Pi}{dt} = \frac{S_I c_n}{\Pi} u(p) \bar{S}(\Pi); \quad (2)$$

$$\Pi = x_3 z (1 - \lambda_3 z); \quad (3)$$

– швидкості горіння

$$u = u_1 p. \quad (4)$$

З аналізу рівнянь (1 – 4) можна зробити висновок, що вони поєднують сім невідомих змінних, тому їх недостатньо для одержання розв'язку. Наведені рівняння можна доповнити рівняннями, що описують рух центра мас кулі у каналі ствола під дією сили тиску порохових газів:

$$q \frac{dv}{dt} = ps = F; \quad (5)$$

$$qv \frac{dv}{dl} = ps = F. \quad (6)$$

Проаналізувавши систему рівнянь (1 – 6), можна встановити, що вона поєднує незалежні змінні: тиск p , швидкість V , шлях кулі l , відносний об'єм згорілого порохового зерна Ψ , відносну товщину згорілого шару порохового зерна Z , швидкість горіння пороху u , час τ , а також вихідні параметри, що характеризують умови заряджання. Вибираючи одну зі змінних як аргумент, можна розв'язати систему шести рівнянь і визначити значення шести інших змінних, виразивши їх як функції цього аргументу.

Відносна глибина прогорання зерна Z_0 і відносна маса згорілого пороху Ψ_0 до моменту часу τ можуть бути визначені в результаті розв'язання системи рівнянь:

$$p_0 = \frac{f_{I\Pi_0\Pi_0}}{s l \Psi_0}; \quad (7)$$

$$\Psi_0 = x_3 z_0 \cdot (1 - \lambda_3 z_0). \quad (8)$$

У процесі розв'язання системи рівнянь (1 – 6), доповненої вихідними даними, що відомі заздалегідь

і обумовлені розв'язанням рівнянь (7) та (8), можуть бути отримані значення балістичних елементів першого періоду пострілу як функції однієї з незалежних змінних.

Розв'язок даної системи рівнянь може бути отриманий методом професора Дроздова [9] і методом професора Вентцеля [11].

Доповнюючи систему рівнянь (1 – 6)

$$f\left(\frac{l_{\text{ств}}}{d}\right) = \text{const}, \quad (9)$$

оскільки це справедливо для заданого зразка стрілецької зброї. Систему рівнянь (1 – 6, 9) можна розглядати як замкнуту, отже, обернена задача внутрішньої балістики зводиться до визначення умов заряджання за початковою швидкістю кулі (V_0).

Гаранійний строк зберігання боєприпасів до стрілецької зброї без зміни фізико-хімічних властивостей пороху становить приблизно 10 років [1], після чого у порохів відбуваються зміни їх властивостей.

При формулюванні оберненої задачі внутрішньої балістики приймаємо такі припущення: $V_0 = V_d$; $p_m = \text{const}$; $l_m = \text{const}$.

Максимальний тиск порохових газів і функцію $p(x)$ у стрілецькій зброї експериментально визначити не вдається внаслідок малого об'єму зарядної камори і неможливості помістити у ній крешер. Препарування ствола для визначення $p(x)$ є окремою науково-технічною задачею, вирішення якої пов'язане з низкою проблем. Тому приймаємо таке припущення:

$$\int_0^{l_d} p(l) dl = p_{\text{ср}} l_d. \quad (10)$$

Формулу для обчислення середнього тиску у каналі ствола наведено у [9, 13]

$$p_{\text{ср}} = \frac{qV_d^2}{2sl_d}, \quad (11)$$

де $p_{\text{ср}}$ [Па] – середній тиск у каналі ствола; φ – коефіцієнт фіктивності; q [кг] – маса кулі; V_d [м/с] – дульна швидкість кулі; s [м²] – площа поперечного перерізу каналу ствола; l_d [м] – шлях кулі по каналу ствола.

Коефіцієнт фіктивності знаходимо за формулою:

$$\varphi = K + \frac{l \omega}{3q},$$

де $K = 1,10$ (для стрілецької зброї); ω [кг] – маса порохового заряду; q [кг] – маса кулі.

Підставляючи значення $p_{\text{ср}}$ у формулу (10), отримаємо

$$\int_0^{l_d} p(l) dl = \frac{qV_d^2 l_d}{2sl_d} = \frac{\varphi q V_d^2}{2s}. \quad (12)$$

Визначення зміни характеру залежностей V та p від l та τ утруднено, для цього внутрішній балістиці є спеціальні поправочні формули.

Вони мають такий загальний вигляд [13]:

$$\frac{dV_0}{V_0} = l_x \frac{dX}{X};$$

$$\frac{dp_m}{p_m} = m_x \frac{dX}{X},$$

де l_x та m_x – поправочні коефіцієнти; $\frac{dX}{X}$ – зміна однієї з характеристик.

Під час тривалого зберігання боєприпасів відбувається зміна кількості легких речовин у порохових зарядах. Внаслідок цього змінюються балістичні характеристики пороху, а також тиск порохових газів і швидкість кулі. Зміна початкової швидкості кулі при зміні кількості легких речовин у порохових зарядах визначається залежністю:

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = l_H (\Delta H) \% .$$

Площа між кривою тиску і віссю абсцис (рис. 3) дорівнює корисній роботі, зробленій при спалюванні пороху. З урахуванням прямопропорційного зв'язку між теплотворною здатністю пороху Q і силою пороху (f_1) та з урахуванням (12) будемо вважати

$$f_1 \approx \frac{qV_d^2}{2s} . \quad (13)$$

Для дослідження закону утворення газів і визначення величини тиску як функції від довжини ствола і часу застосовуються манометричні бомби. В Україні, у Державному НДІ хімічних продуктів (м. Шостка), є одна така манометрична бомба.

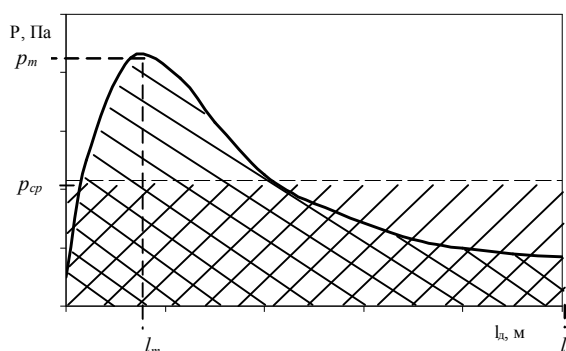


Рис. 3. До формулювання оберненої задачі внутрішньої балістики

Перевагою розробленого методу оцінювання і прогнозування фізико-хімічних властивостей порохів за величиною початкової швидкості кулі є саме можливість його використання в умовах військових полігонів.

Розрахунок балістичних характеристик зброї є прямою задачею піродинаміки.

Відомо, що застосування боєприпасів із тривалими строками зберігання спричинює погіршення балістичних характеристик зброї, а саме початкової швидкості кулі [2 – 3]. Однак у процесі розрахунку балістичних та енергетичних характеристик зброї зміни фізико-хімічних властивостей боєприпасів не враховуються [2, 3, 9, 11, 13].

Такий підхід виправданий у випадку застосування для стрільби боєприпасів, строк експлуатації яких не перевищує 5 – 10 років [2]. В Україні, яка не має на своїй території підприємств, що виготовляють боєприпаси, є велика кількість патронів до стрілецької зброї. Проте строки їх експлуатації складають понад 15 років [8]. Використання таких патронів може бути причиною збільшення погрішностей при стрільбі.

З огляду на тісний взаємозв'язок фізико-хімічних властивостей боєприпасів і балістичних характеристик зброї, можна зробити висновок, що зміна початкової швидкості кулі неможлива без зміни залежностей $V(l)$ та $p(l)$, які, у свою чергу, впливають на величину такої важливої балістичної характеристики зброї, як максимальний тиск порохових газів.

Для розрахунку початкової швидкості кулі скористаємося методом проф. Н. Ф. Дроздова [9].

Балістичні характеристики зброї визначаються із системи рівнянь, у яку входять:

– основне рівняння піродинаміки

$$ps(l_{ш} + l) = f_{шпш} - \frac{И}{2} qV^2 ; \quad (14)$$

– закон руху кулі

$$ps = \varphi q \frac{dV}{d\phi} = \varphi q V \frac{dV}{dl} ; \quad (15)$$

– закон швидкості горіння пороху

$$u = \frac{de}{d\phi} = u_1 p; \quad (16)$$

– закон утворення порохових газів

$$u = \chi z \cdot (1 + \lambda z), \quad (17)$$

де p [Па] – тиск порохових газів; S [м²] – площа поперечного перерізу каналу ствола; l_ψ [м] – зведена довжина вільного об'єму зарядної камори; l [м] – шлях кулі в момент згорання частини заряду ψ ; f [Дж/кг] – сила пороху; ω [кг] – маса порохового заряду; ψ – частка згорілого заряду; Θ – параметр розширення порохових газів; ϕ – коефіцієнт фіктивності; q [кг] – маса кулі; V [м/с] – швидкість кулі; u [м/с·Па] – швидкість горіння пороху; e [м] – товщина згорілого шару порохового зерна; τ [с] – час; u_1 [м/с·Па] – швидкість горіння пороху при атмосферному тиску; z – відносна товщина згорілого шару порохового зерна; χ і λ – характеристики форми порохового зерна.

Сукупність рівнянь (14 – 17) дозволяє розв'язати основну математичну задачу – знайти залежності $p(l)$, $V(l)$, $p(\tau)$, $V(\tau)$ і, зокрема, максимальний тиск порохових газів та початкову швидкість кулі.

У внутрішній балістиці для порівняння зразків зброї, а також для вибору деяких параметрів у процесі проектування застосовують енергетичні характеристики [9, 13]:

– гранична швидкість кулі

$$V_{\text{гран}} = \sqrt{\frac{2f\psi\omega}{\phi\omega q}}$$

– коефіцієнт корисної дії зброї

$$r_d = \omega \frac{qV_d^2}{2f\psi}$$

– коефіцієнт використання одиниці маси заряду

$$z_{\text{ш}} = \frac{qV_d^2}{2\psi}$$

– коефіцієнт використання робочого об'єму ствола

$$z_d = \frac{\phi q V_d^2}{2W_d p_{\text{max}}}$$

У вирази зазначених енергетичних характеристик входять дульна швидкість кулі, маса порохового заряду та сила пороху, які залежать від строків експлуатації боеприпасів.

Задачі балістичних характеристик наявних металевих зарядів і обчислення зміни властивостей порохів можуть бути вирішені на основі комплексного застосування експериментальних методів і оберненої задачі внутрішньої балістики.

Застосовувані експериментальні методи повинні бути простими і доступними, відрізнятися єдністю методичної бази. Ними можна вважати експериментальне визначення початкової швидкості V_0 і крешерного тиску $p_{\text{кр}}$, які можливо виконати у військових частинах за наявного матеріально-технічного забезпечення.

На основі таких експериментальних даних за умови, що конструктивні параметри ствольної системи відомі, після розв'язання оберненої задачі внутрішньої балістики можуть бути обчислені сила пороху f , його теплотворна здатність Q_v і швидкість горіння u_1 .

Розв'язання прямої задачі припускає визначення на основі співвідношень $p = f(l)$; $V = f^l(l)$; $\rho_a = Ft$ та $V = F^l(t)$ найбільшого тиску p_{max} і дульної швидкості V_d . Як відомо, навіть ця задача у разі деяких припущень і спрощень [9], може бути розв'язана тільки напівемпіричними методами. Обернена задача за своєю постановкою є некоректною, оскільки конкретній парі параметрів $p_{\text{кр}}$ та V_0 може відповідати безліч варіантів комбінацій конструктивних параметрів ствольної системи і умов заряджання. Той факт, що заряд застосовується у конкретній ствольній системі, суттєво полегшує розв'язання оберненої задачі, оскільки конструктивні параметри і частково умови заряджання відомі.

Однак навіть у такому випадку систему рівнянь необхідно довізначити, щоб одержати однозначний результат, оскільки, як відзначається у [14], аналітично розв'язати обернену задачу внутрішньої балістики не можливо. Можна говорити лише про якісне погодження даних, отриманих розрахунковим шляхом (навіть для математично суворого рішення) з дослідними даними.

Висновки

Більш прості рішення і більш зручні формули, отримані на основі низки припущень із застосуванням коефіцієнтів погодження, дають результати, які задовільно погоджуються з дослідними і можуть бути цілком прийнятними для розв'язання конкретної прикладної задачі.

Для боєприпасів, які знаходяться в експлуатації, актуальною є задача визначення стану порохового заряду на основі експериментальних даних про початкову швидкість кулі за умови, що конструктивні характеристики даного зразка стрілецької зброї відомі.

Із цього виникає необхідність проведення експериментального дослідження впливу строку експлуатації боєприпасів на початкову швидкість кулі і максимальний тиск з метою одержання емпіричних залежностей $V(\tau)$, $p(\tau)$ для конкретних зразків або видів озброєння.

Список використаних джерел

1. Горст А. Г. Пороха и взрывчатые вещества / А. Г. Горст. – М.: Машиностроение, 1972. – 208 с.
2. Шагов Ю. В. Взрывчатые вещества и пороха / Ю. В. Шагов. – М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1976. – 120 с.
3. Взрывчатые вещества и пороха / [Будников М. А., Левкович Н. А., Быстров И. В., Сиротинский В. Ф., Шехтер Б. И.] – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1955. – 364 с.
4. Окунев Б. Н. Определение баллистических характеристик пороха и давления форсирования / Б. Н. Окунев. – М.-Л.: Гостехиздат, 1943. – 92 с.
5. Нікітюк В. О. Миротворча діяльність у Європі: еволюція міжнародно-правових та інституціональних засад // Наука і оборона. – 2001. – № 3. – С. 36 – 44.
6. Справочные данные. Миротворческие операции ООН в 2002 году // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 3. – С. 15 – 16.
7. Лутовинов В. И. Морозов Ю. В. Предотвращение и урегулирование конфликтов посредством миротворческой деятельности / В. И. Лутовинов, Ю. В. Морозов // Военная мысль. – 2001. – № 1. – С. 12 – 17.
8. Гриненко О. І., Денежкін М. М. Деякі проблеми перспективного планування розвитку Збройних Сил України // Наука і оборона. – 2001. – № 3. – С. 31 – 35.
9. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика / М. Е. Серебряков. – М.: Оборонгиз, 1949. – 670 с.
10. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика / М. Е. Серебряков, К. К. Гретен, Г. В. Оппоков. – М.: Оборонгиз, 1939. – 592 с.
11. Вентцель Д. А. Внутренняя баллистика / Д. А. Вентцель. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1948. – 414 с.
12. Граве И. П. Внутренняя баллистика / И. П. Граве. – Л.: Издание Артиллерийской академии РККА, 1938. – 362 с.
13. Кириченко В. Д. Баллистика / В. Д. Кириченко. – Л.: ЛВАИУ, 1957. – 209 с.
14. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет / М. Е. Серебряков. – М.: Оборонгиз, 1962. – 703 с.

Стаття надійшла до редакції 08.10.2009 р.