

УДК 623.5



О. М. Крюков



О. О. Мігура



Р. С. Мельніков



Г. В. Сілін

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОНАННЯ ВОГНЕВОГО ЗАВДАННЯ ВІД ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КАНАЛУ СТВОЛА ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ

Запропоновано методичний підхід до кількісного оцінювання впливу технічного стану каналу ствола на ефективність виконання вогневого завдання. Проведено дослідження залежності ефективності виконання вогневого завдання від окремих показників, що характеризують технічний стан каналу ствола.

Наведено приклади застосування запропонованого методичного підходу для конкретних зразків вогнепальної зброї. Визначено особливості кількісного оцінювання ефективності виконання вогневих завдань.

К л ю ч о в і с л о в а: канал ствола, технічний стан, дефект каналу ствола, ефективність виконання вогневого завдання, методичний підхід, початкова швидкість, зношування каналу ствола.

Постановка проблеми. У процесі експлуатації поверхневий шар металу каналу ствола (КС) будь-якого зразка вогнепальної зброї піддається комплексному механічному, тепловому, газодинамічному та хімічному впливам металевих елементів (МЕ) і порохових газів. Це призводить до зношування КС, його діаметр збільшується (особливо на початковій ділянці нарізної частини) [1, 2]. Результатом такого процесу є погіршення технічного стану (ТС) каналу ствола.

Як відомо, погіршення ТС КС зазвичай веде до зменшення початкової швидкості МЕ відносно її номінального значення. Фахівці пояснюють цей ефект таким чином [3, 4]. При унітарному заряджанні зменшення початкової швидкості МЕ зумовлюється зростаючим у міру зношування поверхні КС проривом порохових газів між МЕ та його стінками і відповідно спаданням середнього тиску порохових газів при пострілі. Для зброї з роздільним гільзовим та картузним зарядженням додається ще й ефект від збільшення початкового об'єму зарядної камери через її подовження. Однак в обох випадках зношування КС призводить до зменшення частки корисної роботи порохових газів, яка витрачається для надання МЕ кінетичної енергії.

Таким чином, часткова втрата кондицій та погіршення ТС КС (незалежно від причин цього явища) спричинює зменшення початкової швидкості МЕ, відповідну зміну балістичної траєкторії його польоту і пов'язане з цим відхилення точки влучення від точки прицілювання. Це негативно позначається на ймовірності влучення в ціль і знижує ефективності виконання вогневого завдання.

Незважаючи на достатньо широке висвітлення в літературі питань оцінювання впливу відхилень балістичних характеристик зброї на ймовірність влучення в ціль, залишається відкритою проблема систематизації різних підходів до визначення і урахування показників деградації КС та формування єдиного методичного підходу до кількісного оцінювання залежності ефективності виконання вогневого завдання від технічного стану КС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Опис процесу пострілу та причини спадання початкової швидкості МЕ викладені у низці праць. У публікаціях з внутрішньої балістики [5 – 8] моделювання процесу пострілу відбувається без урахування дефектів КС, тобто за ідеальних умов. У працях [9, 10] описується дослідження процесу пострілу з вогнепальної зброї з урахуванням дефектів (зношування, роздуття) шляхом оцінювання втрат порохових газів внаслідок їх прориву між стінками КС та МЕ, але в них не враховані втрати порохових газів на змінних за поперечним перерізом ділянках КС.

© О. М. Крюков, О. О. Мігура, Р. С. Мельніков, Г. В. Сілін, 2024

У статті [11] дістало розвитку математичне моделювання процесу пострілу за наявності роздуття КС та наведено математичну модель пострілу, в якій ураховано відповідну втрату енергії порохових газів. Авторами встановлено залежності спадання початкової швидкості снаряда від ступеня роздуття КС, але лише у якісному вигляді.

У таблицях стрільби [12] наведено дані про відносне зменшення початкової швидкості снаряда відповідно до подовження зарядної камери і табульовано дані про дальність польоту снаряда відповідно до зменшення початкової швидкості. Втім ця інформація не дає змоги оцінювати зазначені ефекти для довільних значень довжини зарядної камери та визначати ймовірність влучення в ціль за наявності зносу КС.

У праці [13] викладено основні відомості про методи оцінювання ефективності стрільби, а також розглядається науково-методичний апарат визначення ймовірності влучення в ціль. Крім того, автором пропонується низка показників ефективності стрільби, серед яких – ймовірність ураження цілі. Однак у цій праці не розглядаються питання впливу технічного стану КС на ймовірність влучення в ціль.

Отже, як свідчить проведений аналіз, у відомих джерелах інформації відсутнє систематизоване викладення методичних основ урахування впливу характеристик дефектів (пошкоджень) КС на ефективність виконання вогневого завдання.

Метою статті є обґрунтування методичного підходу до кількісного оцінювання впливу технічного стану КС на ефективність виконання вогневих завдань із застосуванням вогнепальної зброї.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо методичний підхід до дослідження, зокрема кількісного оцінювання впливу ТС КС на ефективність виконання вогневого завдання (ймовірність влучення в ціль).

Даний методичний підхід містить три складові, в яких послідовно і окремо піддаються аналізу:

- залежність зменшення початкової швидкості МЕ від ступеня зношування (прояву дефектів) КС;
- залежність відхилення точки влучення МЕ від зменшення його початкової швидкості;
- залежність ефективності виконання вогневого завдання від відхилення точки влучення МЕ.

Як відзначено вище, теоретичні основи встановлення зв'язку зменшення початкової швидкості МЕ від ступеня зношування КС (наприклад, шляхом математичного моделювання впливу зношування на початкову швидкість МЕ) на цей час не набули достатнього розвитку. Тому підхід до оцінювання впливу зношування КС на початкову швидкість МЕ може базуватися на емпіричних даних, які отримано для окремих зразків зброї та викладено в технічній документації або таблицях стрільб до неї.

Проведемо дослідження впливу зношування КС на початкову швидкість МЕ на прикладі одного з поширених зразків зброї – 122-мм гаубиці Д-30, для якої вихідні дані для аналізу можна взяти з таблиць стрільб [12].

Так, для даного зразка зброї у таблицях [12] табульовано інформацію про залежність відносного зменшення початкової швидкості (δ_{V_0} , %) від подовження зарядної камери (l_c , мм) внаслідок її зношування. Ця інформація з таблиці може бути опрацьована і подана у вигляді графіка, який наведено на рисунку 1.

Лінійна апроксимація цієї залежності дає функцію

$$\delta_{V_0} = 0,102 + 0,0612l_c \quad (1)$$

із значенням зваженого коефіцієнта детермінації 0,999, що свідчить про високу її якість та адекватність обраної лінійної залежності.

Застосування виразу (1) дозволяє оцінити відносне зменшення початкової швидкості внаслідок зношування КС для довільного подовження зарядної камери, а також прогнозувати вплив деградації КС на балістичні характеристики зброї на певний наступний період її бойового застосування.

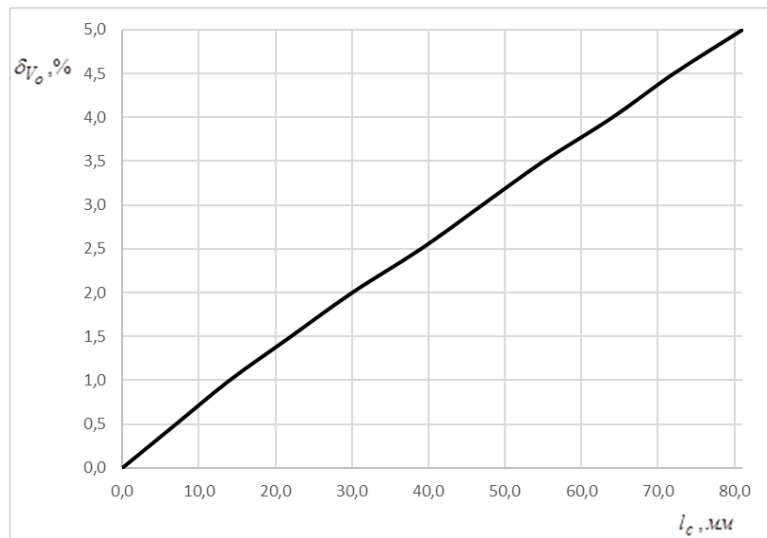


Рисунок 1 – Залежність відносного зменшення початкової швидкості від подовження зарядної камери Д-30

Аналогічні дослідження впливу ступеня зносу зарядної камери або інших частин КС на початкову швидкість МЕ можуть бути проведені для будь-яких зразків зброї за наявності такої інформації в таблицях стрільб, відомостях про випробування тощо.

Зменшення початкової швидкості МЕ веде до змінювання балістичної траєкторії польоту МЕ та відповідного відхилення точки влучення на певну відстань відносно точки прицілювання. Перш ніж визначити ймовірність ураження цілі для таких умов, необхідно встановити залежність відхилення точки влучення МЕ від зменшення його початкової швидкості та визначити методичний підхід для кількісного оцінювання такого відхилення.

Залежність відхилення точки влучення МЕ від зменшення його початкової швидкості може визначатися декількома способами.

Перший з них полягає у моделюванні балістичної траєкторії польоту МЕ із заданими характеристиками для відомого значення початкової швидкості. Вирішення цієї задачі базується на розв'язанні рівнянь зовнішньої балістики [14]. При цьому доцільним слід вважати застосування спеціалізованого програмного забезпечення у вигляді апробованих балістичних калькуляторів (наприклад, балістичний калькулятор Борисова [15]), що значно спрощує та прискорює розрахунки.

Другий спосіб полягає у застосуванні табличних даних, які заздалегідь отримані теоретичним або емпіричним шляхом (або їх поєднанням) і наведені в таблицях стрільб для певних зразків зброї.

Як приклад розглянемо залежності відхилення точки влучення по довжині ($\Delta x, \text{м}$) та висоті ($\Delta y, \text{м}$) від відносного зменшення початкової швидкості МЕ ($\delta_{V_0}, \%$) для таких зразків зброї: 122-мм гаубиця Д-30 (залежності отримано із застосуванням таблиці стрільб) та 7,62-мм снайперська гвинтівка СВД (залежності отримано із застосуванням балістичного калькулятора).

Для прикладів, що розглядаються, визначені залежності для різних відстаней стрільби D наведені на рисунках 2 та 3 відповідно.

Як можна бачити з графіків, отримані залежності є лінійними функціями відносного зменшення початкової швидкості, але є нелінійними функціями відстані стрільби.

Проведемо двовимірну апроксимацію цих залежностей. Для Д-30 отримаємо такий вираз (значення зваженого коефіцієнта детермінації дорівнює 0,990):

$$\Delta x = -37,8 + 16,5D - 1,03D^2 + 20,3\delta_{V_0} + 8,22D\delta_{V_0}. \quad (2)$$

Для СВД залежність визначається виразом (значення зваженого коефіцієнта детермінації дорівнює 0,999)

$$\Delta y = 0,234 - 1,16D + 1,19D^2 - 0,0692\delta_{V_0} + 0,260D\delta_{V_0}. \quad (3)$$

У виразах (2), (3) для зручності їх використання результати Δx , Δy виражено у метрах, значення D – у кілометрах, δ_{V_0} – у процентах. Значення зваженого коефіцієнта детермінації для обох випадків є наближеними до одиниці, що свідчить про високу якість апроксимації.

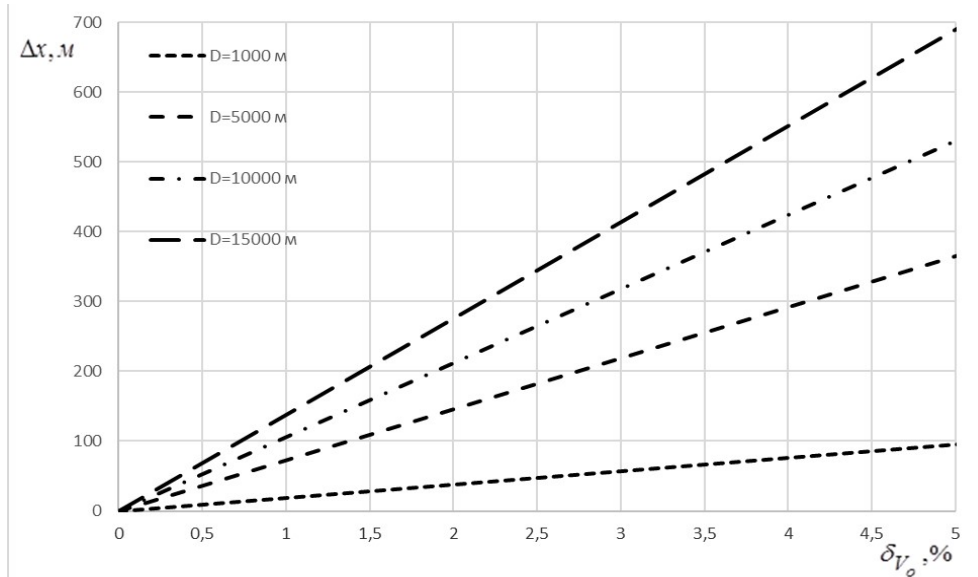


Рисунок 2 – Графіки залежностей відхилення точки влучення від відносного зменшення початкової швидкості снаряда для Д-30

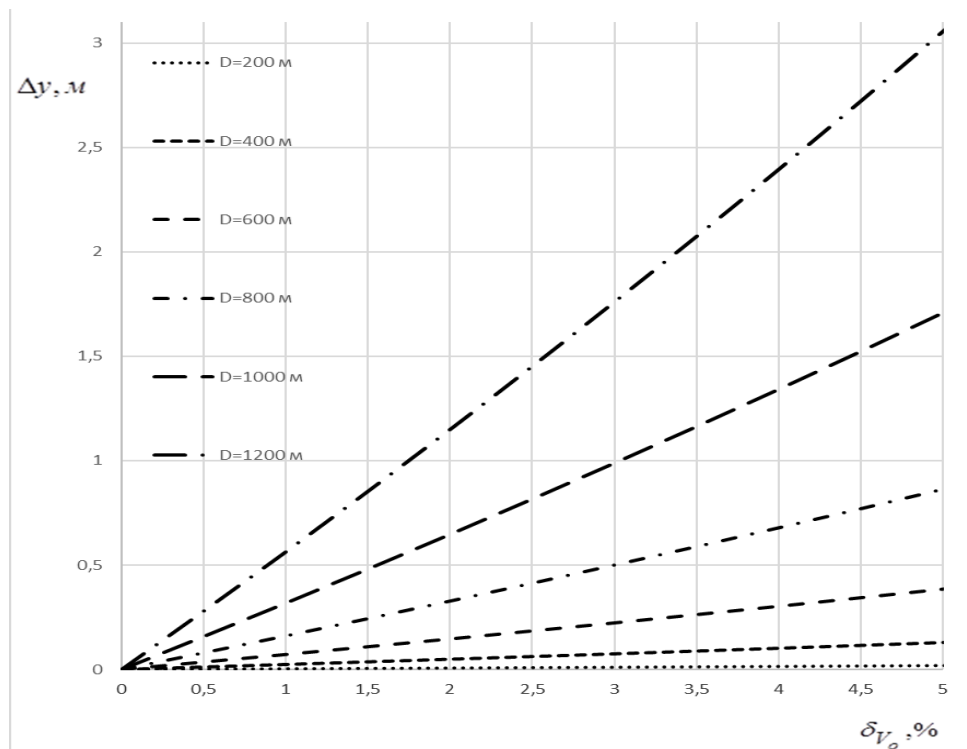


Рисунок 3 – Графіки залежностей відхилення точки влучення від відносного зменшення початкової швидкості кулі для СВД

За потреби (для більш детального аналізу) залежності (2) і (3) можуть бути подані графічно у тривимірній формі (рис. 4, 5).

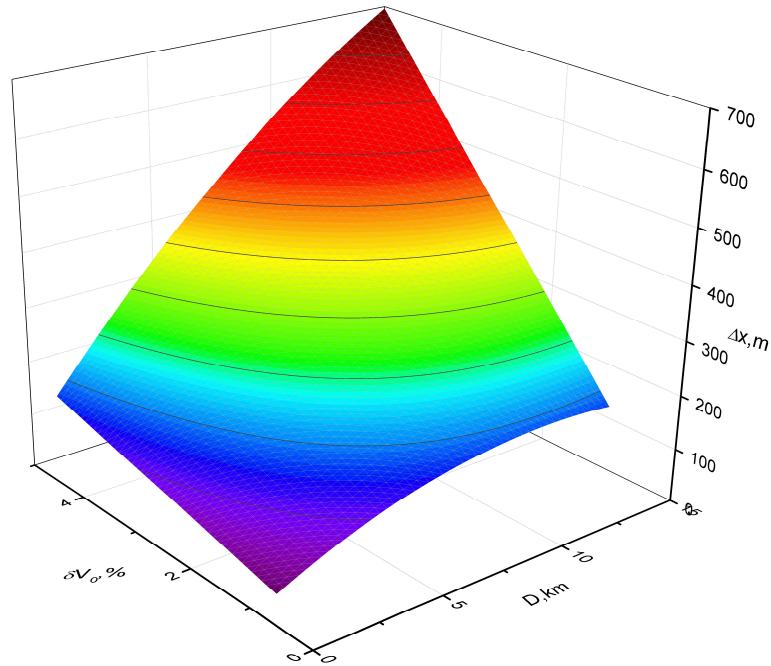


Рисунок 4 – Тривимірний графік залежності відхилення точки влучення від відносного зменшення початкової швидкості МЕ і відстані стрільби для Д-30

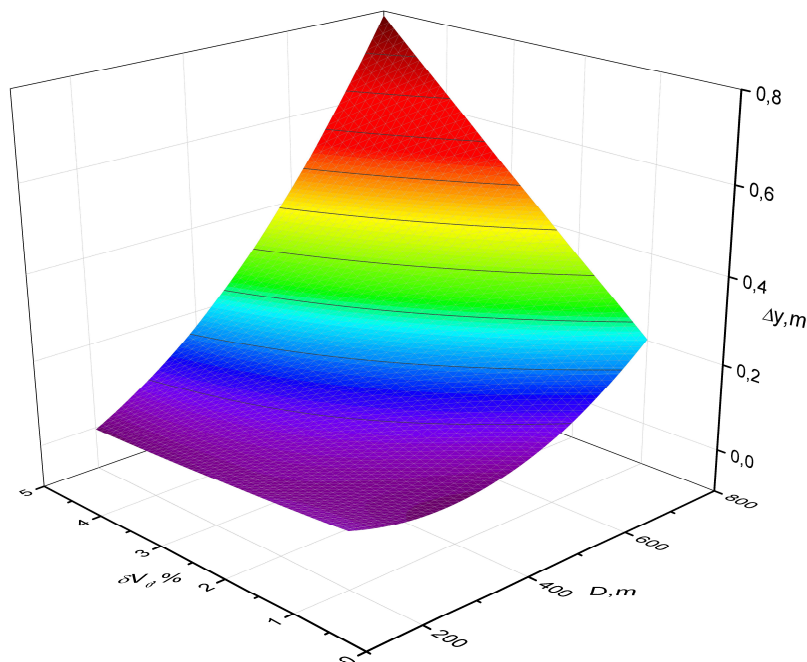


Рисунок 5 – Тривимірний графік залежності відхилення точки влучення від відносного зменшення початкової швидкості МЕ і відстані стрільби для СВД

Застосування виразів (2), (3) та аналогічних до них для інших зразків зброї дозволить оцінювати відхилення точки влучення від точки прицілювання для довільних значень відносного зменшення початкової швидкості та відстаней стрільби. Це створює передумови для автоматизації таких розрахунків із застосуванням засобів обчислювальної техніки.

Крім того, поєднання виразу для залежності початкової швидкості від характеристики зношування КС та виразу для залежності відхилення точки влучення від початкової швидкості снаряда дає

можливість безпосередньо оцінювати вплив зношування на відхилення точки влучення від точки прицілювання. Наприклад, для Д-30 шляхом поєднання виразів (1) та (2) отримуємо

$$\Delta x = -37,8 + 16,5D - 1,03D^2 + 20,3 \cdot (0,102 + 0,0612l_c) + 8,22D \cdot (0,102 + 0,0612l_c). \quad (4)$$

За класичними поглядами одним з основних показників ефективності стрільби є ймовірність P влучення у ціль. Для випадку, коли враховується відхилення точки влучення за дальністю (площина цілі розташована горизонтально), вираз для оцінювання ймовірності влучення має такий вигляд [13]:

$$P_{xz} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x}} \int_0^Y e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}} dy \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_z}} \int_0^Z e^{-\frac{(z-\bar{z})^2}{2\sigma_z^2}} dz. \quad (5)$$

Для випадку, коли враховується відхилення точки влучення за вертикаллю (площина цілі розташована вертикально), він має такий вигляд:

$$P_{yz} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y}} \int_0^Y e^{-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma_y^2}} dy \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_z}} \int_0^Z e^{-\frac{(z-\bar{z})^2}{2\sigma_z^2}} dz, \quad (6)$$

де σ_x – середньоквадратичне відхилення координат точок влучення від осі розсіювання по дальності;
 σ_y – середньоквадратичне відхилення координат точок влучення від осі розсіювання по висоті;
 σ_z – середньоквадратичне відхилення координат точок влучення від осі розсіювання по бічному напрямку;
 \bar{x} – математичне сподівання координати точки влучення МЕ за дальністю;
 \bar{y} – математичне сподівання координат влучення МЕ за висотою;
 \bar{z} – математичне сподівання координат влучення МЕ за бічним напрямком;
 X – довжина цілі (якщо вона розташована горизонтально);
 Y – висота цілі (якщо вона розташована вертикально);
 Z – ширина цілі.

Якщо скористатися функцією Лапласа, значення якої для спрощення розрахунків наведені у таблицях [13], вирази для оцінювання ймовірності влучення в ціль можна подати у вигляді [13]

$$P_{\Delta x} = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{X - (\bar{x} + \Delta x)}{\sigma_x} \right) - \Phi \left(-\frac{\bar{x} + \Delta x}{\sigma_x} \right) \right] \cdot \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{Z - \bar{z}}{\sigma_z} \right) - \Phi \left(-\frac{\bar{z}}{\sigma_z} \right) \right], \quad (7)$$

$$P_{\Delta y} = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{Y - (\bar{y} + \Delta y)}{\sigma_y} \right) - \Phi \left(-\frac{\bar{y} + \Delta y}{\sigma_y} \right) \right] \cdot \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{Z - \bar{z}}{\sigma_z} \right) - \Phi \left(-\frac{\bar{z}}{\sigma_z} \right) \right]. \quad (8)$$

Поєднання виразів (1), (2), (5) для Д-30 та їм аналогічних для інших видів зброї дозволяє кількісно оцінити вплив ступеня зношування певного елемента КС на ймовірність влучення в ціль.

Практичне застосування виразів (7), (8) проілюструємо для випадків стрільби з СВД та Д-30 за таких вихідних даних: стрільба з Д-30 ведеться осколково-фугасним снарядом, заряд повний, ціль площадна ($X=40$ м, $Z=15$ м), параметри розсіювання для заданих відстаней стрільби наведено в таблицях стрільби [12]; стрільба з СВД ведеться по грудній фігурі ($Y=0,5$ м, $Z=0,5$ м), параметри розсіювання для заданих відстаней стрільби наведено в настанові [16]. Шукані залежності для даних прикладів мають вигляд, поданий на рисунках 6, 7 та 8.

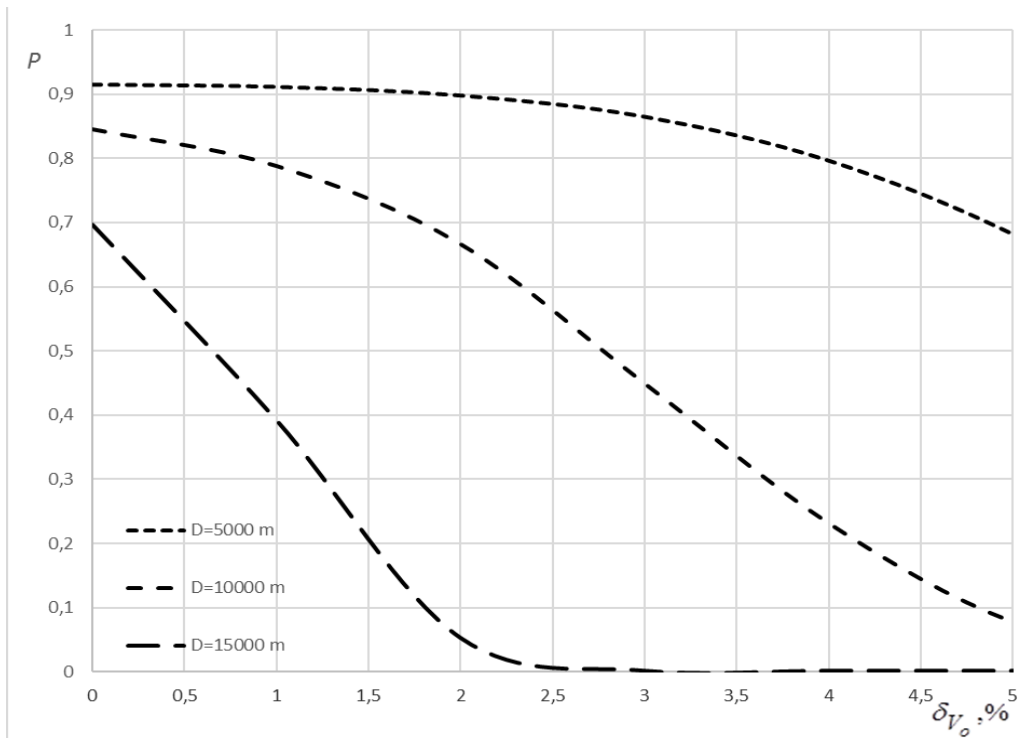


Рисунок 6 – Графіки залежностей ймовірності влучення в ціль від відносного зменшення початкової швидкості снаряда Д-30

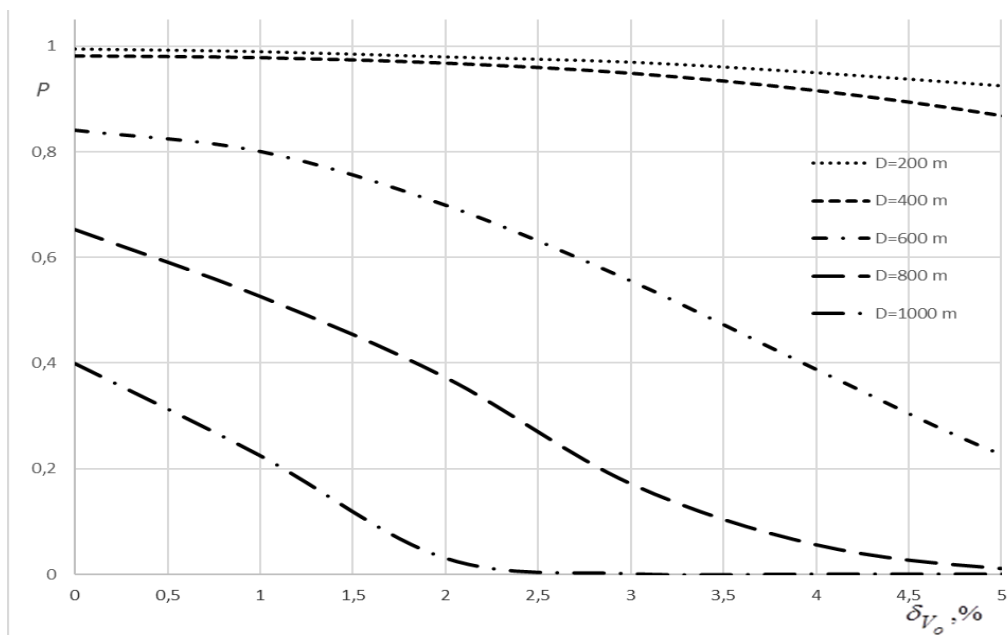


Рисунок 7 – Графіки залежностей ймовірності влучення в ціль від відносного зменшення початкової швидкості кулі СВД

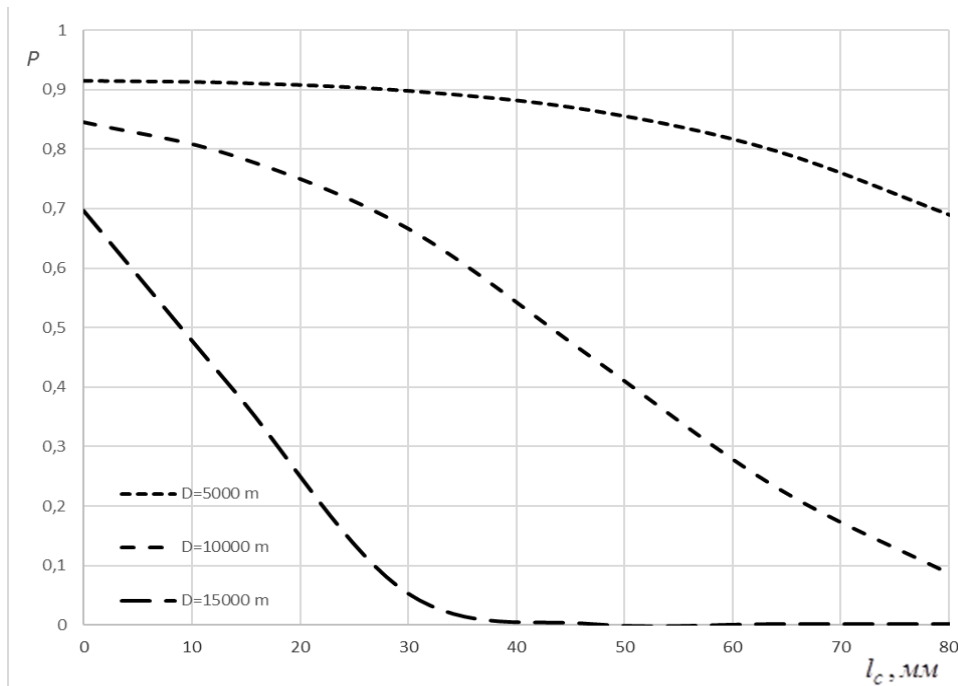


Рисунок 8 – Графіки залежностей ймовірності влучення в ціль від подовження зарядної камери Д-30

Перехід від залежності ймовірності влучення в ціль до ефективності виконання вогневого завдання може бути здійснено за відомими виразами [13, 17].

Наведений методичний підхід до кількісного оцінювання впливу технічного стану КС на ефективність виконання вогневих завдань дозволяє вирішувати як пряму, так і зворотну задачу – оцінювання граничних (допустимих) значень характеристик зношування КС за умов забезпечення заданої ефективності виконання вогневого завдання.

Висновки

У статті розглянуто методичний підхід до кількісного оцінювання впливу технічного стану каналу ствола на ефективність виконання вогневих завдань. Запропоновано здійснювати таке оцінювання на основі послідовного встановлення залежності зменшення початкової швидкості металюного елемента від ступеня зношування (прояву дефекту) каналу ствола, залежності відхилення точки влучення металюного елемента від зменшення його початкової швидкості та залежності ефективності виконання вогневого завдання від відхилення точки влучення металюного елемента.

Показано, що джерелом інформації про залежності початкової швидкості металюного елемента від ступеня зношування каналу ствола та відхилення точки влучення металюного елемента від зменшення його початкової швидкості можуть слугувати емпіричні дані, які отримано для конкретних зразків зброї та викладено в технічній документації або таблицях стрільб до них.

Встановлено, що зношування елементів каналу ствола веде до суттєвого зменшення ефективності виконання вогневих завдань. На прикладі застосування артилерійської гармати Д-30 показано, що збільшення зарядної камери, навіть в гранично допустимих технічною документацією межах, призводить до зниження ефективності виконання вогневого завдання з ураження цілі одним пострілом у 3-5 разів залежно від відстані стрільби.

Наведений методичний підхід до кількісного оцінювання впливу технічного стану каналу ствола на ефективність виконання вогневих завдань дозволяє вирішувати як пряму, так і зворотну задачу – оцінювання граничних (допустимих) значень характеристик зношування каналу ствола за умов забезпечення заданої ефективності виконання вогневого завдання.

Застосування даного методичного підходу дозволить оцінювати ефективність виконання вогневих завдань на основі інформації про кількісні характеристики дефектів каналів стволів поширених зразків зброї, які перебувають на озброєнні сил сектора безпеки і оборони держави. Крім того, одним

із шляхів застосування методичного підходу може стати прогнозування ступеня зниження ефективності виконання вогневих завдань на основі відомостей про змінювання характеристик каналу ствола у часі та за напрацюванням.

Подальші дослідження в даному напрямку доцільно спрямувати на встановлення характеру залежності зменшення початкової швидкості металевих елементів від ступеня зносу (прояву дефекту) каналу ствола для широкого кола зразків зброї та обґрунтування шляхів автоматизації розрахунків за допомогою засобів обчислювальної техніки.

Перелік джерел посилання

1. Артилерія. URL: http://www.nnre/tehnicheskie_nauki/artilerija /indeks.php (дата звернення: 04.03.2024).
2. Modeling of the process of the shot based on the numerical solution of the equations of internal ballistics / O Kriukov et al. (2019). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/5 (97). Pp. 40 – 46. DOI:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155357>.
3. Черніченко Ю. М. Основи будови та проектування стволів стрілецької зброї. Харків : АВВ МВСУ, 2007. 73 с.
4. Біленко О. І., Афанасьєв В. В. Вплив параметрів заряджання на початкову швидкість кулі. *Вестник національного технічного університету «ХПИ»*. Харків, 2007. № 11. С. 33 – 37.
5. Дерев'янчук А. Й. Основи будови артилерійських гармат та боеприпасів. Суми : СДУ, 2011. 716 с.
6. Використання програмного забезпечення інтерактивного навчально-тренувального комплексу з вогневої підготовки під час дистанційного навчання / В. І. Семенюк та ін. *Системи озброєння і військова техніка*. Харків, 2022. № 4 (72). С. 60 – 72.
7. Крюков А. М., Доля Г. Н., Мудрик В. Г. Дифференціальна лазерная доплеровская анемометрия объектов со световозвращающей поверхностью. *Прикладная радиоэлектроника*. Харків, 2013. Т. 12. № 3. С. 436 – 441.
8. Біленко О. І., Пащенко В. В. Підвищення стабільності дульної швидкості поразючих елементів кінетичної зброї не смертельної дії. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків, 2010. Вип. 2. С. 5 – 10.
9. Онда В. І. Внутрішня балістика. Суми : СДУ, 2018. 135 с.
10. Живучість нарізних та гладких стволів при використанні боеприпасів після гарантійних строків зберігання / Аніпко О. Б., Бусяк Ю. М., Гончаренко П. Д., Хайков В. Л. Севастополь : АВМС ім. П. С. Нахімова, 2012. 208 с.
11. Крюков О. М., Мельніков Р. С. Математичне моделювання процесу пострілу 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.
12. Петренко В. М., Житник В. Є., Макеєв В. І. Таблиці стрільби 122-мм гаубиці Д-30. Суми : Центр учбової л-ри, 2022. 302 с.
13. Дробан О. М., Жогальський Е. Ф. Підходи до оцінки ефективності стрільби зі стрілецької зброї. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2018. № 19. С. 19 – 23.
14. Стрільба артилерії / В. М. Петренко та ін. Суми : Сумський держ. ун-т, 2012. 757 с.
15. Балістичний калькулятор Борисова. URL:<https://guns.allzip.org/ topic/91/330918.html>. (дата звернення 04.03.2024).
16. 7,62-мм снайперська гвинтівка Драгунова (СГД) : настанова зі стрілецької справи. Київ : МОУ, 2016. 94 с.
17. Біленко О. І., Белашов Ю. О. Шляхи підвищення ефективності виконання вогневих завдань снайпером сил охорони правопорядку. *Збірник наукових праць Академії ВВ МВС України*. Харків, 2013. Вип. 2 (22). С. 12 – 15.

Стаття надійшла до редакції 30.03.2024 р.

UDC 623.5

O. Kriukov, O. Mihura, R. Melnikov, H. Silin

**STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE EFFECTIVENESS OF THE FIRE MISSION
ON THE TECHNICAL CONDITION OF THE FIREARMS BORE**

The work is devoted to the substantiation of a methodical approach to the quantitative assessment of the influence of the technical state of the bore on the effectiveness of the fire mission.

Also, there was carried out the analysis of sources of information, which shed light on the issue of assessing the influence of deviations in the ballistic characteristics of weapons on the probability of hitting a target. It was established that, despite a significant number of works in this direction, there is no systematic exposition of the methodical foundations of taking into account the influence of the characteristics of the defects (damages) of the bore on the effectiveness of fire missions in the publications.

A methodical approach to research and, in particular, quantitative assessment of the influence of the technical condition of the bore on the effectiveness of the fire mission (probability of hitting the target) is proposed.

The dependence of the reduction of the initial speed of the projectile element on the degree of wear of the barrel, the deviation of the point of impact of the projectile element from the reduction of its initial speed, as well as the effectiveness of the fire mission from the deviation of the point of impact of the projectile element are considered. A study of the dependence of the effectiveness of the fire mission on individual indicators characterizing the technical state of the bore was conducted.

Examples of the application of the proposed methodical approach for some samples of firearms are given. The specifics of the quantitative assessment of the effectiveness of fire mission for several of their varieties are determined.

It has been established that the wear of the elements of the barrel leads to a significant decrease in the effectiveness of fire mission in the absence of fire correction during subsequent shots.

К е y o r d s: bore, technical state, bore defect, effectiveness of fire mission, methodical approach, initial speed, bore wear.

Крюков Александр Михайлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри оперативного та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України.

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

Мігура Олексій Олександрович – ад'юнкт Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0003-0327-9839>

Мельніков Роман Сергійович – доктор філософії з державної безпеки, начальник науково-організаційного відділу Національної академії Національної гвардії України.

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

Сілін Григорій Вікторович – командир групи спеціального призначення (бойового та матеріально-технічного забезпечення) центру спеціального призначення Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0009-0008-2059-3962>