

УДК 623.4:623.5



О. М. Крюков



Р. С. Мельніков



О. М. Горбов

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КАНАЛІВ СТВОЛІВ ТА БОЄПРИПАСІВ НА ОСНОВІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛІСТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОСТРІЛУ

Обґрунтовано структуру та склад експериментальної установки з визначення балістичних елементів пострілу, здійснено вибір програмного та апаратного забезпечення для реєстрації вимірювальної інформації. Запропоновано методика проведення експериментальних досліджень з перевірки адекватності удосконаленої математичної моделі пострілу. Наведено приклад ходу та підсумки експериментальних досліджень для окремого сполучення виду зброї і наявного дефекту каналу ствола. Розглянуто результати експериментальних досліджень та проведено їх аналіз.

К л ю ч о в і с л о в а: канал ствола, боєприпаси, металевий заряд, технічний стан, моделювання процесу пострілу, балістичний елемент пострілу, експериментальні дослідження, балістична установка.

Постановка проблеми. Обґрунтованість висновків за результатами дослідження зв'язку балістичних елементів пострілу з технічним станом каналів стволів і боєприпасів значною мірою залежить від адекватності математичного моделювання процесу пострілу з урахуванням типових дефектів каналів стволів та металевих зарядів. Тому адекватність математичної моделі пострілу, яка створюється для розв'язання рівнянь внутрішньої балістики, має бути досліджена та ретельно перевірена [1, 2]. Крім того, важливе значення має дослідження меж застосовності методу діагностування технічного стану каналів стволів та боєприпасів на основі ідентифікації характеристик балістичних елементів пострілу [3]. Ці проблемні питання, зумовлені обмеженнями аналітичних методів розв'язання диференціальних рівнянь, можуть бути ефективно вирішені традиційним шляхом – проведенням експериментальних досліджень.

Аналіз публікацій. Як відзначено у публікаціях [4–7], застосування удосконалених моделей пострілу при його моделюванні дає можливість враховувати дефекти каналів стволів (роздуття, стирання), а також деградацію металевих зарядів боєприпасів. Однак у відомих джерелах [8–13] не міститься інформація щодо емпіричних досліджень працездатності удосконаленої математичної моделі пострілу, а також не висвітлюється питання щодо експериментального підтвердження застосовності методу діагностування технічного стану каналів стволів та боєприпасів, що ґрунтується на ідентифікації характеристик балістичних елементів пострілу. Автори праць в галузі експериментальної балістики, наприклад [14–18], не розглядають питання отримання балістичних елементів пострілу для зразків зброї, які містять дефекти каналу ствола.

Таким чином, науково-методичні основи експериментальної перевірки адекватності удосконаленої математичної моделі пострілу і дослідження застосовності методу діагностування технічного стану каналів стволів та боєприпасів до ствольних систем на основі ідентифікації характеристик балістичних елементів пострілу на цей час не отримали належного відображення у відомих літературних джерелах.

Метою статті є викладення методики і результатів експериментальних досліджень адекватності удосконаленої математичної моделі пострілу та застосовності зазначеного методу діагностування технічного стану каналів стволів та боєприпасів до ствольних систем.

Викладення основного матеріалу. Для проведення дослідів використано експериментальну установку, основу якої складає балістична вимірювальна система «Prototyра» в модифікації STZA 12A [19, 20].

Балістична вимірювальна система (БВС) «Prototyра STZA 12A» призначена для випробовування зразків зброї і вимірювання балістичних параметрів, зокрема тиску порохових газів у каналі ствола (КС) та початкової швидкості металевих елементів (МЕ) при здійсненні пострілів із зразків озброєння боєприпасами калібрів від 5,45 мм до 14,5 мм, а також для проведення випробувань боєприпасів за допомогою вимірювальних балістичних стволів та балістичного затвора UZ-2002. Загальна компоновка БВС наведена на рис. 1.

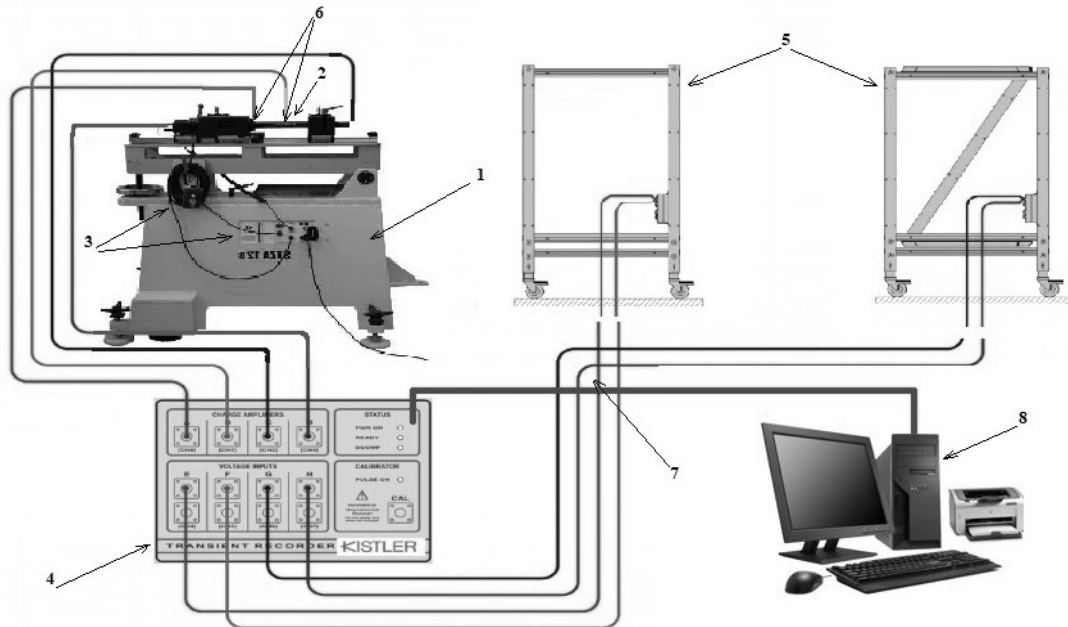


Рисунок 1 – Загальна компоновка БВС «Prototyра STZA 12A»

Балістична система «Prototyра STZA 12A» складається з таких елементів: 1– мобільний стрілецький стенд STZA 12A; 2 – дослідний зразок зброї або балістичний затвор UZ-2002 та вимірювальні балістичні стволи; 3 – спеціальні приналежності (адаптери для кріплення зброї, рухомі кронштейни, блоки електроніки STZA-E/1, STZA-E/2, STZA-E/3, пристрій дистанційного ведення вогню «REFICO»); 4 – балістичний аналізатор ВА04S; 5 – стандартна пересувна атмосферна оптична рамка WLS03; 6 – п'єзоелектричні датчики тиску Kistler 6215; 7 – з'єднувальні кабелі; 8 – програмне забезпечення, встановлене на ПЕОМ.

У проведенні експерименту використано зразки зброї, які раніше застосовувалися для дослідження внутрішньо- та зовнішньобалістичних параметрів озброєння бойових машин (рівня шуму та яскравості спалаху при пострілі, сили віддачі та ін.), тому в них виконано різьбові отвори для встановлення датчиків тиску порохових газів. З часом, із збільшенням настрілу виконаних пострілів, канали стволів цих зразків набули дефектів, зокрема у вигляді роздуття або стирання. При цьому дані зразки зброї, втративши певну частку зовнішньобалістичних характеристик, свої механічні якості (стосовно роботи частин та механізмів) зберегли.

Нижче розглядатиметься приклад компонування експериментальної установки, до складу якої входив 7,62-мм кулемет Калашникова танковий, що мав дефект у вигляді роздуття КС поблизу його казенної частини.

За допомогою мікрометричного триточкового нутроміра за ТУ 3934-022-81515140-2015 / ТУ 3934-023-81515 (похибка вимірювання 0,001 мм, верхня межа діапазону вимірювань 300 мм) були визначені параметри роздуття каналу ствола: відстань до початку дефектної ділянки $l_{\text{поч}}$; відстань до середини ділянки $l_{\text{сер}}$; відстань до кінця дефектної ділянки $l_{\text{кін}}$; відхилення радіуса КС на середині дефектної ділянки $h_{\text{сер}}$. Таким чином, за допомогою даного зразка зброї під час експериментальних

досліджень проводилося відтворення процесу пострілу за наявності роздуття КС з одночасною реєстрацією значень тиску порохових газів.

Для вимірювання тиску порохових газів при пострілі в канал ствола вгвинчені п'єзоелектричні датчики Kistler 6215 (див. рис. 1). Підключення цих датчиків до балістичного аналізатора ВА04S виконано за допомогою спеціальних з'єднувальних кабелів типу 1631C2.

Дульна швидкість МЕ реєструється пересувною атмосферною оптичною рамкою WLS03 (див. рис. 1), встановленою на певній відстані від дульного зрізу КС та за допомогою відповідних кабелів підключеною до балістичного аналізатора ВА04S. Після проведення пострілу куля пролітає через лицьовий (розташований ближче до дульного зрізу КС) створ оптичної рамки, яка видає на ВА04S команду «СТАРТ», а, пролітаючи через тильну частину рамки, – команду «СТОП». За командами «СТАРТ» і «СТОП» балістичний аналізатор ВА04S вимірює часовий інтервал, протягом якого куля долає відому відстань, здійснює обчислення швидкості польоту кулі та передає інформацію на ПЕОМ.

Балістичний аналізатор ВА04S (див. рис. 1) призначений для фіксації результатів балістичних випробувань (значень тиску порохових газів та дульної швидкості МЕ), перетворення електричного сигналу, його підсилення, первинного оброблення та передавання на ПЕОМ. Опрацьовані на ПЕОМ дані про тиск порохових газів та дульну швидкість можуть зберігатися, виводитися на монітор у вигляді графіків і таблиць або на принтер.

Програмне та апаратне забезпечення БВС містить повний набір засобів для вимірювання балістичних елементів пострілу. Інтерфейс і управління системою при виконанні експериментальних або калібрувальних робіт забезпечують комп'ютер (ПЕОМ) і прикладні програми «ВА Control V8.0_2010-07-07» та «QC04 / QC Control Software V1.0_2002-12-19».

Також розроблено методику проведення експериментальних досліджень, яка дозволяє здійснити інструментальне визначення та реєстрацію балістичних елементів пострілу для зразка КС з дефектом, їх співставлення з балістичними елементами пострілу, отриманими на основі застосування удосконаленої моделі пострілу, та аналіз отриманих результатів.

Методика досліджень передбачає проведення таких етапів.

Перший етап – встановлення параметрів дефекту (роздуття) каналу ствола ($l_{\text{поч}}, l_{\text{сер}}, l_{\text{кін}}, h_{\text{сер}}$) та подальша їх імплементація в удосконалену математичну модель пострілу [3, 4]. Це реалізується шляхом підстановки скорегованого значення ψ^* відносної частини пороху, що згорів, у математичну модель пострілу для вибраного значення параметра $r=r_l$ [5, 6]. Проводиться математичне моделювання процесу пострілу з урахуванням наявності дефекту з відомими параметрами шляхом чисельного розв'язання рівнянь внутрішньої балістики [7]. У результаті отримують залежність тиску порохових газів від часу $p_p(t)$, що відповідає явищу пострілу зі ствола, який має даний дефект.

Також за результатами математичного моделювання процесу пострілу визначається дульна швидкість $v_{\text{д.р.}}$.

Другий етап – підготовка експериментальної установки до проведення вимірювань. Він складається з таких операцій:

– налаштування механічної частини експериментальної установки (встановлення зразка зброї у тримачі балістичного затвора UZ-2002, вгвинчування датчиків тиску порохових газів Kistler 6215, наведення зброї на ціль, заряджання, приєднання електроспуску та пристрою дистанційного ведення вогню «REFICO» тощо);

– налаштування електричної частини експериментальної установки (виконання електричних з'єднань частин установки);

– запуск програмного забезпечення, встановлення періоду дискретизації вимірювальних сигналів t_e .

Третій етап – проведення експериментальних пострілів із зразка озброєння з наявним дефектом каналу ствола та отримання даних про балістичні елементи пострілу у вигляді залежності $p_e(t)$ і значення дульної швидкості $v_{\text{д.е.}}$. На цьому етапі порядок дій такий.

У програмній оболонці БВС активується процес балістичного випробування, відбувається перехід програмних компонентів установки в автоматичний режим. При цьому вплив людини на роботу установки та процес реєстрації отриманих даних до кінця процесу пострілу виключається. Програмне забезпечення генерує подання сигналу на балістичний аналізатор ВА04S, котрий видає електричний імпульс на спрацювання важільного електромеханізму виконання пострілу, відбувається процес пострілу. Датчики тиску Kistler 6215 вимірюють, а балістичний аналізатор ВА04S реєструє значення

тиску порохових газів p_e із попередньо заданим періодом дискретизації часу t_e . Стандартна пересувна атмосферна оптична рамка WLS03 реєструє значення дульної швидкості $v_{д.е.}$ після перетинання МЕ дульного зрізу. По закінченню процесу пострілу балістичний аналізатор передає отримані значення $p_e(t)$ та $v_{д.е.}$ до ПЕОМ для подальшого зберігання і оброблення інформації.

Для зменшення впливу випадкових факторів на результати експерименту проводиться п'ять пострілів боєприпасами однієї партії. Для обмеження впливу температури на результати експерименту між пострілами витримується час, достатній для охолодження ствола до температури повітря у приміщенні, при цьому температура ствола і боєприпасів перед кожним пострілом контролюється.

Результатами виконання даного етапу експерименту є отримання автоматично зареєстрованих вимірювальних даних у табульованому вигляді та у вигляді кривих залежностей $p_{e,i}(t)$ ($i = \overline{1,5}$) і відповідних значень $v_{д.е.i}$ ($i = \overline{1,5}$) для кожного з п'яти реалізованих пострілів. Програмна оболонка балістичної установки дозволяє експортувати табульовані результати випробовувань до інших програмних оболонок (наприклад до табличного процесора Microsoft Excel).

Четвертий етап – порівняння залежності $p_p(t)$ та дульної швидкості $v_{д.р.}$, отриманих шляхом математичного моделювання процесу пострілу, з експериментально визначеними залежностями $p_{e,i}(t)$ ($i = \overline{1,5}$) і значеннями дульної швидкості $v_{д.е.i}$ ($i = \overline{1,5}$). Перед порівнянням результатів експерименту здійснюється осереднення п'яти отриманих кривих $p_{e,i}(t)$ ($i = \overline{1,5}$) та побудова осередненого графіка $p_e(t)$. Для наочного порівняння експериментальних даних з даними моделювання обидва графіки $p_p(t)$ та $p_e(t)$ наносять на один рисунок.

Для визначення кількісних характеристик відхилення розрахункових даних від експериментальних обчислюється зведене відхилення за формулою

$$\gamma(p) = \frac{p_p - p_e}{p_{m.e.}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

де $p_{m.e.}$ – осереднений максимальний тиск порохових газів у каналі ствола.

Графік відхилення також долучається до матеріалів аналізу.

Використовуючи методику проведення експерименту, описану вище, було виконано експериментальні дослідження.

За результатами вимірювань параметрів внутрішньої поверхні КС визначено параметри роздуття казенної частини каналу ствола 7,62-мм кулемета Калашникова танкового ($l_{поч} = 52$ мм, $l_{сер} = 70$ мм, $l_{кін} = 88$ мм, $h_{сер} = 0,9$ мм).

Виконано апроксимацію пошкодженої ділянки КС [5, 6] тригонометричною функцією (ділянкою синусоїди) та отримано її опис:

$$h = 0,45 + 0,45 \cdot \sin(0,349 \cdot l - 25,98), \text{ мм} \quad (2)$$

Імплементовано опис роздуття (2) в математичну модель пострілу за методикою, детально розглянутою в статтях [5, 6], та отримано графік залежності $p_p(t)$, що відповідає явищу пострілу зі ствола, який має роздуття (див. рис. 2).

За результатом математичного моделювання визначено розрахункову дульну швидкість металюного елемента $v_{д.р.} = 797$ м/с.

Виконано п'ять експериментальних пострілів та отримано табульовані значення тиску порохових газів p_e ($i = \overline{1,5}$) з кроком за часом 10^{-5} с. Боєприпаси, що були використані для проведення експерименту, – 7,62×54-мм патрони гвинтівкові ЛПС – 5 шт. Для зручності проведення подальших досліджень табульовані значення $p_e(t)$ ($i = \overline{1,5}$) скопійовано до табличного процесора Microsoft Excel та побудовано криві залежностей $p_{e.1}(t)$, $p_{e.2}(t)$, $p_{e.3}(t)$, $p_{e.4}(t)$, $p_{e.5}(t)$ для кожного пострілу окремо, після чого суміщено графіки залежностей на одному рисунку (див. рис. 3).

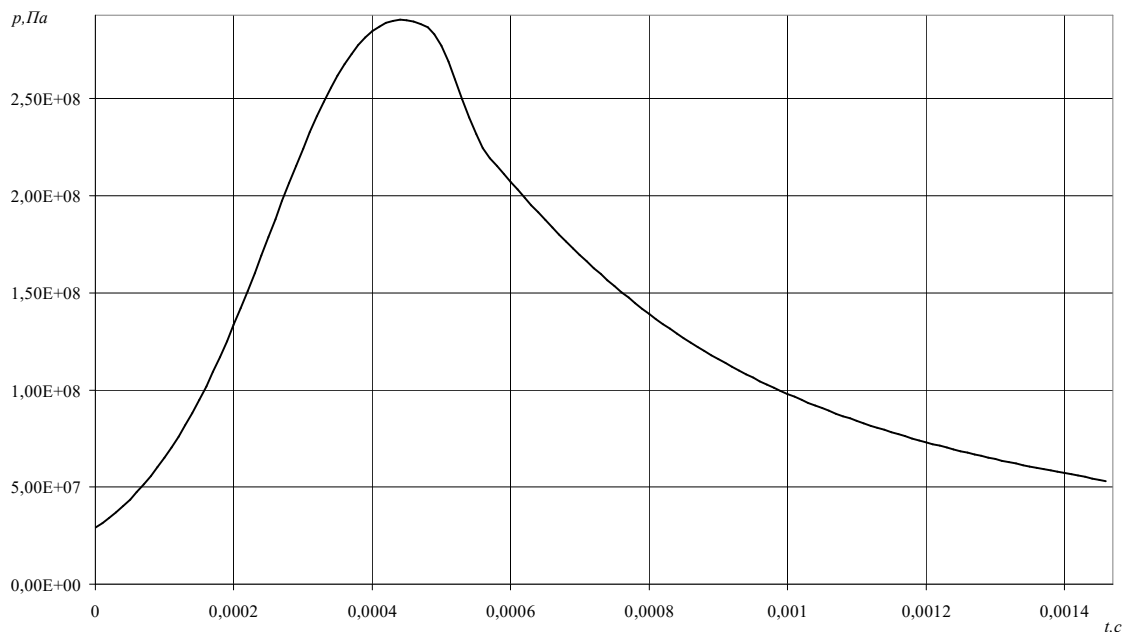


Рисунок 2 – Графік залежності $p_p(t)$

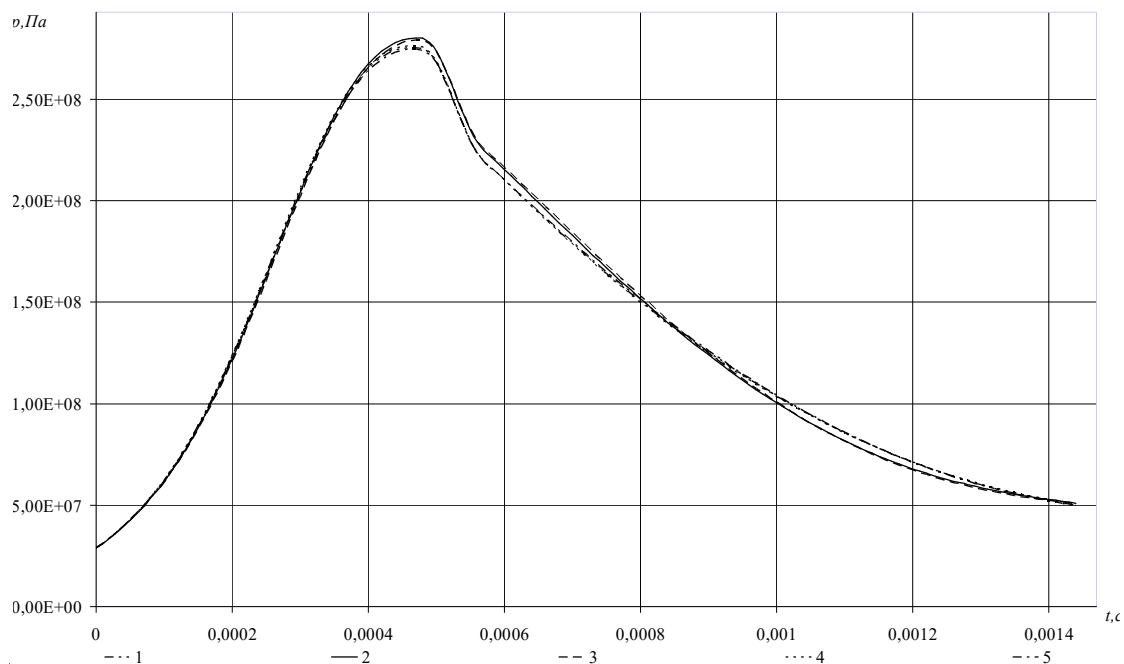


Рисунок 3 – Графіки залежності $p(t)_{e.i.} (i = \overline{1, 5})$

Визначено та зареєстровано відповідні значення дульних швидкостей: $v_{д.е.1} = 791$ м/с, $v_{д.е.2} = 788$ м/с, $v_{д.е.3} = 789$ м/с, $v_{д.е.4} = 789$ м/с, $v_{д.е.5} = 788$ м/с.

Проведено осереднення залежностей $p_{e.i.}(t) (i = \overline{1, 5})$ (див. рис. 4).

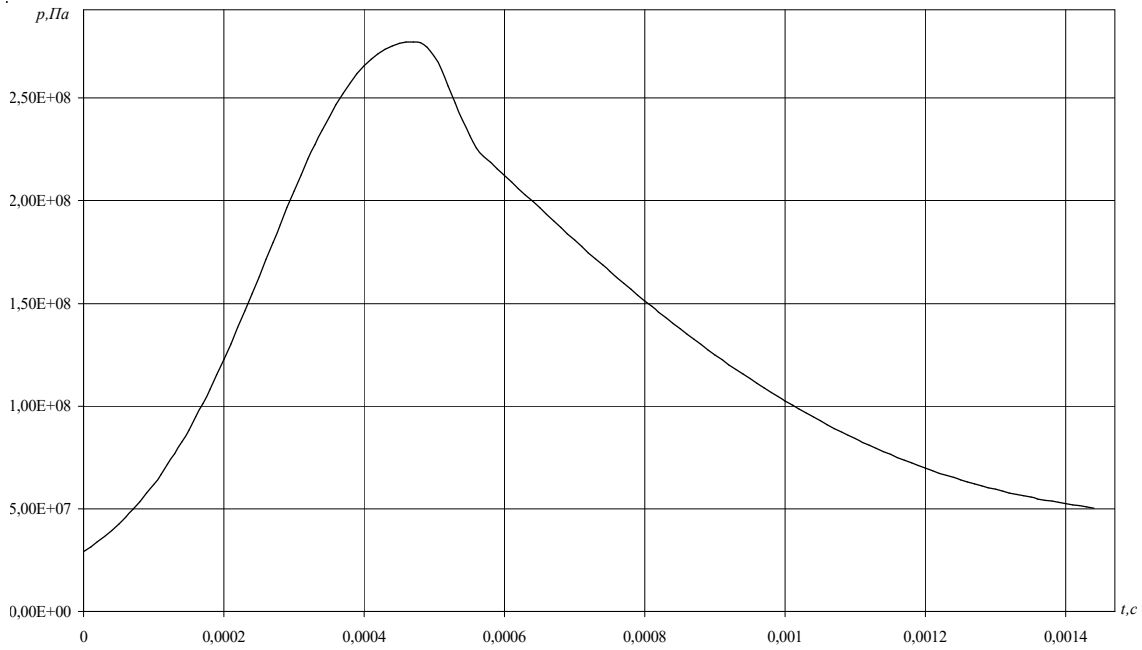


Рисунок 4 – Осереднена залежність $p_{e.ср.}(t)$

Осереднений графік залежності $p_{e.ср.}(t)$ нанесено на один рисунок (рис. 5) з графіком залежності $p_p(t)$.

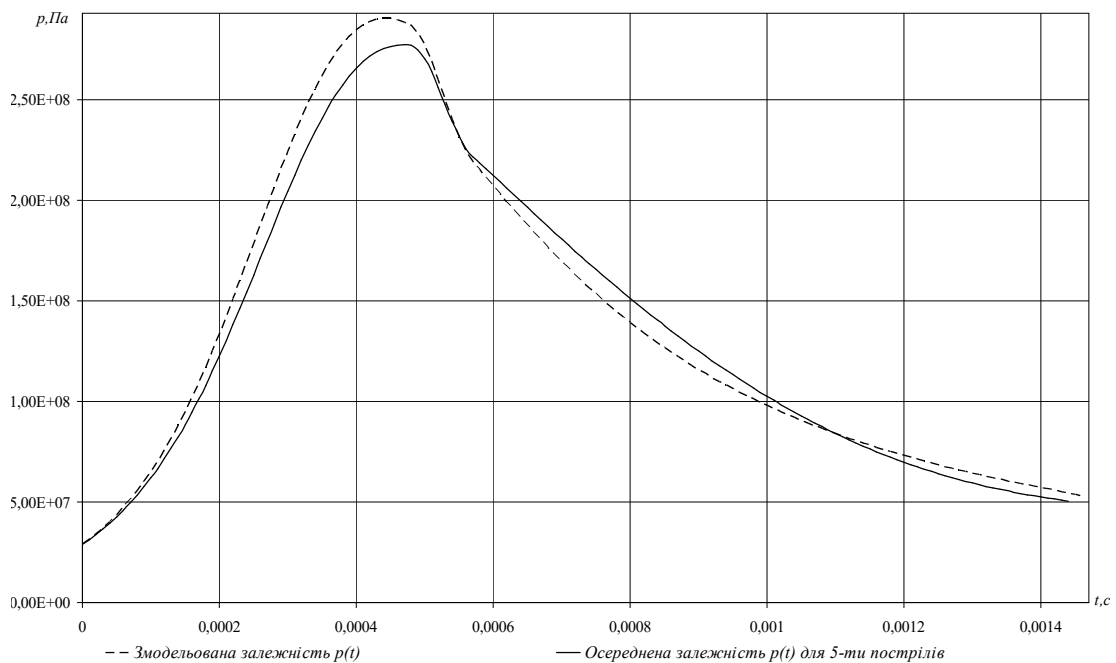


Рисунок 5 – Графік $p_{e.ср.}(t)$ та графік $p_p(t)$

Відзначимо, що причини певних відмінностей кривої $p_p(t)$ від кривої $p_{e.ср.}(t)$ можуть полягати у такому:

- наявність припущень при проведенні математичного моделювання;
- наявність похибок вимірювань параметрів за допомогою балістичної установки (похибки датчика тиску та ін.);

– розкид параметрів боєприпасів, що були використані для проведення експерименту (зокрема внаслідок незначної зміни енергетичних параметрів пороху під час довготривалого зберігання).

Втім, такі відмінності не перешкоджають досягненню мети експериментальних досліджень та не викривлюють висновків за їх результатами.

Графік відхилення кривої залежності $p_{e.сер.}(t)$ від кривої $p_p(t)$, побудований згідно з виразом (1), наведено на рис. 6.

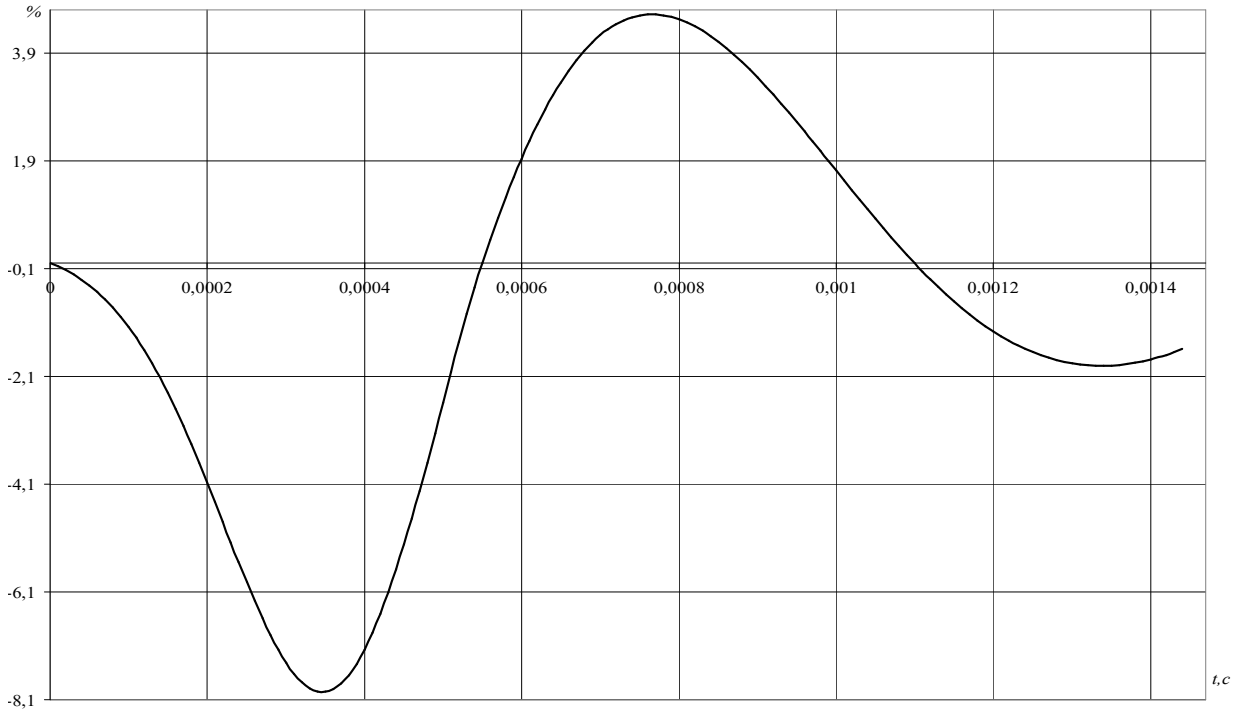


Рисунок 6 – Графік функції $\gamma(p)$

Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить, що зведене відхилення $\gamma(p)$ перебуває в діапазоні від $-7,95\%$ до $+4,61\%$, що для внутрішньої балістики традиційно вважається цілком прийнятним діапазоном значень [21, 22, 23].

Порівняння значення дульної швидкості $v_{d.p.}$ (797 м/с) з дульними швидкостями $v_{e.i.}$ ($i = \overline{1, 5}$) (791 м/с, 788 м/с, 789 м/с, 789 м/с, 788 м/с) показує, що відхилення не перевищує 1,2 %.

Також рис. 4, 5 ілюструють можливість діагностування дефекту КС, а саме: з вигляду графіка $p_{e.сер.}(t)$ можна відзначити, що роздуття в межах казенної частини КС призвело до падіння («провалу») тиску порохових газів на ділянці очікуваного його максимуму, внаслідок чого швидкість горіння пороху уповільнилась, а тривалість пострілу (його першого періоду) збільшилась.

Таким чином, результати експерименту підтверджують адекватність удосконаленої математичної моделі пострілу. Також можна стверджувати, що метод діагностування технічного стану каналів стволів та боєприпасів до ствольних систем на основі ідентифікації характеристик балістичних елементів пострілу є цілком застосовним для контролю технічного стану озброєння.

Висновки

За результатами експерименту отримано дані у вигляді кривих залежностей тиску порохових газів та дульних швидкостей металевих елементів для кожного з п'яти реалізованих у серії пострілів. Такі дані дозволили порівняти реальний перебіг процесу пострілу зі зброї, що має дефект КС, з моделлю пострілу, отриманою аналітичним шляхом.

Відмінність (зведене відхилення) між теоретичними та експериментальними даними не перевищує 8 % для тиску порохових газів і 1,2 % – для дульної швидкості МЕ, що є цілком прийнятним для задач внутрішньої балістики.

Таким чином, експериментальним шляхом підтверджено адекватність запропонованої удосконаленої математичної моделі пострѣлу. Встановлено, що метод діагностування технічного стану каналів стволів та боеприпасів до ствольних систем на основі ідентифікації характеристик баллистических елементів пострѣлу є цілком застосовним на практиці для контролю технічного стану озброєння.

Перелік джерел посилання

1. Крюков О. М., Мудрик В. Г. Перспективи експериментального визначення баллистических елементів пострѣлу. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків, 2013. Вип. 1 (21). С. 21–24.
2. Крюков О. М., Александров О. А. Шляхи підвищення точності моделювання внутрішньобаллистических процесів. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків, 2009. Вип. 1 (13). С. 11–14.
3. Крюков О. М., Мельников Р. С., Музичук В. А. Метод діагностування технічного стану каналів стволів та боеприпасів на основі ідентифікації характеристик баллистических елементів пострѣлу. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2018. Вип. 2 (32). С. 5–12.
4. Modeling of the process of the shot based on the numerical solution of the equations of internal ballistics / О. М. Kriukov et al. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. № 5 (97), pp. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155357>.
5. Крюков О. М., Мельников Р. С. Математичне моделювання процесу пострѣлу з урахуванням роздуття каналу ствола вогнепальної зброї як засіб впливу на ефективність виконання службово-бойових завдань силами безпеки. *Честь і закон*. 2020. № 2 (73). С. 61–73.
6. Крюков О. М., Мельников Р. С. Математичне моделювання процесу пострѣлу для експлуатаційного діагностування стирання внутрішньої поверхні каналу ствола під час виконання завдань забезпечення державної безпеки. *Честь і закон*. 2021. № 1 (76). С. 46–57.
7. Крюков О. М., Біленко О. І., Мельников Р. С. Діагностування технічного стану каналів стволів та боеприпасів на основі ідентифікації характеристик баллистических елементів пострѣлу : монографія. Харків : НА НГУ, 2021. 115 с.
8. Михайлов К. В. Экспериментальная баллистика. Приборы и методы баллистических измерений. Москва, 1976. 388 с.
9. Горохов М. С. Внутренняя баллистика ствольных систем : монография. Москва : ЦНИИ информации, 1985. 160 с.
10. Баллистика ствольных систем / В. В. Бурлов и др. Москва : Машиностроение, 2006. 464 с.
11. Беневольский С. В., Бурлов В. В., Козаковцев В. П. Баллистика : учебник. Пенза : ПАИИ, 2005. 510 с.
12. Шкворников П. Н. Экспериментальная баллистика. Reprint : ВТС, София, 1976. 392 с.
13. Орлов Б. В., Ларман Э. К., Маликов В. Г. Устройство и проектирование ствольных артиллерийских орудий. Москва : Машиностроение, 1976. 433 с.
14. Медведева Н. П. Экспериментальная баллистика. Ч. 1. Методы измерения давления. Томск : ТГУ, 2006. 148 с.
15. Крюков О. М. Дослідна установка для вимірювання миттєвих значень тиску в каналах стволів стрілецької зброї та артилерійських систем. *Метрологія та прилади*, 2011. № 4 (30). С. 62–67.
16. Longbridge J. A. Internal ballistics. Forgotten books, 2017. 284 p.
17. Kapur J. N. A Note on the Solution of the Equations of Internal Ballistics for the General Linear Law of Burning. *Proceedings of Indian National Science Academy*. 1958. Vol. 24, Issue 3. pp. 226–229.
18. Wilson J. A. A new approach for service life evaluation of gun propellant. Naval surface warfare center. Crane division. 1998. 10 p.
19. Нормативные и технические документы, устанавливающие требования к системе баллистической измерительной «Прототипа 2010/2269/E1». Описание типа средств измерений. Новосибирск, 2015. 8 с.
20. Система измерительная баллистическая «Прототипа 2010/2269/E1». Методика поверки МП 058-30007. Новосибирск, 2015.
21. Дмитриевский А. А., Лысенко Л. Н. Внешняя баллистика. Москва : Машиностроение, 2005. 608 с.

22. Крюков О. М., Біленко О. І., Мудрик В. Г. Формування вимог до точності експериментального визначення миттєвих значень швидкості руху металевих елементів. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків, 2014. Вип. 1. С. 6–9.

23. Лысенко Л. Н. Внешняя баллистика : учебное пособие. Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. 330 с.

Стаття надійшла до редакції 30.04.2022 р.

UDC 623.4:623.5

O. Kriukov, R. Melnikov, O. Horbov

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE METHOD AND MEANS OF DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF THE CHANNELS OF BARRELS AND AMMUNITION BASED ON THE IDENTIFICATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE BALLISTIC ELEMENTS OF THE SHOT

An experimental study of the adequacy of advanced mathematical models of the shot, which are based on solving the equations of internal ballistics, is proposed. The structure and composition of the experimental setup are substantiated, the choice of software and hardware for registration of measuring information in the course of research is made.

The experimental setup is based on the ballistic measuring system "Prototypa" in the modification of STZA 12A, and also includes samples of weapons that have acquired defects with known parameters, in particular, in the form of swelling or abrasion of the barrel.

A method of conducting experimental research to verify the adequacy of an improved mathematical model of the shot is proposed. The method involves mathematical modeling of the firing process taking into account the presence of a defect with known parameters by numerically solving the equations of internal ballistics and further implementation of experimental shots from a sample of weapons with a defect in the barrel channel and obtaining data on real ballistic elements.

An example of the course of experimental research for a separate combination of the type of weapon and the existing defect of the barrel. According to the results of the experiment, data for each of the weapon samples were obtained in the form of curves of powder gas gases and muzzle velocities of methane elements for a series of shots.

The results of experimental researches are stated and their analysis is carried out. A comparison of the actual course of shots from a weapon containing a defect in the barrel channel with the corresponding models of shots obtained analytically.

Conclusions on the adequacy of the improved mathematical model of the shot and the practical applicability of the method of diagnosing the technical condition of barrels and ammunition to barrel systems based on the identification of the characteristics of ballistic elements of the shot in the implementation of technical weapons control.

Keywords: barrel channel, ammunition, metal charge, technical condition, modeling of the firing process, ballistic element of the shot, experimental research, ballistic installation.

Крюков Олександр Михайлович – заслужений працівник народної освіти України, доктор технічних наук, професор, професор кафедри оперативного та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0003-4194-6081>

Мельников Роман Сергійович – доктор філософії, начальник науково-організаційного відділу Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0003-3517-2040>

Горбов Олексій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри озброєння та стрільби Військового інституту танкових військ НТУ «ХП».

<https://orcid.org/0000-0002-8326-9413>