

УДК 623.44

О. М. Крюков, О. І. Біленко, В. Г. Мудрик

ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МИТТЄВИХ ЗНАЧЕНЬ ШВИДКОСТІ РУХУ МЕТАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА

Наведена актуальність задачі обґрунтування вимог до межі допустимої похибки вимірювання швидкості руху металюного елемента. Проведено чисельне моделювання процесів зношування стволів та деградації порохів. Запропоновано методичний підхід до встановлення залежності між відносним змінюванням тиску порохових газів та швидкістю руху металюного елемента, отримано вирази цих залежностей для конкретних зразків зброї.

К л ю ч о в і с л о в а: кінетична зброя, тиск порохових газів, дульна швидкість, відносна похибка.

Постановка проблеми та аналіз публікацій. На сьогодні найбільш розповсюдженим видом зброї є вогнепальна кінетична зброя, основною балістичною характеристикою якої є дульна швидкість (V_0) металюного елемента (МЕ). Дульна швидкість визначає такі бойові властивості зброї, як пробивна, зупиняюча, убивча та бічна дії, дальність прямого пострілу та дійсного вогню, гранична дальність польоту МЕ. Зменшення дульної швидкості погіршує вказані характеристики, а іноді змінює їх значення до неприйняттого рівня. Особливо помітним є вплив відхилення дульної швидкості від заданого значення на властивості кінетичної зброї не смертельної дії (КЗНД), кінетична енергія МЕ якої, на відміну від бойової зброї, регламентується більш жорстко. Це пояснюється необхідністю досягнення енергетичних характеристик МЕ такої зброї у певних межах, які забезпечують її дієвість та безпечність застосування [1].

Відхилення дульної швидкості від заданого значення може бути обумовлене низкою причин:

- природним розкидом параметрів зброї та боеприпасів до неї у межах допусків на виготовлення їх елементів;
- відхиленням параметрів атмосфери від нормальних значень;
- недосконалістю моделей пострілу, що використовують під час балістичного проектування зброї;
- зміною характеристик порохових зарядів внаслідок тривалого або неправильного зберігання боеприпасів;
- зміною характеристик зброї через зношування каналу ствола.

Методи розрахунку та врахування відхилень дульної швидкості від норми, обумовлених першими двома причинами, на сьогодні достатньо розвинуті [2, 3], отже, потреба в їх удосконаленні практично відсутня.

Удосконалення моделі пострілу, на основі якої отримують балістичні елементи пострілу, зокрема залежності тиску порохових газів p та швидкості руху v МЕ в функції від часу τ та шляху l МЕ ($p(\tau)$, $v(\tau)$, $p(l)$ та $v(l)$), є актуальним завданням. Вказані залежності використовуються для розрахунку ствола на міцність, розрахунків корпусу снаряда та деталей вузла запирання, проектування підричників, розрахунків кінематики і динаміки рухомих частин та енергії відбою, прогнозування ресурсу ствола тощо, отже, від їх адекватності залежить раціональність комплексу характеристик зброї [4, 5]. Таким чином, від адекватності моделі пострілу залежить якість розв'язування вказаних задач. Особливого значення уточнення моделі пострілу набуває у контексті КЗНД, для якої значення тиску порохових газів не перевищують $6 \cdot 10^7$ Па, тобто горіння заряду відбувається в умовах, коли залежність швидкості горіння пороху від тиску порохових газів не є лінійною [6]. Крім того, у КЗНД відсутні нарізи ствола, внаслідок чого енергія не витрачається на врізання МЕ в нарізи та надання МЕ кутової швидкості, також суттєво іншими є умови обтюрації, що може призводити до збільшення прориву порохових газів між МЕ та стінками ствола. В результаті значення коефіцієнта фіктивності для КЗНД та нарізної зброї можуть суттєво відрізнитися, що також впливає на форму залежностей $p(\tau)$, $v(\tau)$, $p(l)$ та $v(l)$.

Не менш цікавим прикладним питанням є дослідження стану боеприпасів у процесі їх зберігання. Для ідентифікації та кількісного оцінювання змін характеристик порохового заряду проводять дослідження, які передбачають використання манометричних бомб із засобами реєстрації залежності тиску від часу, а також практичні стрільби з вимірюванням максимального тиску порохових газів [7, 8]. До недоліків цих методів слід віднести неможливість відтворення у манометричній бомбі атмосфери, яка утворюється у зарядній камері унітарного патрона (пострілу) під час деградації пороху, та неможливість відтворення залежностей $p(\tau)$, $p(l)$ лише за інформацією про значення тиску форсування і максимального тиску порохових газів. Крім того, для стрілецької зброї вимірювання

тиску порохових газів пов'язане з невідомим руйнуванням зразка зброї внаслідок врізання датчика тиску в ствол, що у більшості випадків не є прийнятним.

Важливе практичне значення має оцінювання зносу каналів стволів вогнепальної зброї та прогнозування їх залишкових ресурсів. Існуючі методи ґрунтовані на вимірюванні геометричних розмірів каналу ствола або дульної швидкості МЕ [9, 10]. При цьому знос каналу ствола залежить від багатьох факторів, він не є однорідним по довжині та може відрізнятися за характером для різних одиниць однотипної зброї, що відбивається на значенні дульної швидкості МЕ. Моделювання прориву порохових газів між МЕ та стінками ствола (зокрема внаслідок зношування ствола) аналітичними методами не забезпечує потрібної точності розв'язування задачі. Тому встановлення зв'язку між геометрією ствола та дульною швидкістю доцільно здійснювати на основі визначення реальних залежностей тиску порохових газів та швидкості руху МЕ в функції від часу та шляху МЕ.

Таким чином, для створення і перевірки адекватності моделей пострілу та зношування стволів, а також з метою дослідження характеристик боеприпасів та стану стволів вогнепальної зброї корисно мати залежності $p(\tau)$, $v(\tau)$, $p(l)$ та $v(l)$, що отримані емпіричними методами. Саме такі експериментальні дані, отримані з деякою заданою гранично допустимою похибкою, є практично корисними та можуть бути використані для уточнення існуючих і створення нових моделей зазначених вище процесів. Отже, важливим є обґрунтування вимог до межі допустимої похибки вимірювання швидкості руху МЕ на основі відомих даних про відому похибку визначення параметрів кривої тиску та характеристики зразка зброї.

Мета статті – розроблення методичного апарата обґрунтування вимог до точності експериментального визначення миттєвих значень швидкості руху МЕ в каналі ствола на основі вихідної інформації про параметри зразка зброї та потрібну межу допустимої похибки визначення ординат залежності $p(\tau)$.

Викладення основного матеріалу. Слід зазначити, що швидкість МЕ залежить від сили тиску порохових газів, тобто залежності $p(\tau)$ та $p(l)$ є первинними по відношенню до залежностей $v(\tau)$ та $v(l)$. Тому існуючі методики передбачають визначення залежностей $v(\tau)$ та $v(l)$ на основі залежностей $p(\tau)$ та $p(l)$. Водночас зв'язок між p та v є однозначним, тобто на основі відомостей про залежності $v(\tau)$ та $v(l)$ можна розв'язати зворотну задачу – відновити залежності $p(\tau)$ та $p(l)$. Такий підхід має низку переваг, зокрема такі.

1. Зникає необхідність використання руйнівних методів визначення балістичних елементів пострілу.
2. Суттєво скорочується кількість вихідних даних для визначення $p(\tau)$ та $p(l)$, що має позитивно відбитися на достовірності отриманих результатів. Тиск порохових газів та швидкість руху МЕ зв'язує закон руху [11]:

$$ps = \phi m \frac{dv}{d\tau} \quad (1)$$

або

$$ps = \phi mv \frac{dv}{dl}, \quad (2)$$

тобто для знаходження $p(\tau)$ крім залежності $v(\tau)$ достатньо знати масу m МЕ, площу перерізу S каналу ствола та коефіцієнт фіктивності ϕ , які зазвичай відомі із заданою точністю.

3. Знаходження закону зміни тиску порохових газів за законом зміни швидкості руху МЕ дозволяє розв'язувати такі специфічні задачі, як визначення закону газотворення та на його основі уточнення значень сили пороху, швидкості його горіння та інших характеристик.

Експериментальне визначення залежностей $v(\tau)$ та $v(l)$ може бути реалізоване на основі вимірювання миттєвих значень швидкості руху МЕ в каналі ствола за допомогою спеціалізованого засобу вимірювання. Такий засіб має надавати вимірювальну інформацію, на основі якої може бути створений масив v_i , $i = \overline{1, n}$ миттєвих значень швидкості руху МЕ з деяким інтервалом дискретизації $\Delta\tau$. Але для забезпечення практичного застосування даних про $v(\tau)$ миттєві значення швидкості руху МЕ мають бути визначені з певною точністю, яка дозволить надалі розв'язати зворотну задачу: відновити залежність $p(\tau)$ також із заданою точністю. Однак на цей час не існує науково-методичного апарата, який дозволив би визначити вимоги до точності вимірювання швидкості руху МЕ відповідно до можливих варіантів подальшого застосування такої інформації.

Очевидно, що можливим шляхом аналітичного розв'язування зазначеної задачі є визначення співвідношення між δv та δp на основі виразів (1) або (2). Але такий підхід потребує висунення гіпотези про вигляд кривої швидкості та її апроксимування певною функціональною залежністю (наприклад, поліномом заданого степеня з наперед невідомими коефіцієнтами). Розв'язок може бути

отриманий лише на основі попереднього оцінювання (або уточнення) параметрів полінома, що неминуче веде до появи додаткової похибки, яку складно оцінити та врахувати в подальшому.

У зв'язку з цим доцільним уявляється застосування чисельного моделювання процесу руху МЕ під дією тиску порохових газів для встановлення взаємозв'язку між параметрами p та v на основі застосування апробованої моделі пострілу. З огляду на поставлене завдання, необхідно розглянути випадки відхилення балістичних елементів пострілу та балістичних характеристик зброї від заданих як наслідок зношування стволів та псування порохових зарядів під час зберігання. Для обґрунтування вимог до точності експериментального визначення миттєвих значень швидкості руху МЕ треба вибрати той з випадків, який відповідатиме меншому впливу p на v , бо саме він передбачає більш жорсткі вимоги до точності вимірювання швидкості руху МЕ за умов однакової допустимої похибки визначення тиску порохових газів.

Для зазначеного чисельного моделювання використана модель пострілу проф. М. Ф. Дроздова [11]. Знос каналів стволів змодельовано за допомогою зміни сили пороху f у меншу від номінального значення сторону, що імітувало збільшення прориву порохових газів між МЕ та стінками ствола. Діапазон зміни сили пороху вибрано таким чином, щоб максимальне спадання дульної швидкості відповідало 10 % значенню, яке є найбільшим з гранично допустимих відхилень для різних видів вогнепальної зброї [12]. Моделювання деградації пороху здійснено підвищенням швидкості горіння пороху u_1 з одночасним зменшенням його сили на величини, що наведені у монографії [13].

Серед результатів моделювання відрізняються ті, що відображають відносні змінювання швидкості δv та тиску δp залежно від змінювання параметра, що варіюється (f , u_1). Надалі визначається залежність між δp та δv , яка за необхідності може подаватися графічно або апроксимуватися аналітичним виразом.

Приклад результатів моделювання для 7,62-мм кулемета Калашникова модернізованого наведені на рис. 1 та 2.

За результатами аналізу даних моделювання та залежностей δp (δv), процеси деградації пороху і зношування каналу ствола супроводжуються відповідним взаємопов'язаним змінюванням кривих тиску та швидкості руху МЕ, зокрема зміщенням характерних точок цих кривих. При цьому відносному змінюванню максимального тиску δp відповідає пропорційне змінювання дульної швидкості δv . Залежності δp (δv) є лінійними, тобто добре апроксимуються функцією виду $\delta v = k \delta p$. Залежність δv від δp для випадку деградації пороху (рис. 1) апроксимується виразом $\delta v = -0,864 \delta p$, а залежність δv від δp для випадку зносу ствола (рис. 2) – виразом $\delta v = 0,551 \delta p$, причому числові коефіцієнти при δp мають розмірність $\text{м}^2/\text{с}/\text{кг}$.

Таким чином, для заданої гранично допустимої відносної похибки $\delta p_{\text{дон}}$ визначення ординат точок кривої тиску допустима відносна похибка $\delta v_{\text{дон}}$ вимірювання миттєвих значень швидкості руху МЕ (тобто відносна похибка “прив'язки” ординат кривої швидкості) має становити $\delta v_{\text{дон}} = k \delta p_{\text{дон}}$.

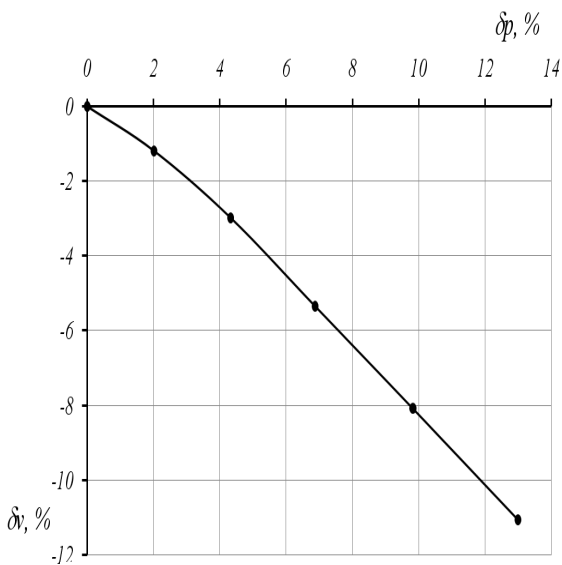


Рис. 1. Залежність δv від δp для випадку деградації пороху

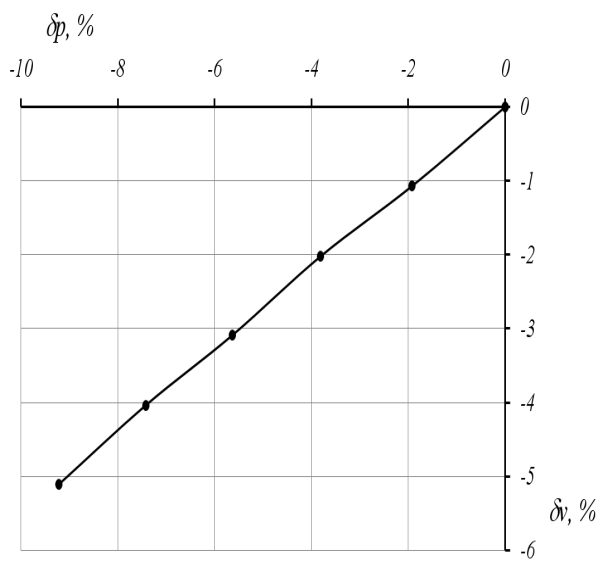


Рис. 2. Залежність δv від δp для випадку зносу ствола

Цікавим, на наш погляд, є завдання ідентифікації технічного стану зразка зброї та боеприпасів за розташуванням характерних точок кривої $p(\tau)$, що відповідають максимальному P_m та дульному P_0 тискам у каналі ствола. Наприклад, зносу ствола відповідає зниження значень P_m та P_0 , а у випадку деградації пороху (коли швидкість його горіння зростає, а сила зменшується) спостерігається підвищення P_m з одночасним спаданням P_0 щодо нормальних значень. Втім деталізована методика розв'язування такої задачі виходить за рамки цієї статті і є напрямом подальшого дослідження.

Висновки

1. Обґрунтування вимог до точності вимірювання швидкості руху МЕ в каналі ствола є важливим для виконання низки теоретичних та прикладних завдань.
2. За допомогою відомої моделі пострілу здійснено чисельне моделювання процесів зношування стволів та деградації порохів, зокрема впливу цих процесів на тиск порохових газів та швидкість МЕ.
3. Запропоновано методичний підхід до встановлення залежності між δp та δv , також виконано апроксимацію таких залежностей для конкретних зразків зброї.
4. Сформульовано методичний підхід до ідентифікації технічного стану зразка зброї та боеприпасів, який базується на кількісному оцінюванні зміщення точок максимального та дульного тиску від їх "еталонного" розташування.
5. Обґрунтовано напрям подальших досліджень, який передбачає знаходження зв'язку між допустимою відносною похибкою визначення координат точок кривої тиску та заданою достовірністю ідентифікації технічного стану зразка зброї і боеприпасів.

Список використаних джерел

1. Біленко, О. І. Формування вимог до розкиду дульних швидкостей металюних елементів кінетичної зброї [Текст] / О. І. Біленко // Збірник наукових праць Академії ВВ МВС України. – 2013. – Вип. 1 (21). – С. 16 – 20.
2. Поправочные формулы внутренней баллистики [Текст]. – София : ВТС, 1976. – 368 с.
3. Біленко, О. І. Вплив параметрів заряджання на початкову швидкість кулі [Текст] / О. І. Біленко, В. В. Афанасьєв // Вестник национального технического университета "ХПИ". – 2007. – № 11. – С. 33–37.
4. Чуев, Ю. В. Проектирование ствольных комплексов [Текст] / Ю. В. Чуев. – М. : Машиностроение, 1976. – 216 с.
5. Проектирование ракетных и ствольных систем [Текст] / Б. В. Орлов, Ю. И. Топчеев, В. Ф. Устинов и др. – М. : Машиностроение, 1974. – 828 с.
6. Афанасьєв, Ю. А. Внутренняя баллистика ствольных систем и ракетные двигатели твердого топлива [Текст] / Ю. А. Афанасьєв, Ф. П. Миропольский. – М. : ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1974. – 254 с.
7. Шкворников, П. Н. Экспериментальная баллистика: приборы и методы баллистических измерений [Текст] / П. Н. Шкворников, Н. М. Платонов. – София : ВТС, 1976. – 393 с.
8. Медведева, Н. П. Экспериментальная баллистика. Ч. 1. Методы измерения давления [Текст] / Н. П. Медведева. – Томск : Томский ун-т, 2006. – 172 с.
9. Гончаренко, П. Д. Современные средства контроля износа канала орудийного ствола [Текст] / П. Д. Гончаренко, В. Л. Хайков // Збірник наукових праць Академії військово-морських сил ім. П. С. Нахімова. – 2012. – № 1(9). – С. 22–30.
10. Козлов, В. И. Антология общего физического практикума [Текст] / В. И. Козлов. – М. : Физический факультет МГУ, 2009. – Ч. 1. – 248 с.
11. Серебряков, М. Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет [Текст] / М. Е. Серебряков. – М. : Оборонгиз, 1962. – 703 с.
12. Горст, А. Г. Пороха и взрывчатые вещества [Текст] / А. Г. Горст. – М. : Машиностроение, 1972. – 208 с.
13. Анипко, О. Б. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения [Текст] : монография / О. Б. Анипко, Ю. М. Бусяк. – Х. : Акад. ВВ МВС Украины, 2010. – 128 с.

Стаття надійшла до редакції 20.05.2014 р.