

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАЛІСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗБРОЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ СТРІЛЬБИ З УРАХУВАННЯМ БЕЗПЕЧНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ

Біленко О. І., Кириченко О. О., Кайдалов Р. О.

Об'єктом дослідження є процес виконання вогневого завдання працівниками сил безпеки в умовах наявності сторонніх осіб у напрямку стрільби. У роботі досліджено вплив балістичних характеристик зброї на ефективність виконання вогневих завдань силами безпеки з урахуванням безпеки застосування зброї. Метою застосування зброї силами безпеки як правило є припинення дій правопорушника або його затримання. При цьому випадки загибелі або поранення заручника або сторонньої особи в результаті застосування зброї мають кваліфікуватися як невиконання поставленого вогневого завдання. Аналіз тактики дій та особливостей застосування зброї силами безпеки свідчить, що основною причиною, яка обумовлює небезпечність застосування стрілецької зброї для сторонніх осіб є надмірна відстань польоту кулі, на якій вона зберігає забійну дію. Водночас з цим відстань забійної дії кулі є одним з чинників, що піддається корекції. Вона залежить від сполучення балістичних характеристик зброї, а саме дульної швидкості та балістичного коефіцієнту кулі. Проведений аналіз відомих досліджень показав, що існуючий науково-методичний апарат визначення ефективності стрільби не дозволяє визначати ефективність виконання вогневого завдання з урахуванням безпеки застосування стрілецької зброї через недосконалість відповідних моделей. Вдосконалено модель процесу виконання вогневого завдання шляхом урахування впливу балістичних характеристик зброї на ймовірності ураження сторонніх осіб, що створює можливість для оцінювання безпеки застосування зброї. В результаті дослідження впливу балістичних характеристик зброї на ефективність стрільби з урахуванням безпеки застосування зброї встановлено, що існує необхідність максимального скорочення різниці між прицільною дальністю зброї та дальністю, на якій куля зберігає забійну дію. Надмірна енергія кулі підвищує ймовірність ураження сторонньої особи через збільшення площі зони небезпеки її ураження внаслідок наскрізного пробиття цілі. На ймовірність виконання вогневого завдання з обмеженням щодо безпеки застосування зброї позитивно впливає підвищення стабільності дульної швидкості кулі.

Ключові слова: ефективність стрільби, балістичні характеристики, стрілецька зброя, вогневе завдання, сили безпеки.

1. Вступ

При проектуванні та виробництві стрілецької зброї для сил оборони значну увагу приділяють її балістичним характеристикам. Найбільш важливими з них є

дульна швидкості кулі та динаміка падінні швидкості на траєкторії, яка обумовлена балістичним коефіцієнтом кулі. Значення балістичних характеристик визначають такі тактичні характеристики зброї, як прицільна дальність, дальність прямого пострілу та дальність забійної дії зброї, а також пробивна, зупиняюча та забійна дія кулі. Чим вище зазначені характеристики, тим більше шансів уразити ціль, тобто зростає ефективність стрільби. Разом з цим зростає ймовірність ураження будь-яких інших осіб та об'єктів, які знаходяться у напрямку стрільби, але це не є проблемою, бо на позиціях противника не має бути цивільних осіб або дружніх сил.

Метою застосування зброї силами безпеки (СБ) у переважній більшості випадків є припинення дій правопорушника або його затримання. При цьому нехтування життям або здоров'ям члена суспільства, якого ці сили захищають від правопорушника, не є прийнятним. Випадки загибелі або поранення заручника або сторонньої особи в результаті застосування зброї під час виконання службово-бойових завдань СБ мають кваліфікуватися як невиконання поставленого вогневого завдання (ВЗ). Проте, під час практичного застосування зброї працівниками СБ існує ймовірність влучення кулі у сторонню особу та її ураження.

Таким чином, для СБ є необхідність в одночасному забезпеченні достатньої ймовірності ураження цілі та мінімізації ймовірності ураження сторонніх осіб. При цьому підвищення ефективності стрільби за рахунок зазначених вище тактичних характеристик зброї не представляється можливим. Отже, актуальним є дослідження впливу балістичних характеристик зброї на ефективність стрільби з урахуванням безпечності застосування стрілецької зброї.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є процес виконання вогневого завдання працівниками СБ в умовах наявності сторонніх осіб у напрямку стрільби.

До складових системи, у якій протікає зазначений процес входять:

- суб'єкт застосування зброї – працівник сил безпеки;
- об'єкт застосування зброї – противник (ціль);
- зразок стрілецької зброї;

– сторонні особи, що знаходяться у напрямку стрільби та розташовані на відстанях не менших, ніж ціль та менших, ніж відстань забійної дії кулі.

Метою процесу є ураження об'єкта застосування зброї.

Процес виконання вогневого завдання характеризується:

- відстанню до цілі;
- розташуванням сторонніх осіб у просторі;
- балістичними характеристиками зброї;
- точністю наведення зброї на ціль;
- технічною купчастістю стрільця;
- ймовірністю ураження цілі;
- ймовірністю не ураження сторонніх осіб;
- часом виконання вогневого завдання.

Обмеження, що накладаються на протікання процесу:

- мінімальна ймовірність ураження цілі;
- мінімальна безпечність застосування зброї;
- максимальний час на ураження цілі.

У процесі виконання вогневого завдання внаслідок різноманітних несприятливих умов виникає ймовірність ураження сторонньої особи, що вважається неприпустимим. До несприятливих умов відносяться:

- низька підготовленість стрільця;
- велика відстань до цілі;
- значна рухливість цілі;
- велика кількість сторонніх осіб;
- близьке розташування сторонніх осіб до цілі;
- суттєві часові обмеження на виконання вогневого завдання;
- низька технічна купчастість зброї;
- велика відстань забійної дії кулі тощо.

Аналіз тактики дій та особливостей застосування зброї силами безпеки свідчить, що основною причиною, яка обумовлює небезпеку застосування стрілецької зброї СБ є надмірна відстань польоту кулі, на якій вона зберігає забійну дію $X_{зд}$. При стрільбі по цілі завжди існує ймовірність промаху. При цьому співробітник СБ під час застосування зброї добре бачить простір до цілі. Але не зосереджує уваги на обстановці за ціллю та не має можливості її контролю у напрямку стрільби на глибину відстані польоту кулі, на якій вона зберігає забійну дію. Тому існує можливість влучення у сторонню особу та її ураження. Водночас з цим забійна відстань кулі є одним з чинників, що піддається корекції. Вона залежить від балістичних характеристик зброї, зокрема від дульної швидкості та балістичного коефіцієнту кулі. При певних сполученнях балістичних характеристик зброї $X_{зд}$ є надто великою, що підвищує ймовірність ураження сторонніх осіб та знижує ймовірність виконання вогневого завдання в цілому.

Таким чином, характерними недоліками об'єкта дослідження є нераціональні балістичні характеристики зброї та обумовлена цим не виправдано висока ймовірність ураження сторонньої особи.

Для підвищення безпечності застосування зброї силами безпеки необхідно знати, як відстань забійної дії кулі впливає на ймовірність виконання вогневого завдання з обмеженнями щодо безпечності застосування зброї (БЗЗ).

3. Мета та задачі дослідження

Мета роботи – дослідження впливу балістичних характеристик зброї на ефективність стрільби з урахуванням безпечності застосування стрілецької зброї.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Вдосконалити існуючі моделі ефективності стрільби з метою урахування безпечності застосування зброї.

2. Визначити ефективність виконання вогневого завдання силами охорони правопорядку в залежності від балістичних характеристик зброї в умовах мирного часу.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Питанням визначення ефективності стрільби зі стрілецької зброї присвячено достатньо робіт. Так, в роботі [1] розглянуто прикладні аспекти теорії ймовірностей, зокрема загальні методи визначення ймовірностей влучення у ціль та ураження цілі. Робота [2] присвячена методології ефективності стрільби. Зокрема в ній розглянуто узагальнений показник ефективності, умовний закон поразки цілі, оцінка факторів, які впливають на точність влучення у ціль, моделі оцінювання ймовірності ураження цілі з урахуванням протидії тощо. Вказані роботи можуть бути використані для розроблення моделей виконання вогневого завдання з урахуванням БЗЗ, але напряду ці питання у роботі не розглядаються.

Авторами роботи [3] висвітлено широкий спектр питань від основних відомостей теорії ймовірностей до експериментального дослідження ефективності стрільби. В роботі також розглянуто закони ураження цілей, критерії ефективності стрільби та бойової ефективності, урахування вогневої протидії противника тощо. Проте весь матеріал присвячений бойовому застосуванню зброї без врахування БЗЗ.

В роботі [4] автори зосередилися на теорії вогневих дуелей, зокрема на ефективності засідкових та повітряних дуелей, а також на методах синтезу стратегій управління вогнем. При цьому аспекти застосування зброї силами безпеки у роботі не висвітлено.

У дослідженнях [5] розглянуто завдання та загальні принципи оцінки бойової ефективності, показники бойової ефективності, методи визначення ймовірності ураження малої та великої цілі. Також у роботі наведено оцінювання економічної ефективності озброєння та статистичні методи оцінки бойової ефективності озброєння. Але наведений математичний апарат не дозволяє оцінити безпечність застосування зброї для сторонніх осіб.

Роботу [6, 7] присвячено питанням теорії та практики вибору оптимальних характеристик і параметрів ствольних комплексів за відповідними критеріями ефективності. Проте, питання застосування стрілецької зброї у цих дослідженнях не розглядається.

В [8] розглянуто метод розрахунку проникнення снайперських снарядів в конкретні цілі, але не розглядалось питання забезпечення безпеки сторонніх осіб.

Загальною рисою вказаних вище робіт є те, що вони розглядають застосування зброї силами оборони та не враховують наявності об'єктів, ураження яких не є бажаним.

Робота [9] показує модель реагування конкретних цілей на удари з високою швидкістю, забезпечуючи домінуючий внесок зсуву тертя. Розкриває захисні можливості укриття військовослужбовців під час бойових дій. Мова про забезпечення безпеки цивільних не ідеться.

У дослідженні [10] показана обмежена придатність існуючих показників та критеріїв ефективності стрільби для оцінювання ефективності виконання специфічних вогневих завдань силами безпеки. Розроблено новий показник надійності виконання вогневого завдання силами безпеки, який враховує ймовірність ураження сторонньої особи. Разом з цим у роботі не розглядаються

питання залежності показників ефективності стрільби від балістичних характеристик зброї.

Таким чином, результати аналізу дозволяють зробити висновок про те, що існуючий науково-методичний апарат визначення ефективності стрільби не дозволяє визначати ефективність виконання вогневого завдання з урахуванням БЗЗ.

5. Методи досліджень

На ймовірність ураження сторонньої особи впливають низка чинників.

Характеристики цілі:

Y_C – висота цілі, м;

Z_C – ширина цілі, м;

X_C – відстань до цілі, м.

Характеристики точності стрільби:

$y_{СТВ}$ – положення середньої точки влучень (СТВ) по висоті відносно центру цілі, м;

$z_{СТВ}$ – положення СТВ по бічному напрямку відносно центру цілі, м;

σ_y – середнє квадратичне відхилення (СКВ) влучень у площину цілі по висоті, м;

σ_z – СКВ влучень у площину цілі по бічному напрямку, м.

Характеристики сторонніх осіб:

Y_i – висота i -ої сторонньої особи, м;

Z_i – ширина i -ої сторонньої особи, м;

X_i – відстань до i -ої сторонньої особи, м;

y_i – положення центру i -ої сторонньої особи по висоті відносно центру цілі, м;

z_i – положення центру i -ої сторонньої особи по бічному напрямку центру цілі, м.

Враховуючи, що ймовірність промаху непрямо підвищує ймовірність ураження сторонньої особи можна зробити висновок, що позитивно на ймовірність ураження сторонньої особи впливають:

– кількість сторонніх осіб;

– розміри фронтальних проекцій сторонніх осіб;

– відстань до цілі;

– СКВ влучень у площину цілі по висоті та бічному напрямку (до певної величини);

– відхилення СТВ від центра цілі (до певної величини).

При цьому негативно на ймовірність ураження сторонньої особи впливають:

– розміри фронтальної проекції цілі;

– відстані до сторонніх осіб;

– відхилення центрів сторонніх осіб від центру цілі, починаючи з величин, що дорівнюють сумам половин відповідних розмірів цілі та сторонньої особи.

Для дослідження впливу відстані, на якій куля зберігає забійну дію на БЗЗ розроблено програму в середовищі Mathcad.

6. Результати дослідження

Вихідними даними для розрахунків прийняті величини, що відповідають

чинникам, які впливають на ймовірність ураження сторонньої особи: $Y_C, Z_C, X_C, y_{CTB}, z_{CTB}, \sigma_y, \sigma_z, Y_i, Z_i, X_i, y_i$ та z_i .

Враховуючи, що СКВ у площині цілі залежить від відстані до неї за основу взято характеристики розсіювання на стандартній для пістолета відстані 25 м. Для інших відстаней, які відповідають положенню у просторі цілі та сторонніх осіб здійснюються розрахунки СКВ за формулами:

$$\sigma_{yc} = \frac{\sigma_y X_c}{25}, \quad (1)$$

$$\sigma_{zc} = \frac{\sigma_z X_c}{25}, \quad (2)$$

$$\sigma_{yi} = \frac{\sigma_y X_i}{25}, \quad (3)$$

$$\sigma_{zi} = \frac{\sigma_z X_i}{25}. \quad (4)$$

Значення y_{CTB} має корегуватись в залежності від відстані до цілі. Це обумовлене рухом кулі по координаті y під дією сили земного тяжіння. Так, наприклад, зміна положення кулі по висоті на прицільній відстані (200 м) для 9-мм пістолета АПС складає до 1,5 м, а для 5,45-мм автомата АКС74У на відстані 500 м – 0,95 м, що не можна не враховувати.

Для корекції значення y_{CTB} використано рівняння [11], яке дозволяє розрахувати силу лобового опору повітря руху поражаючий елемент (ПЕ):

$$R_{x_a} = C_{x_a} \frac{\rho v^2}{2} S_m, \quad (5)$$

де R_{x_a} – сила лобового опору повітря;

C_{x_a} – аеродинамічний коефіцієнт сили лобового опору;

ρ – щільність атмосфери;

v – швидкість руху ПЕ;

S_m – площа міделя ПЕ, а також прискорення сили лобового опору I_R :

$$I_R = \frac{C_{x_a}}{m}, \quad (6)$$

де m – маса ПЕ.

На основі відомої залежності, що зв'язує шлях тіла з його початковою швидкістю, прискоренням та часом руху [12] отримаємо:

$$S_y = -\frac{gt^2}{2}, \quad (7)$$

$$S_x = V_0 t + \frac{I_R t^2}{2}. \quad (8)$$

З (8) знайдемо час руху ПЕ на обраній ділянці шляху S :

$$t = \frac{V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2I_R S}}{I_R}, \quad (9)$$

та після підстановки (8) у (7) отримаємо вираз для розрахунку величини зсуву ПЕ по координаті y :

$$S_y = -\frac{g}{2} \left(\frac{V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2I_R S}}{I_R} \right)^2. \quad (10)$$

При цьому траєкторію слід розбити по дальності на достатньо дрібні ділянки, щоб швидкість ПЕ на початку ділянки не суттєво відрізнялась від середнього значення на цій ділянці. Розрахунки свідчать, що для досліджуваних випадків довжина ділянки 0,05 м забезпечує цілком прийнятну відносну похибку визначення швидкості, а отже і часу – 0,014–0,023 %. Це підтверджується високою збіжністю результатів розрахунків з даними експлуатаційної документації на зразки зброї, для яких такі дані наводяться [13–15].

Обчислення ймовірності влучення у ціль P_C та у сторонніх осіб P_{CO_i} здійснюється за формулами [3]:

$$P_C = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{yc}} \int_{-0,5Y_c}^{0,5Y_c} e^{-\frac{(y-y_{c.нв})^2}{2\sigma_{yc}^2}} dy \right] \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{zc}} \int_{-0,5Z_c}^{0,5Z_c} e^{-\frac{(z-z_{c.нв})^2}{2\sigma_{zc}^2}} dz \right], \quad (11)$$

$$P_{CO_i} = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{yi}} \int_{-0,5Y_i}^{0,5Y_i} e^{-\frac{(y-y_{c.нв}+y_i)^2}{2\sigma_{yi}^2}} dy \right] \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{zi}} \int_{-0,5Z_i}^{0,5Z_i} e^{-\frac{(z-z_{c.нв}+z_i)^2}{2\sigma_{zi}^2}} dz \right]. \quad (12)$$

Ймовірність ураження цілі W_C та сторонньої особи W_{CO_i} можна обчислити за виразами [10]:

$$W_C = 1 - (1 - P_C)^n, \quad (13)$$

$$W_{CO_i} = 1 - (1 - P_{CO_i})^n. \quad (14)$$

Ймовірність виконання вогневого завдання працівником сил безпеки з урахуванням БЗЗ розраховується за формулою [10]:

$$W_{BBZ} = \left[1 - (1 - P_c)^n \right] \cdot (1 - P_{CO})^n. \quad (15)$$

Зазначена формула витікає з (13) за умов, що для ураження сторонньої особи достатньо одного влучення кулі та енергетичні характеристики кулі є достатніми для ураження. Тобто розглядається випадок розташування цілі та сторонніх осіб на відстанях, які не перевищують дальності, що забезпечує забійну дію кулі.

Але на практиці може статися інакше, тому слід врахувати випадки, коли дія кулі по цілі є надмірною з точки зору безпечності, недостатньою для ураження сторонньої особи, а також невизначеною через розкид дульної швидкості кулі. У такому випадку існують несприятливі ймовірності надмірної $P_{надм}$ та невизначеної $P_{нев}$ дії кулі по цілі. Виходячи з цього, ймовірність ураження i -ої сторонньої особи дорівнює:

$$W_{CO_i} = 1 - \left[1 - P_{CO_i} (P_{надм_i} + P_{нев_i}) \right]^n, \quad (16)$$

а ймовірність ураження хоча б однієї сторонньої особи дорівнюватиме сумі ймовірностей W_{CO_i} :

$$W_{CO} = \sum_{i=1}^m \left[1 - \left(1 - P_{CO_i} (P_{надм_i} + P_{нев_i}) \right)^n \right], \quad (17)$$

де m – кількість сторонніх осіб.

Таким чином, отримуємо:

$$W_{BBZ} = \left[1 - (1 - P_c)^n \right] \cdot \sum_{i=1}^m \left[1 - P_{CO_i} (P_{надм_i} + P_{нев_i}) \right]^n. \quad (18)$$

Ймовірності $P_{нев}$ та $P_{надм}$ розраховуються у відповідності до (8) та (9), а діапазони $\Delta X_{нев}$ за формулою [16]:

$$\Delta X_{нев} = \frac{1}{k \cdot C} \left(\ln \frac{V_A + \Delta V_A}{V_{X \min}} - \ln \frac{V_A - \Delta V_A}{V_{X \min}} \right). \quad (19)$$

Межі X_{\min} та X_{\max} діапазонів визначаються за формулами [17]:

$$X_{\min} = \frac{1}{k \cdot C} \ln \frac{V_A}{V_{X \min}}, \quad (20)$$

$$X_{\max} = \frac{1}{k \cdot C} \ln \frac{V_A}{V_{X \max}}, \quad (21)$$

де V_0 – дульна швидкість ПЕ;

C – балістичний коефіцієнт ПЕ;

X_{min} – відстань, на якій ПЕ має мінімальну енергію, яка забезпечує забійну дію;

X_{max} – відстань, на якій ПЕ має максимальну енергію, що може вважатися безпечною;

V_{Xmin} – швидкість ПЕ на відстані X_{min} ;

V_{Xmax} – швидкість ПЕ на відстані X_{max} .

Відповідні значення V_{Xmin} та V_{Xmax} обчислюються за формулами [17]:

$$V_{Xmin} = \sqrt{\frac{2E_{kmin}}{m}}, \quad (22)$$

$$V_{Xmax} = \sqrt{\frac{2E_{kmax}}{m}}. \quad (23)$$

Мінімальні та максимальні значення енергетичних характеристик ПЕ встановлюються в залежності від характеру цілі та ступеня її захищеності. Аналіз літературних джерел свідчить, що мінімальна енергія, яка забезпечує забійну дію дорівнює приблизно 20 Дж, а максимальна енергія, яку можна вважати безпечною становить близько 10 Дж [18,19].

Діапазони $\Delta X_{надм}$ дорівнює X_{min} .

Для випадків відбиття ПЕ від перешкоди значення V_0 замінюються на значення швидкості ПЕ після відбиття, а напрямок польоту ПЕ визначається з умови, що кути його зустрічі з перешкодою та відбиття від неї є рівними.

Сукупність виразів (8)–(12) та (18)–(23) складають модель процесу виконання вогневого завдання з обмеженнями щодо безпечності застосування зброї.

Аналіз моделі свідчить, що реальним способом підвищення ймовірності виконання вогневого завдання з обмеженнями щодо безпечності застосування зброї є зниження значення $P_{надм}$, зокрема на відстанях, що перевищують прицільну та після відбиття ПЕ від перешкоди.

Для отримання реалістичних значень параметрів, які впливають на БЗЗ проведено аналіз випадків застосування зброї силами безпеки, рівня стрілецької підготовки працівників сил безпеки та характеристик стрілецької зброї.

Встановлено [20], що у переважній більшості випадків (98 %) застосовувалися пістолети.

Стрільба здебільшого здійснювалась з нестійких положень, а саме з положення стоячи (60 %), у русі (4,4 %) та з автомобіля (20,5 %). У трьох чвертях випадків стрільба велась з однієї руки.

Зі стійких положень для стрільби (з колена, лежачі, з укриття) здійснено лише близько 15 % пострілів.

Відстань до цілі не перевищувала 20 м у 85 % випадків.

У 89 % випадків час на стрільбу був обмеженим, а у 30 % випадків стрільба велась без прицілювання (навскидку).

У 71 % випадків застосування зброї видимість була обмеженою.

Місце застосування зброї розподіляється наступним чином: на вулиці – 80 %, у парках та лісах – 8 %, у приміщеннях – 12 %.

Більш половини випадків застосування зброї здійснено у несприятливих умовах: фізичне навантаження – 13 %, психологічне навантаження – 29 %, зустрічна стрільба – 10 %.

Наведена статистика дозволяє зробити висновки про умови застосування зброї, відповідні значення помилок наведення зброї на ціль та якість здійснення пострілу.

Так, у відповідності до [21] помилка приведення зброї до нормального бою складає до 0,05 м на відстані 25 м.

Величина середньої помилки (B_e та B_6) наведення зброї на ціль при стрільбі на ходу з короткої зупинки складає 2 тисячної [22], що для відстані 25 м складає також 0,05 м.

При стрільбі на ходу або з автомобіля, що рухається помилка буде ще вищою. Обмеження часу на стрільбу також підвищує значення помилки наведення. Аналіз результатів швидкісної стрільби з відстані 25 м курсантів різних курсів академії дає сумарну помилку наведення зброї на ціль та приведення зброї до нормального бою $y_{cm6}=z_{cm6}=0,12-0,27$ м.

Купчастість стрільби зі стрілецької зброї при її приведенні до нормального бою вважається прийнятною за умов, що $R_{100}=0,15$ м [13, 14, 21], тобто СКВ влучень у площину цілі складає $\sigma=0,025$ м. Але при виконанні вогневих завдань в умовах руху та обмеженням часу купчастість стрільби суттєво знижується і для досліджуваних груп курсантів $\sigma_y=\sigma_z=0,08-0,20$ м.

Розміри фронтальних проекцій цілі та сторонніх осіб можуть варіюватися в залежності від зросту та статури окремих осіб. При цьому з урахуванням середніх габаритів дорослої людини та коефіцієнту фігурності ростової цілі (0,85 [23]) під час моделювання їх можна замінити прямокутниками з розмірами 0,46–1,54 м.

Таким чином, під час оцінювання ймовірності виконання вогневих завдань працівниками сил безпеки з обмеженням щодо безпечності застосування зброї доцільними представляються наступні значення вихідних величин: $Y_C=1,54$ м, $Z_C=0,46$ м, $X_C=20$ м, $y_{CTB}=0,2$ м, $z_{CTB}=0,2$ м, $\sigma_y=0,2$ м, $\sigma_z=0,2$ м, $Y_i=1,54$ м, $Z_i=0,46$ м. Значення X_i , y_i та z_i слід брати з реальних обстановок.

На рис. 1 наведено варіант розміщення сторонніх осіб (фігури синього кольору), на тлі яких може розташовуватись ціль (фігура червоного кольору). Схема складена по світлині та відповідає реальному розташуванню громадян на Привокзальній площі м. Харкова (Україна).

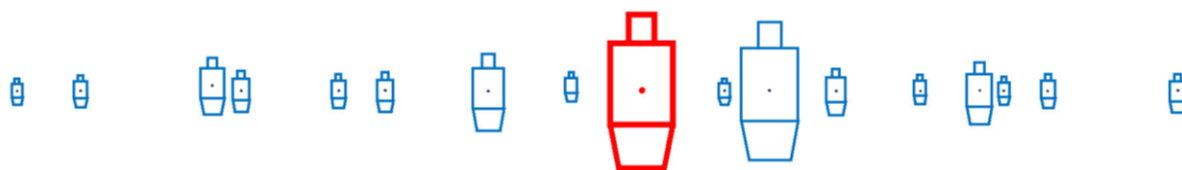


Рис. 1. Варіант розміщення сторонніх осіб, на тлі яких розташовано ціль

На рис. 2 наведено залежності ймовірностей ураження цілі та виконання вогневого завдання від дальності забійної дії. Трикутними та ромбовидними маркерами відображено значення W_{BV3} та W_{CO} для відповідних відстаней $X_{3Д}$, що відповідають розміщенню сторонніх осіб на рис. 1. Суцільні криви відображають залежності для аналогічного випадку, але для рівномірного розміщення сторонніх осіб по відстані та боковому напрямку.

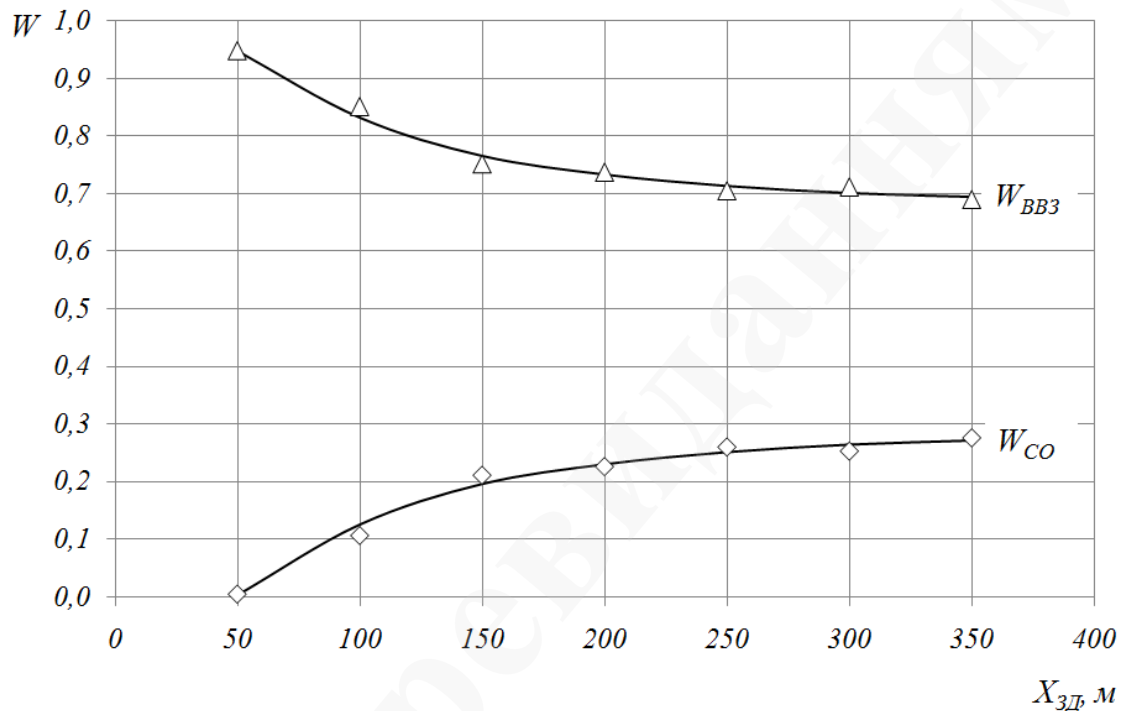


Рис. 2. Залежності ймовірностей ураження цілі та виконання вогневого завдання від дальності забійної дії

При інших значеннях кількості сторонніх осіб, відстані до цілі, відстані забійної дії ПЕ, характеристик точності стрільби тощо отримано криві, які за характером є аналогічними тим, що наведені вище (рис. 2).

Аналіз отриманих залежностей свідчить, що приріст ймовірності ураження сторонньої особи зі збільшенням $X_{3Д}$ поступово падає. Це пояснюється лінійною залежністю кількості осіб, що потрапляють у зону небезпеки від $X_{3Д}$ та квадратичною залежністю площі проєкцій сторонніх осіб від відстані до них. Отже, приріст площі фронтальних проєкцій сторонніх осіб з урахуванням їх кутових розмірів відстає від приросту відстані забійної дії.

Залежність $W_{BV3}(X_{3Д})$ витікає із залежності $W_{CO}(X_{3Д})$ з урахуванням виразів (13)–(15). Зі зменшенням $X_{3Д}$ ймовірність виконання вогневого завдання зростає прогресивно. Для наведеного прикладу приріст W_{BV3} на кожні 50 м скорочення відстані забійної дії наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність $W_{BB3}(X_{3Д})$ для 9-мм пістолета Макарова ПМ

$X_{3Д}$, м	W_{BB3}	Приріст W_{BB3} на кожні 50 м скорочення $X_{3Д}$, %
50	0,947	13,9
100	0,831	8,6
150	0,765	4,5
200	0,732	2,7
250	0,713	1,9
300	0,700	0,9
350	0,694	–

У випадку, коли енергетичні характеристики ПЕ перевищують значення, що необхідні для надійного ураження цілі до зазначеної вище небезпеки ураження сторонньої особи внаслідок промаху повз ціль може додатися небезпека її ураження кулею, що пробила ціль наскрізь.

Слід зазначити, що на величину $\Delta X_{нев}$ суттєво впливає стабільність дульної швидкості кулі, що витікає з виразу (19). Розширення діапазону $\Delta X_{нев}$ негативно відбивається на ефективності виконання вогневого завдання. Значення V_0 залежить від низки чинників, зокрема від значень параметрів заряджання [24]. Тому забезпеченню стабільності значень параметрів заряджання слід приділяти значну увагу. Можливі шляхи підвищення стабільності дульної швидкості поражаючих елементів кінетичної зброї наведені в роботі [25].

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Сильними сторонами дослідження є використання добре апробованих класичних підходів у галузях зовнішньої балістики та ефективності стрільби, що забезпечує високу надійність прогнозів. У практичному аспекті очікується значний позитивний ефект від можливості знизити ймовірність ураження сторонніх осіб та підвищити ефективність виконання вогневих завдань силами безпеки.

Weaknesses. До слабких сторін слід віднести складність практичної реалізації вимоги щодо максимального скорочення різниці між прицільною дальністю зброї та дальністю, на якій куля зберігає забійну дію. Це обумовлено низькою стабільністю дульної швидкості кулі при використанні недостатньо якісних боеприпасів (тривалого зберігання, різних виробників тощо).

Opportunities. Перспективними представляються дослідження можливостей стрибкоподібного зниження швидкості кулі на прицільній відстані зброї, що дозволить максимально скоротити різницю між прицільною дальністю зброї та дальністю, на якій куля зберігає забійну дію.

Threats. Практична реалізація отриманих ідей пов'язана з необхідністю підвищення якості боеприпасів або розробки нових патронів зі

стрибкоподібним зниженням швидкості кулі, що потребує додаткових матеріальних витрат.

8. Висновки

1. Проведений аналіз відомих досліджень показав, що існуючий науково-методичний апарат визначення ефективності стрільби не дозволяє визначати ефективність виконання вогневого завдання з урахуванням безпечності застосування стрілецької зброї через недосконалість відповідних моделей. Тому було вдосконалено модель процесу виконання вогневого завдання шляхом урахування впливу балістичних характеристик зброї на ймовірності ураження сторонніх осіб. Це створює можливість для оцінювання безпечності застосування зброї.

2. Досліджено вплив балістичних характеристик зброї на ефективність стрільби з урахуванням безпечності застосування стрілецької зброї. Встановлено, що характер залежності WBBЗ (ХЗД) свідчить про необхідність максимального скорочення різниці між прицільною дальністю зброї та дальністю, на якій куля зберігає забійну дію. Надмірна енергія кулі підвищує ймовірність ураження сторонньої особи через збільшення площі зони небезпеки її ураження внаслідок наскрізного пробиття цілі. На ймовірність виконання вогневого завдання з обмеженням щодо безпечності застосування зброї позитивно впливає підвищення стабільності дульної швидкості кулі.

Література

1. Ventcel, E. S., Ovcharov, L. A. (2000). *Teoriia veroiatnostoni i ee inzhenernye prilozheniia*. Moscow: Vysshaya shkola, 480.
2. Chernyshev, V. L. (2006). *Pokazateli effektivnosti ispolzovaniia vooruzheniia*. Moscow: MAI, 87.
3. Shereshevskii, M. S., Gontarev, A. N., Minaev, Iu. V. (1979). *Effektivnost strelby iz avtomaticheskogo oruzhiia*. Moscow: CNII informacii, 328.
4. Kyrychenko, I. O., Raskin, L. H. (2005). *Matematychni osnovy teorii vohnevykh duelei*. Kharkiv: Viisk. in-t VV MVS Ukrainy, 300.
5. Chervonii, A. A., Shvarc, V. A., Kozlovcev, A. P., Chobanian, V. A.; Chervonii, A. A. (Ed.) (1979). *Veroiatnostnye metody ocenki effektivnosti vooruzheniia*. Moscow: Voenizdat, 95.
6. Shipunov, A. G., Griazev, V. P., Berezin, S. M., Emec, A. I., Ignatov, A. V., Matasov, V. F. (2002). *Effektivnost i nadezhnost strelkovo-pushechnogo vooruzheniia*. Tula, 124.
7. Hu, C., Zhang, X. (2019). Influence of multiple structural parameters on interior ballistics based on orthogonal test methods. *Defence Technology*, 15 (5), 690–697. doi: <http://doi.org/10.1016/j.dt.2019.06.014>
8. Forrestal, M. J., Altman, B. S., Cargile, J. D., Hanchak, S. J. (1994). An empirical equation for penetration depth of ogive-nose projectiles into concrete targets. *International Journal of Impact Engineering*, 15 (4), 395–405. doi: [http://doi.org/10.1016/0734-743x\(94\)80024-4](http://doi.org/10.1016/0734-743x(94)80024-4)
9. Li Piani, T., Weerheijm, J., Sluys, L. J. (2018). Ballistic model for the

prediction of penetration depth and residual velocity in adobe: A new interpretation of the ballistic resistance of earthen masonry. *Defence Technology*, 14 (5), 607–611. doi: <http://doi.org/10.1016/j.dt.2018.07.017>

10. Bilenko, O. I. (2015). Osoblyvosti otsiniuvannia efektyvnosti strilby pry vykonanni spetsyfichnykh zavdan sylamy bezpeky. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii NHU*, 1 (25), 40–46.

11. Dmitrievskii, A. A. (1972). *Vneshniaia ballistika*. Moscow: Mashinostroenie, 584.

12. Kukhling, Kh. (1982). *Spravochnik po fizike*. Kharkiv-Moscow: Mir, 520.

13. *Nastavlenie po strelkovomu delu. 9-mm avtomaticheskii pistol Stechkina (APS)* (1968). Moscow: Voenizdat, 126.

14. *Rukovodstvo po 5,45-mm avtomatu Kalashnikova (AK74, AKC74, AK74N, AKC74N) i 5,45-mm ruchnomu pulemetu Kalashnikova (RPK74, RPKS74, RPK74N, RPKS74N)* (1982). Moscow: Voenizdat, 216.

15. *Nastavlenie po strelkovomu delu. 7,62-mm snaiperskaia vintovka Dragunova (SVD)* (1971). Moscow: Voenizdat, 175.

16. Bilenko, O. I. (2013). Formuvannia vymoh do rozkydu dulnykh shvydkostei metalnykh elementiv kinetychnoi zbroi. *Zbirnyk naukovykh prats Akademii VV MVS Ukrainy*, 1 (21), 16–20.

17. Bilenko, O. I. (2014). Rehlamentatsiia rozkydu znachen balistychnoho koefitsiientu porazhaiuchykh elementiv kinetychnoi zbroi dlia syl bezpeky. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii NHU*, 2 (24), 9–14.

18. Kolomyitsev, A. V., Sobokar, Y. S., Lavryk, V. A. et. al. (2008). Perspektyvi razvytyia porazhaiuchykh elementov travmatycheskoho deistvyia y medyko-krymynalystycheskaia otsenka nanesennikh ymy telesnykh povrezhdenyi. *Teoriia i praktyka sudovoi ekspertyzy i kryminalistyky*, 8, 225–234.

19. Schipin, A. I., Kovshov, N. V., Shestopalova, E. V., Diakova, E. Iu. (2006). *Ognevaia podgotovka v organakh vnutrennikh del*. Moscow: SCHit-M, 238.

20. *Nastavlenie po strelkovomu delu. 9-mm pistol Makarova (PM)* (1968). Moscow: Voenizdat, 103.

21. Gubin, S. G. (2012). *Effektivnost strelby iz vooruzheniia boevykh mashin i strelkovogo oruzhiia*. Novosibirsk: SGGA, 158.

22. *Nastavleniia po strelkovomu delu. Osnovy strelby iz strelkovogo oruzhiia* (1987). Moscow: Voenizdat, 540.

23. Bylenko, A. Y., Afanasev, V. V. (2007). Vplyv parametriv zariadzhannia na pochatkovu shvydkist kuli. *Vestnyk natsyonalnoho tekhnicheskoho unyversyteta «KhPY»*, 11, 33–37.

24. Bilenko, O. I., Pashchenko, V. V. (2010). Pidvyshchennia stabilnosti dulnoi shvydkosti porazhaiuchykh elementiv kinetychnoi zbroi nesmertelnoi dii. *Zbirnyk naukovykh prats Akademii vnutrishnykh viisk MVS Ukrainy*, 2, 5–10.