

УДК 629.076:623.426

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПРОНИКАЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ КУЛЬ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ У ЗАСОБИ ЗАХИСТУ

А.В. Ковтун¹,

канд. техн. наук, доцент

В.О. Табуненко²,

канд. техн. наук, доцент

С.І. Нестеренко³,

канд. техн. наук, доцент

О.В. Сальник²,

старший науковий співробітник

А.А. Недашковський²,

старший науковий співробітник

¹Національна академія Національної гвардії України, Харків²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків³Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків

DOI: 10.32347/2410-2547.2026.116.160-171

Анотація. В даній роботі розглянуто процес взаємодії кулі з захисними середовищами різного типу. Запропоновано метод визначення проникаючої здатності куль стрілецької зброї у засоби захисту та моделі визначення глибини проникнення кулі в перешкоди різного типу. Наведені результати розрахунків глибини проникання кулі із автомата АК-74 в захисні середовища різного типу. Подальше вдосконалення конструкцій бронезахисту може бути досягнуто шляхом розробки нових технічних рішень з використанням запропонованого методу визначення проникаючої здатності куль стрілецької зброї у засоби захисту.

Ключові слова: метод, модель, коефіцієнт, лобовий опір, куля, захисне середовище.

Постановка проблеми

Повномасштабне вторгнення рф в Україну і подальші етапи російсько-української війни характеризуються високою інтенсивністю бойових дій. Для відбиття російської агресії застосовується озброєння та військова техніка всієї номенклатури, яка наявна у Збройних Силах України. Урядом України прийнято рішення щодо розгортання повномасштабного виробництва багатьох видів озброєння, що зумовлює необхідність постійного дослідження досвіду його бойового застосування. Виникає необхідність в розробленні відповідного науково-методичного апарату для проведення зазначених досліджень [1].

Прийняття на озброєння іноземних та нових вітчизняних видів озброєння та боєприпасів вимагає проведення великого обсягу експериментальних досліджень. Але, короткочасний характер процесів, які відбуваються з боєприпасами на траєкторії, ускладнює безпосередні вимірювання величин, що їх характеризують, змушуючи використовувати складну вимірювальну та реєструючу апаратуру. У цьому контексті на перший план виходить математичне моделювання процесів зовнішньої балістики та аеродинаміки руху боєприпасів.

Метод математичного моделювання дозволяє суттєво скоротити терміни проведення випробувань та зменшити загальні витрати боєприпасів на їх випробування. Методи моделювання, основою яких є математичні розрахунки та формули, дозволяють визначити майбутню траєкторію польоту боєприпасів на підставі мінімального набору параметрів та в короткий термін. Цей метод дає можливість прискорити складання тимчасових таблиць стрільби для використання боєприпасів та пришвидшує їх надходження до підрозділів, які безпосередньо виконують завдання в зоні ведення бойових дій.

Крім того, методи математичного моделювання дозволяють отримати залежності для визначення рівня захищеності (визначити проникаючу здатність куль стрілецької зброї у засоби захисту) військовослужбовців при виконанні підрозділами завдань за призначенням, з урахуванням того, що

результативність заходів забезпечення захищеності особового складу залежить від типу захисних перешкод (наприклад, ґрунт, стіни, броня), а пробивна дія куль стрілецької зброї залежать від їх маси, форми та швидкості кулі в момент зустрічі з захисною перешкодою.

Тому розроблення науково-методичного апарату для проведення досліджень з визначення параметрів нового озброєння та підвищення балістичного захисту особового складу від дії стрілецької зброї залишається актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Науковою основою досліджень з визначення параметрів нового озброєння та підвищення балістичного захисту особового складу від дії стрілецької зброї є: теорії ефективності застосування та надійності озброєння та військової техніки, теорія дослідження операцій, теорія ймовірностей та математична статистика. Результати цих досліджень наведені в Державних стандартах України [2, 3].

Але, до теперішнього часу, поняття захищеності особового складу від дії стрілецької зброї не визначене державними стандартами, відсутня узагальнена теорія, що пояснює механізм пробивної дії кулі на перешкоди різних типів. При цьому, наукові дослідження процесів руху ударників в різних середовищах та динамічної взаємодії високошвидкісних ударників з перешкодами проводяться постійно. Так, в роботі [4] викладено результати експериментальної оцінки впливу швидкості навантаження на деформування конструкційної сталі звичайної якості та високоміцної сталі при випробуваннях на ударний стиск. Робота [5] присвячена розробці математичної моделі ударного пристрою з параметрами впливу на характеристики ударного імпульсу. В роботах [6,7] проведено огляд емпіричних підходів до визначення навантаження від випадкового чи навмисного ураження споруд цивільного та промислового призначення, утворення і розповсюдження повітряної ударної хвилі для оцінки навантаження від вибуху на конструкції споруд. В роботі [8] розглянуті особливості напружено-деформованого стану конструкцій складених з багатошарових елементів. Обґрунтована актуальність використання багатошарових несучих конструкцій в швидко-споруджуваних захисних спорудах в умовах можливих ударно-вибухових і вогневих уражень. В роботах [9, 10] розглянуті та систематизовані впливи ударної хвилі під час детонації вибухових речовин на конструкції будівель і методика розрахунків та обґрунтування вимог до інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури від ударів безпілотних літальних апаратів. Аналіз існуючих та перспективних методів визначення сили опору повітря руху по траєкторії снарядів і куль наведені в роботах [11 - 14]. Дослідженню співудару ударника та перешкоди, виведенню аналітичних залежностей для визначення глибини проникнення ударного елементу в перешкоду присвячені роботи [15-24].

Різними авторами були отримані емпіричні залежності, що враховують основні параметри влучання кулі у перешкоду (формули Петрі, Нобіле, Березанська та інші). Одна з відомих залежностей для визначення глибини впровадження кулі h в захисну перешкоду (формула Жакоб де Марра) має вид [20]:

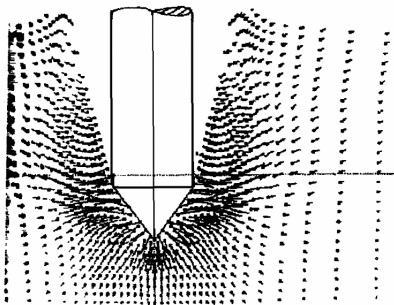


Рис. 1. Схема віхреутвореного руху матеріалу в області переходу від конічної головної частини ударника до його циліндричної частини

$$h = \left(\frac{V_0 \cdot m^{0.5}}{0,04 \cdot k \cdot d^{0.75}} \right)^{1,43}, \quad (1)$$

де k - коефіцієнт, що характеризує фізико-механічні властивості куль і перешкод ($k = 3300$ для куль зі сталевим не зміцненим осереддям, $k = 3000$ для куль зі сталевим зміцненим осереддям); m – маса кулі, г; d – калібр кулі, мм; V_0 – початкова швидкість кулі, м/с.

Процес проникнення кулі в захисну перешкоду з урахуванням в'язко пластичних ефектів, обумовлених високою швидкістю деформації захисної перешкоди, досліджено в роботі [22]. На основі моделі взаємодії кулі з перешкодою (рис. 1),

отримано вираз для визначення глибини її проникання в в'язкопластичне середовище:

$$h = \frac{d \cdot \rho \cdot V_k^2}{f_v} \left[1 - \frac{f_{st}}{f_v} \cdot \ln\left(1 + \frac{f_v}{f_{st}}\right) \right], \quad (2)$$

де d – діаметр кулі, м; ρ – щільність матеріалу кулі, кг/м³; f – твердість матеріалу перешкоди, од.тв.; $f_v = \frac{\mu V_k}{d}$; V_k – швидкість кулі, м/с; μ – коефіцієнт в'язкості матеріалу перешкоди, м²/с.

При цьому, результати експериментальних досліджень по пробиттю захисних перешкод зі сталі, проведені авторами роботи [25], не співпадають з результатами розрахунків, що виконані за відомими формулами. Наприклад, розрахунок за формулою Жакоб де Марра (пробиття захисної перешкоди зі сталі для куль зі сталевим зміцненим осереддям $k = 3000$; $m = 4$ г; калібр кулі $d = 5,45$ мм; з АК-74, $V_0 = 900$ м/с) дає результат: $h = 4$ мм. Розрахунок за формулою (2) (пробиття захисної перешкоди зі сталі для куль зі сталевим зміцненим осереддям: $\mu = 5000$ м²/с; $f_{st} = 1310$ МПа; калібр кулі $d = 5,45$ мм; з АК-74, $V_0 = 915$ м/с) дає результат: $h = 9$ мм.

Таким чином, у відомих роботах не наведені данні з узагальненої оцінки існуючого науково-методичного апарату з визначення рівня балістичних параметрів стрілецької зброї та захищеності особового складу від її дії.

Мета статті – отримати залежності для визначення балістичних параметрів нового озброєння та рівня захищеності (визначити проникаючу здатність куль стрілецької зброї у засоби захисту) військовослужбовців при виконанні підрозділами завдань за призначенням.

Основний матеріал. При вивченні нових явищ (процесів, об'єктів) використовується метод математичного моделювання. Математичною моделлю об'єкта є опис його поведінки, який дозволяє визначити його основні характеристики. При цьому процес функціонування об'єкта розглядається у деякому інтервалі часу, а його стан у кожний момент часу задається набором параметрів, які характеризують його поведінку. На різних етапах дослідження об'єкта математична модель може змінюватися залежно від кількості врахованих параметрів, які впливають на поведінку об'єкта. Математична модель повинна бути відносно простою, і, водночас, достатньо складною, щоб з необхідним ступенем точності відображати об'єкт, який досліджується.

Основним методом дослідження процесу польоту кулі і пробивання нею перешкоди є поєднання аналітичних і експериментальних досліджень. Аналітичні методи дослідження ґрунтуються на математичному моделюванні етапів польоту кулі в повітрі та її взаємодії з елементами захисної перешкоди (з подальшим проведенням відповідних математичних розрахунків). Експериментальні методи дослідження потребують проведення досліджень в лабораторних або полігонних умовах для визначення необхідних коефіцієнтів математичних моделей. Поєднання результатів аналітичних та експериментальних досліджень дозволяє отримати залежності для визначення балістичних параметрів нового озброєння та визначити проникаючу здатність куль стрілецької зброї у засоби захисту військовослужбовців при виконанні підрозділами завдань за призначенням.

На кулю, що рухається в безповітряному просторі діє одна сила – сила тяжіння, яка разом з початковою швидкістю і кутом кидання визначає форму траєкторії її польоту (рис. 2).

При польоті в повітрі на кулю діють дві зовнішні сили: сила опору повітря і сила тяжіння. Сила опору повітря перешкоджає руху кулі (рис. 3).

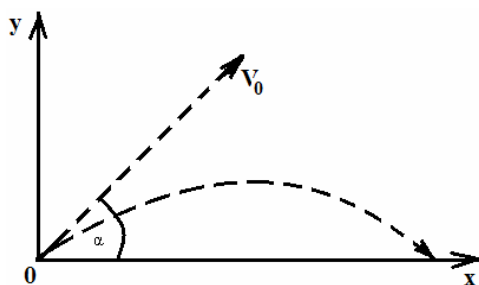


Рис. 2. Траєкторія польоту кулі, що рухається в безповітряному просторі

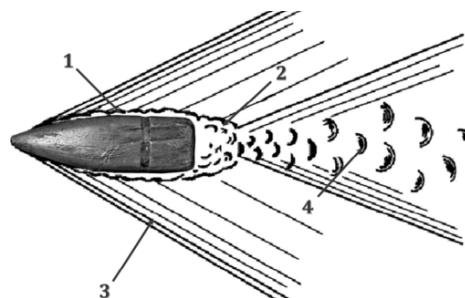


Рис. 3. Основні складові сили опору повітря
1 – тертя (дотичні напруги); 2 – розріджений простір; 3 – ударна хвиля; 4 – турбулентні завихрення

Сила тяжіння викликає зниження траєкторії польоту кулі (рис. 4).

У векторній формі диференційне рівняння руху кулі в повітрі, як матеріальної точки, має вигляд [11 - 14]:

$$\frac{G}{g} \cdot \ddot{a} = \vec{P} + \vec{G}, \quad (3)$$

де a – прискорення центру маси кулі, м/с²; G – сила тяжіння кулі, Н; g – прискорення вільного падіння, м/с²; P – сила лобового опору, Н.

Стандартна форма запису величини сили P має вигляд [11 - 14]:

$$P = c_x \cdot F_k \cdot \frac{\rho_n \cdot V_k^2}{2}, \quad (4)$$

де c_x – аеродинамічний коефіцієнт сили лобового опору повітря, який визначається за результатами випробувань (стрільб з вимірюванням швидкості кулі або продувок у аеродинамічних трубах); ρ_n – масова щільність повітря, кг/м³; F_k – площа найбільшого поперечного перерізу кулі, м²; V_k – швидкість польоту кулі, м/с.

Коефіцієнт c_x є функцією числа Маха, що визначається за формулою:

$$M = \frac{V_k}{a}, \quad (5)$$

де a – швидкість звуку в конкретних атмосферних умовах, м/с.

Маса кулі визначається її обсягом W_k і щільністю матеріалу ρ_k :

$$m_k = \rho_k \cdot W_k. \quad (6)$$

Прискорення, яке викликає сила лобового опору повітря:

$$j = \frac{P}{m_k} = c_x \cdot F_k \cdot \frac{\rho_n \cdot V_k^2}{2 \cdot \rho_k \cdot W_k} = K \cdot V_k^2, \quad (7)$$

$$K = c_x \cdot F_k \cdot \frac{\rho_n}{2 \cdot \rho_k \cdot W_k}. \quad (8)$$

Постійна K визначається безпосередньо з параметрів кулі та опору середовища.

Математична модель руху кулі в повітрі (наведена в роботі [11]) складається з 6-ти рівнянь, які мають 9 змінних: $t, x, y, s, u, V, \alpha, P$ (де t – час, год; V – величина швидкості кулі в довільний момент часу, м/с; x, y – вісі координат, м; s – шлях, що пройшла куля, м; u – проекція вектора швидкості на вісь x , м/с; α – поточне значення кута між дотичною в довільній точці траєкторії та віссю x , град).

Виключивши 7 змінних за допомогою шести рівнянь та проінтегрувавши рівняння з двома змінними, отримуємо рівняння траєкторії руху кулі в площині стрільби (xOy):

$$\frac{d^3 y}{dx^3} = 2 \cdot K \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}. \quad (9)$$

Це звичайне диференціальне рівняння третього порядку.

Рішення цього рівняння приводить до виразу:

$$\frac{K \cdot V_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} = \frac{e^{2 \cdot K \cdot X} - 2 \cdot K \cdot X - 1}{2 \cdot K \cdot X}, \quad (10)$$

де X – відстань, яку пройшла куля у середовищі, м.

Для рішення цього рівняння необхідно використати данні таблиці 1, яка надає допоміжну величину λ в функції $2 \cdot K \cdot X = f(\lambda)$

$$\lambda = \frac{e^{2 \cdot K \cdot X} - 2 \cdot K \cdot X - 1}{2 \cdot K \cdot X}. \quad (11)$$

При цьому, величина λ попередньо повинна бути поражена з виразу:

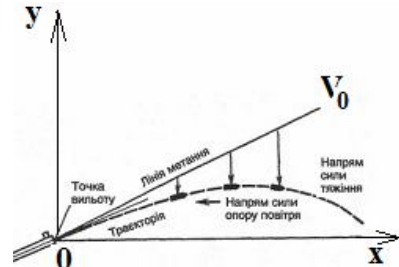


Рис. 4. Траєкторія польоту кулі, що рухається в повітрі

$$\lambda = \frac{K \cdot V_0^2 \cdot \sin(2 \cdot \alpha)}{g}, \quad (12)$$

$$2 \cdot K \cdot X = f(\lambda). \quad (13)$$

Значення $2 \cdot K \cdot X$ і λ наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахункові значення $2 \cdot K \cdot X$ і λ

$2 \cdot K \cdot X$	λ	$2 \cdot K \cdot X$	λ	$2 \cdot K \cdot X$	λ	$2 \cdot K \cdot X$	λ
0,00	0,00	5,0	28,48	10,0	2202	15,0	217900
0,5	0,297	5,5	43,3	10,5	3458	16,0	555380
1,0	0,72	6,0	66,0	11,0	5442	17,0	1420878
1,5	1,32	6,5	101,18	11,5	8584	18,0	3647775
2,0	2,19	7,0	155,5	12,0	13560	19,0	9393805
2,5	3,47	7,5	239,8	12,5	21460	20,0	24258262
3,0	5,36	8,0	371,49	13,0	34030	21,0	62800742
3,5	8,17	8,5	577,0	13,5	54030	22,0	162950560
4,0	12,4	9,0	898,12	14,0	85860		
4,5	18,78	9,5	1405,2	14,5	136800		

За допомогою рівнянь (8, 10-13) визначимо відстань, яку проходить куля з автомата АК-74 в різних середовищах. Для цього необхідно визначити коефіцієнт лобового опору руху кулі c_x у конкретному середовищі, який є динамічною величиною, що залежить від форми кулі, її швидкості, умов обтікання та параметрів середовища. Коефіцієнт лобового опору для стандартних куль у середовищі значно вищий, ніж у повітрі, через значно більшу щільність середовища. До теперішнього часу, дослідники не мають єдиної думки, щодо визначення коефіцієнту лобового опору, який би враховував сумарні властивості кулі та перешкоди. В різних публікаціях значення цього коефіцієнту для кулі коливаються в межах від $c_{xП} = (0,15 \div 0,4)$ для руху в повітрі до $c_{xB} = 135$ при пробитті броні [15, 20].

Величину коефіцієнту лобового опору c_{xi} середовища можна знайти за допомогою виразів (8), (12), (13), визначивши величину X з експериментів, в яких відома дальність проникнення куль у відповідне середовище. У табл. 2 наведені результати експериментальних досліджень з визначення глибини проникнення кулі патрона 7,62x54 мм гвинтівки АВС-36 [15,20] в різні матеріали (стовпець 2) та результати розрахунків коефіцієнтів лобового опору (стовпець 3).

Таблиця 2

Пробивна дія кулі 7,62x54 мм гвинтівки АВС-36

Середовище (матеріал)	Глибина проникнення кулі, см	Коефіцієнт лобового опору c_{xi}
Сталева плита	0,6	20,0
Цегельна кладка	15-20	3,0
Соснові дошки	80	6,5
Шар землі	60-70	2,25
Вода	100	2,5

За допомогою рівнянь (6,8,10-13) визначимо максимальну відстань, яку проходить куля з автомата АК-74 в повітрі ($c_{xП} = 0,26$ [11] - коефіцієнт опору руху кулі в повітрі; $V_0 = 900$ м/с; $d_k = 0,00562$ м; $L_k = 0,0237$ м; $\alpha = 45^0$; $\rho_n = 1,25$ кг/м³; $\rho_k = 6800$ кг/м³; $F_k = 2,5 \cdot 10^{-5}$ м²; $W_k = 5,9 \cdot 10^{-7}$ м³).

За формулою (8):

$$K_{П} = 0,26 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1,25}{2 \cdot 6800 \cdot 5,9 \cdot 10^{-7}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}.$$

За формулою (12):

$$\lambda_{II} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 900^2 \cdot \sin 2 \cdot 45}{9,81} = 83,6.$$

З таблиці 1 визначаємо значення функції $f(\lambda)$.

Звідки

$$X = \frac{f(\lambda)}{2 \cdot K_{II}} = \frac{6,3}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 3150 \text{ м.}$$

З наукової літератури відомо, що максимальна дальність польоту кулі в повітрі для автомата АК-74 становить близько 3150 метрів [15, 20].

Відомо, що головною характеристикою кулі є її пробивна здатність, яка залежить від її маси, форми, конструкції, швидкості, наявності осереддя та його характеристик, матеріалів з яких вона виготовлена [15, 20]. Осереддя кулі може бути свинцевим, свинцевим та сталевим, сталевим, сталевим з додавкою вольфраму або інших матеріалів, термозміцненим. Кулі з свинцевим осереддям мають меншу пробивну здатність оскільки вони при зіткненні з перешкодою зазнають значної деформації. Кулі з сталевим осереддям мають більшу пробивну здатність, тому що при зіткненні з перешкодою деформується або руйнується оболонка і свинцева сорочка, а осереддя зберігає свою форму. В якості бронебійних куль використовують кулі, які мають термозміцнене осереддя з високо вуглецевої сталі або з додавкою вольфраму.

За допомогою рівнянь (6,8,10-13) визначимо максимальну відстань, яку проходить куля з автомата АК-74 в різних середовищах при тих же параметрах кулі, крім щільності середовища та коефіцієнта лобового опору руху кулі для даного середовища.

1. Визначення відстані, яку проходить куля з автомата АК-74 у воді $\rho_g = 1000 \text{ кг/м}^3$ - щільність води; $c_{xB} = 2,5$ - коефіцієнт опору руху кулі у воді (рис. 5).



Рис. 5. Рух кулі у воді

За формулою (8):

$$K_B = 2,5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1000}{2 \cdot 6800 \cdot 5,9 \cdot 10^{-7}} = 7,75 \text{ м}^{-1}.$$

За формулою (12):

$$\lambda_B = \frac{7,75 \cdot 900^2 \cdot \sin(2 \cdot 45)}{9,81} = 639908.$$

З таблиці 1 визначаємо значення функції

$f(\lambda)$.

Звідки

$$X = \frac{f(\lambda)}{2 \cdot K_B} = \frac{15,8}{2 \cdot 7,75} = 1 \text{ м.}$$

2. Визначення відстані, яку проходить куля з автомата АК-74 у деревині (рис. 6) ($\rho_d = 600 \text{ кг/м}^3$; $c_{xD} = 6,5$ - коефіцієнт опору руху кулі у деревині).

За формулою (8):

$$K_D = 6,5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{600}{2 \cdot 6800 \cdot 5,9 \cdot 10^{-7}} = 12,4 \text{ м}^{-1}.$$

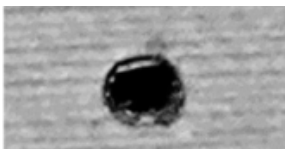
За формулою (12):

$$\lambda_D = \frac{12,4 \cdot 900^2 \cdot \sin(2 \cdot 45)}{9,81} = 1023853.$$

З таблиці 1 визначаємо значення функції $f(\lambda)$.

Звідки

$$X = \frac{f(\lambda)}{2 \cdot K_D} = \frac{19,6}{2 \cdot 12,4} = 0,79 \text{ м.}$$



(а)



(б)

Рис. 6. Вогнепальне пошкодження в дерев'яному бруску: вхідний отвір (а); вихідний отвір (б)

З наукової літератури відомо, що пробивна здатність кулі з автомата АК-74 стінки з сухих соснових брусків складає, приблизно, 0,8 м [15].

3. Визначення відстані, яку проходить куля з автомата АК-74 у піску (рис. 7) ($\rho_{\text{пс}} = 1650 \text{ кг/м}^3$; $c_{\text{спс}} = 2,25$ - коефіцієнт опору руху кулі у піску).



Рис. 7. Військовослужбовець захищений мішками з піском (грунтом)

За формулою (8):

$$K_{\text{пс}} = 2,25 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1650}{2 \cdot 6800 \cdot 5,9 \cdot 10^{-7}} = 1,6 \text{ м}^{-1}.$$

За формулою (12):

$$\lambda_{\text{пс}} = \frac{11,6 \cdot 900^2 \cdot \sin(2 \cdot 45)}{9,81} = 954500.$$

З таблиці 1 визначаємо значення функції $f(\lambda)$.

Звідки

$$X = \frac{f(\lambda)}{2 \cdot K_{\text{пс}}} = \frac{16,5}{2 \cdot 1,6} = 0,7 \text{ м}.$$

З наукової літератури відомо, що пробивна здатність кулі з автомата АК-74 земляної загорожі з утрамбованого суглинистого ґрунту складає 0,7 м [15].

4. Визначення відстані, яку проходить куля з автомата АК-74 у цегляній кладці (рис. 8) ($\rho_{\text{ц}} = 1900 \text{ кг/м}^3$; $c_{\text{хц}} = 3$ - коефіцієнт опору руху кулі у цеглі).



Рис. 8. Військовослужбовці ведуть вогонь через цегляну кладку

За формулою (8):

$$K_{\text{ц}} = 3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1900}{2 \cdot 6800 \cdot 5,9 \cdot 10^{-7}} = 35,4 \text{ м}^{-1}.$$

За формулою (12):

$$\lambda_{\text{ц}} = \frac{35,4 \cdot 900^2 \cdot \sin(2 \cdot 45)}{9,81} = 2922936.$$

З таблиці 1 визначаємо значення функції $f(\lambda)$.

Звідки

$$X = \frac{f(\lambda)}{2 \cdot K_{\text{ц}}} = \frac{16}{2 \cdot 35,4} = 0,22 \text{ м}.$$

З наукової літератури відомо, що пробивна здатність кулі з автомата АК-74 земляної загорожі з утрамбованого суглинистого ґрунту складає до 0,7 м [15].

5. Визначення відстані, яку проходить куля з автомата АК-74 у сталі ($\rho_{\text{ст}} = 7800 \text{ кг/м}^3$; $c_{\text{хст}} = 20$ - коефіцієнт опору руху кулі у сталі).

За формулою (8):

$$K_{\text{ст}} = 20 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{7800}{2 \cdot 6800 \cdot 5,9 \cdot 10^{-7}} = 486 \text{ м}^{-1}.$$

За формулою (12):

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{486 \cdot 900^2 \cdot \sin(2 \cdot 45)}{9,81} = 40108303.$$

З таблиці 1 визначаємо значення функції $f(\lambda)$.

Звідки

$$X = \frac{f(\lambda)}{2 \cdot K_{\text{ст}}} = \frac{20,5}{2 \cdot 486} = 0,021 \text{ м}.$$

Результат експериментальних досліджень по пробиттю захисних перешкод зі сталі 3 з автомату АК-74 з відстані 10 м (рис.9) дає результат: $X = (21 \pm 0,5)$ мм, з ймовірністю 0,95 [25].



Рис. 9. Результати експериментальних досліджень по пробиттю захисних перешкод зі сталі

Таким чином, запропонований метод визначення проникаючої здатності куль стрілецької зброї у засоби захисту дозволяє визначити балістичні параметри нового озброєння та рівня захищеності військовослужбовців при виконанні підрозділами завдань за призначенням.

Висновки

1. Досліджено процес взаємодії кулі із захисними середовищами різного типу. Запропоновано аналітично-розрахунковий спосіб визначення коефіцієнту лобового опору руху кулі у конкретному середовищі.

2. Запропоновано метод визначення проникаючої здатності куль стрілецької зброї у засоби захисту.

3. Проведені розрахунки глибини проникання кулі із автомата АК-74 в захисні середовища різного типу.

4. Подальше вдосконалення конструкцій бронезахисту може бути досягнуто шляхом розробки нових технічних рішень з використанням запропонованого методу визначення проникаючої здатності куль стрілецької зброї у засоби захисту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васківський М.І. (2024) Методичний підхід до проведення аналізу іноземного озброєння та військової техніки в інтересах узагальнення досвіду його бойового застосування та експлуатації. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ: Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (Львів, 15-16 травня 2024 р. 490 с). – Львів: НАСВ, с. 7–9.
2. ДСТУ В 8821:2018. Стандартизація у сфері озброєння та військової техніки. Частина 1. Основні терміни та визначення понять. [Чинний від 01.09.2019]. Вид. офіц. – Київ: ДП УкрНДНЦ, – 44 с.
3. ДСТУ В 15.003:2021. Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Процеси життєвого циклу озброєння та військової техніки. [Чинний від 01.09.2022]. Вид. офіц. – Київ: ДП УкрНДНЦ, – 100 с.
4. Чижик Г.В., Рогол Л., Корнева А., Широков А.В., Березовський О.М., Бісик С.П., Сливінський О.А. (2025) Особливості деформування та руйнування сталей різних класів міцності в умовах ударного стиску. – Київ: Проблеми міцності, №1, с. 87–100.
5. Слиденко В. Розробка дискретно-безперервної математичної моделі ударного пристрою з параметрами впливу на характеристики ударного імпульсу / В. Слиденко, О. Слиденко, Л. Марчук та інш. (2023) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, №5(7). – с.70–79.
6. Шугайло О.П., Халченко О.В., (2025) Емпіричні та чисельні підходи до моделювання навантажень від засобів повітряного ураження. Повідомлення 1. Огляд і порівняння емпіричних методів". – Київ: Проблеми міцності, № 2. – с.45–58.
7. Шугайло О.П., Халченко О.В., (2025) Емпіричні та чисельні підходи до моделювання навантажень від засобів повітряного ураження. Повідомлення 2. Чисельне моделювання вибуху. – Київ: Проблеми міцності, № 3. – с. 34–45.
8. Іванченко Г.М., Гетун Г.В., Безклубенко І.С., Соломін А.В., Гетун С.Ю. (2024) Математична модель напружено-деформованого стану багатопарових конструкцій з різними пружними властивостями. – Київ: Опір матеріалів і теорія споруд / Strength of Materials and Theory of Structures, № 113. – с.131–138.
9. Іванченко Г.М., Гетун Г.В., Безклубенко І.С., Соломін А.В., Постернак О.М. (2023) Вплив вибухових навантажень на будівлі та споруди цивільного захисту населення. – Київ: Опір матеріалів і теорія споруд / Strength of Materials and Theory of Structures, № 111. – с. 39–43.
10. Кощоруба В.І., Білик А.С., Веретнов А.О., Гайдарли Г.С., Борта Р.М., Тертишний Б.І. (2022) Методика розрахунків та обґрунтування вимог до інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури від БПЛА типу баражуючий

- босприпаси. – Київ: Опір матеріалів і теорія споруд / Strength of Materials and Theory of Structures, № 109. – с. 164 – 183.
11. Малюк В. Г., Калита О. М., Зюбан М. І. (2011) Комп'ютерна модель для аналізування факторів, що впливають на політ кулі стрілецької зброї. – Харків: Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. Вип. 1 (17). – с. 65 – 71.
 12. Грабчак В.І., Бондаренко С.В. (2013) Аналіз існуючих та перспективних методів визначення сили опору повітря руху снарядів. – Львів: Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, 2(9). – с. 20 – 24.
 13. Гайда П. І., Трофименко П. С., Ляпа М. М. (2011) Основи теорії польоту і конструкції ракет : навч. посіб. – Суми: Сумський державний університет. – 248 с.
 14. Кубота Т., Ісікава Х., Такада С. (2025) Вязкий опір при руху еліптичного інтродера в двомірному гранулярному середовищі. – Київ: Проблеми міцності, №4. – с. 125 – 135.
 15. Ніколаєв С.В. (2021) Стрілецька зброя та вогнева підготовка: конспект лекцій. –Одеса: Одеський державний екологічний університет. – 125 с.
 16. Турський О. Ю., Семенов М. В. (2024) Інженерне забезпечення бою: навч. посіб. – Київ: КІ НГУ. – 256 с.
 17. Скиба О.В., Шабанова О.В., Рибачок Д.В., Озеран Г.П. (2025) Погляди щодо конструкції вогневих споруд з урахуванням сучасних загроз та результатів випробувань. –Дніпро: Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ, Вип. 3(25). – с.67 – 76.
 18. Вайда Т.С., Кузнєцов О.С. (2020) Індивідуальні засоби бронезахисту правоохоронців: деякі аспекти класифікації та категорювання. Службово-бойова підготовка як основа професійної діяльності поліцейських: матеріали круглого столу (м. Одеса, 27 листопада 2020 року). – Одеса: ОДУВС. – с. 194 с.
 19. Бірюков І.Ю., Бірюков О.І. (2020) Формалізація залежності впливу зміни початкової швидкості куль короткоствольної зброї на їх вражаючі властивості. Інтегровані технології та енергозбереження № 2. – с. 37 – 48.
 20. Петрученко О.С. (2018) Обґрунтування параметрів багатошарової захисної конструкції бойових машин на основі нелінійних математичних моделей. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (кандидата технічних наук) за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин/ О.С. Петрученко – Львів: –160 с.
 21. Величко Л. Д., Петрученко О. С., Кондрат В. Ф. (2015) Динаміка захисної конструкції при ударі кулі або осколка снаряда. – Львів: Військово-технічний збірник Академія сухопутних військ, № 13, Львів: АСВ. – с. 13 – 19.
 22. Харченко В. В. (1999) Моделі процесів високошвидкісного деформування матеріалів з урахуванням вязкопластичних ефектів. – Київ: НАНУ, ІПМ. – 280 с.
 23. Tannachart Wantang, Manop Pipathattakul, Fasai Wiwatwongwana (2023) Experimental investigation of Ballistic capabilities in Carbon-Kevlar composites: Effects of weight and layer variations against 9 mm projectiles. Results in Materials. Vol. 20, pp.1–11.
 24. Kristoffersen M., Costas M., Koenis T., Brotan V., Paulsen C., Borvik T. (2020) On the ballistic perforation resistance of additive manufactured AlSi10Mg aluminium plates. International Journal of Impact Engineering, Vol. 137. pp.1–16.
 25. Ковтун А. Моделі взаємодії високошвидкісного ударника з захисними перешкодами / Ковтун А., Табуненко В., Нестеренко С. // – Київ: Опір матеріалів і теорія споруд/ Strength of Materials and the Theory of Structures. – 2019. – № 102. – с. 207-219.

REFERENCES

1. Vaskivskyy M.I. (2024) Metodichnyy pidkhdid do provedennya analizu inozemnoho ozbroynnya ta viyskovoyi tekhniky v interesakh uzahalennya dosvidu yoho boyovoho zastosuvannya ta ekspluatatsiyi. (Methodical approach to analyzing foreign weapons and military equipment in the interests of generalizing the experience of its combat use and operation) Perspektivnyy rozvytku ozbroynnya ta viyskovoyi tekhniky Sukhoputnykh viysk: Zbirnyk tez dopovidey Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi (Lviv, 15-16 travnya 2024 r. 490 s). – Lviv: NASV, s. 7 – 9.
2. DSTU V 8821:2018. Standartyzatsiya u sferi ozbroynnya ta viyskovoyi tekhniky. Chastyna 1. Osnovni terminy ta vyznachennya ponyat (Standardization in the field of armaments and military equipment. Part 1. Basic terms and definitions)[Chynnyy vid 01.09.2019]. Vyd. ofits. (DSTU V 8821:2018. . – Kyiv: DP UkrNDNTS. – 44 s.
3. DSTU V 15.003:2021. Systema rozroblennya i postavlennya na vyrobnytstvo ozbroynnya ta viyskovoyi tekhniky. Protsey zhytlyevoho tsykladu ozbroynnya ta viyskovoyi tekhniky (System for the development and production of weapons and military equipment. Life cycle processes of weapons and military equipment) [Chynnyy vid 01.09.2022]. Vyd. ofits. (DSTU V 15.003:2021. . – Kyiv: DP UkrNDNTS, – 100 s.
4. Chyzyk H.V., Rohal L., Korneva A., Shyrovkov A.V., Berezovskyy O.M., Bisyk S.P., Slyvinskyy O.A. (2025) Osoblyvosti deformuvannya ta ruynuvannya staley riznykh klasiv mitsnosti v umovakh udarnoho stytku. (Features of deformation and fracture of steels of different strength classes under impact compression conditions). – Kyiv: Problemy mitsnosti, №1, s. 87 – 100.
5. Slydenko V. Rozrobka diskretno-bezperervnoyi matematychnoyi modeli udarnoho prystroyu z parametry vplyvu na kharakterystyky udarnoho impulsu/V. Slydenko, O. Slydenko, L. Marchuk ta insh. (2023) (Development of a discrete-continuous mathematical model of an impact device with parameters influencing the characteristics of the impact pulse) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, №5(7). – s.70 – 79.
6. Shuhaylo O.P., Khalchenkov O.V. (2025) Empyrychni ta chyselni pidkhody do modelyuvannya navantazhen vid zasobiv povitryanoho urazhennya. Povidomlennya 1. Ohlyad i porivnyannya empyrychnykh metodiv". (Empirical and numerical approaches to modeling loads from air weapons. Message 1. "Review and comparison of empirical methods"). – Kyiv: Problemy mitsnosti, № 2. – s.45 – 58.
7. Shuhaylo O.P., Khalchenkov O.V. (2025) Empyrychni ta chyselni pidkhody do modelyuvannya navantazhen vid zasobiv povitryanoho urazhennya. Povidomlennya 2. Chyselne modelyuvannya vybukhu. (Empirical and numerical approaches to

- modeling loads from air weapons. Message 2. Numerical modeling of explosion). – Kyiv: Problemy mitsnosti, № 3. – s. 34 – 45.
8. Ivanchenko H.M., Hetun H.V., Bezklubenko I.S., Solomin A.V., Hetun S.YU. (2024) Matematychna model napruzhenodeformovanoho stanu bahatosharovykh konstruktsiy z riznymy pruzhnymy vlastyvostyamy. (Mathematical model of the stress-strain state of multilayer structures with different elastic properties). – Kyiv: Opir materialiv i teoriya sporud / Strength of Materials and Theory of Structures, № 113. – s.131 – 138.
 9. Ivanchenko H.M., Hetun H.V., Bezklubenko I.S., Solomin A.V., Posternak O.M. (2023) Vplyv vybukhovyykh navantazhen na budivli ta sporudy tsyvilnoho zakhystu naselelynya. (The impact of explosive loads on buildings and civil defense structures). – Kyiv: Opir materialiv i teoriya sporud / Strength of Materials and Theory of Structures, № 111. – s. 39 – 43.
 10. Kotsyuruba V.I., Bilyk A.S., Veretnov A.O., Haydarly H.S., Borta R.M., Tertyshnyy B.I. (2022) Metodyka rozrakhunkiv ta obgruntuvannya vymoh do inzhenernoho zakhystu ob'ektiv krytychnoyi infrastruktury vid BPLA typu barazhuuyuchy boyeprypasy. (Calculation methodology and justification of requirements for engineering protection of critical infrastructure facilities from loitering munitions-type UAVs). – Kyiv: Opir materialiv i teoriya sporud / Strength of Materials and Theory of Structures, № 109. – s. 164 – 183.
 11. Maluk V. H., Kalyta O. M., Zyuban M. I. (2011) Kompyuterna model dlya analizuvannya faktoriv, shcho vplyvayut na polit kuli striletskoyi zbroyi. (Computer model for analyzing factors affecting the flight of a small arms bullet). – Kharkiv: Zbirnyk naukovykh prats Akademiyi vnutrishnikh viysk MVS Ukrayiny. Vyp. 1 (17). – s. 65 – 71.
 12. Hrabchak V.I., Bondarenko S.V. (2013) Analiz isnyuyuchykh ta perspektyvnykh metodiv vyznachennya syly oporu povitrya rukhu snaryadiv. (Analysis of existing and promising methods for determining the air resistance of projectiles). – Lviv: Viyskovo-tekhnichnyy zbirnyk Akademiyi sukhoputnykh viysk imeni hetmana Petra Sahaydachnoho, Lviv, 2(9). – s. 20 – 24.
 13. Hayda P. I., Trofymenko P. YE., Lyapa M. M. (2011) Osnovy teorii polotu i konstruktsiyi raket : navchalnyy posibnyk. (Fundamentals of flight theory and rocket design). – Sumy: Sums'kyy derzhavnyy universytet. – 248 s.
 14. Kubota T., Isikava KH., Takada S. (2025) Vyazkyy opir pry rukhu eliptychnoho intrudera v dvomirnomu hranulyarnomu seredivyshchi. (Viscous drag during the motion of an elliptical intruder in a two-dimensional granular medium). – Kyiv: Problemy mitsnosti, №4. – s. 125 – 135.
 15. Nikolayev S.V. (2021) Striletska zbroya ta vohneva pidhotovka: konspekt lektsiy. (Small arms and firearms training). – Odesa: Odes'kyy derzhavnyy ekolohichnyy universytet. – 125 s.
 16. Turs'kyy O.YU., Semenov M.V. (2024) Inzhenerne zabezpechennya boyu: navch. posib. (Engineering support of the battle). – Kyiv : KI NHU. – 256 s.
 17. Skyba O.V., Shabanova O.V., Rybachok D.V., Ozeran H.P. (2025) Pohlyady shchodo konstruktsiyi vohnevyykh sporud z urakhuvanniam suchasnykh zahroz ta rezultativ vyprobuvan. (Views on the design of fire structures taking into account modern threats and test results). – Dnipro: Zbirnyk naukovykh prats DNDI VS OVT, Vyp. 3(25). – s.67 – 76.
 18. Vayda T.S., Kuznyetsov O.S. (2020) Indyvidualni zasoby bronezakhystu pravookhorontsiv: deyaki aspekty klasyfikatsiyi ta katehoruvannya. Sluzhbovo-boyova pidhotovka yak osnova profesiynoyi diyalnosti polityseyskykh: materialy kruhloho stolu (m. Odesa, 27 lystopada 2020 roku). (Individual means of body armor protection for law enforcement officers: some aspects of classification and categorization). – Odesa: ODUVS. – 194 s.
 19. Biryukov I. YU., Biryukov O. I. (2020) Formalizatsiya zalezhnosti vplyvu zminy pochatkovoyi shvydkosti kul korotkostvolnoyi zbroyi na yikh vrazhayuchi vlastyvosti. (Formalization of the dependence of the influence of changes in the initial velocity of short-barreled weapon bullets on their striking properties). Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya № 2. – s.37 – 48.
 20. Petruchenko O. S. (2018) Obgruntuvannya parametriv bahatosharovoyi zakhysnoyi konstruktsiyi boyovykh mashyn na osnovi nelineynykh matematychnykh modeley. – Rukopys. Dysertatsiya na zdobuttya naukovooho stupenya doktora filosofiyi (kandydata tekhnichnykh nauk) za spetsialnistyu 05.02.09 – dynamika ta mitsnist mashyn/ O.S. Petruchenko. (Justification of the parameters of the multilayer protective structure of combat vehicles based on nonlinear mathematical models). – Lviv. – 160 s.
 21. Velychko L. D., Petruchenko O.S., Kondrat V.F. (2015) Dynamika zakhysnoyi konstruktsiyi pry udari kuli abo oskolka snaryada. (Dynamics of a protective structure when hit by a bullet or shell fragment). – Lviv: Viyskovo-tekhnichnyy zbirnyk Akademiya sukhoputnykh viysk, № 13, Lviv: ASV. – s.13 – 19.
 22. Kharchenko V. V. (1999) Modeli protsesiv vysokoshvydkisnoho deformuvannya materialiv z urakhuvanniam vyazkoplasychnykh efektyv. (Models of high-speed deformation processes of materials taking into account viscoplastic effects). – Kyiv: NANU, IPM. – 280 s.
 23. Tannachart Wantang, Manop Pipathattakul, Fasai Wiwatwongwana (2023) Experimental investigation of Ballistic capabilities in Carbon-Kevlar composites: Effects of weight and layer variations against 9 mm projectiles. Results in Materials. Vol. 20, pp.1–11.
 24. Kristoffersen M., Costas M., Koenis T., Brotan V., Paulsen C., Borvik T. (2020) On the ballistic perforation resistance of additive manufactured AlSi10Mg aluminium plates. International Journal of Impact Engineering, Vol. 137, pp.1–16.
 25. Kovtun A. Modeli vzayemodiyyi vysokoshvydkisnoho udarnyka z zakhysnymy pereshkodamy / Kovtun A., Tabunenko V., Nesterenko S. // (Models of interaction of a high-speed impactor with protective obstacles). – Kyiv: Opir materialiv i teoriya sporud/ Strength of Materials and the Theory of Structures. – 2019. – № 102. – s. 207-219.

Ковтун А.В., Табуненко В.О., Нестеренко С.І., Сальник О.В., Недашковський А.А.

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПРОНИКАЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ КУЛЬ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ У ЗАСОБИ ЗАХИСТУ

Прийняття на озброєння іноземних та нових вітчизняних видів озброєння та боєприпасів вимагає проведення великого обсягу експериментальних досліджень. Але, короткочасний характер процесів, які відбуваються з боєприпасами на траєкторії, ускладнює безпосереднє вимірювання величин, що їх характеризують, змушуючи використовувати складну вимірвальну та реєстраційну апаратуру. У цьому контексті на перший план виходить математичне моделювання процесів зовнішньої балістики та аеродинаміки руху боєприпасів.

Метод математичного моделювання дозволяє суттєво скоротити терміни проведення та зменшити загальні витрати боєприпасів на їх випробування. Методи моделювання, основою яких є математичні розрахунки та формули, дозволяють визначити майбутню траєкторію польоту боєприпасів на підставі мінімального набору параметрів та в короткий термін. Цей метод дає можливість прискорити складання тимчасових таблиць стрільби для використання боєприпасів та пришвидшує їх надходження до підрозділів, які безпосередньо виконують завдання в зоні ведення бойових дій.

Методи математичного моделювання дозволяють отримати залежності для визначення рівня захищеності військовослужбовців при виконанні підрозділами завдань за призначенням, з урахуванням того, що результативність заходів забезпечення захищеності особового складу залежить від типу захисних перешкод, а пробивна дія куль стрілецької зброї залежить від їх маси, форми та швидкості кулі в момент зустрічі з захисною перешкодою.

Розроблення науково-методичного апарату для проведення досліджень з визначення параметрів нового озброєння та підвищення балістичного захисту особового складу від дії стрілецької зброї залишається актуальною науковою задачею.

В роботі розглянуто процес взаємодії кулі з захисними середовищами різного типу. Запропоновано метод визначення проникаючої здатності куль стрілецької зброї у засоби захисту та моделі визначення глибини проникнення кулі в перешкоди різного типу. Наведені результати розрахунків глибини проникання кулі із автомата АК-74 в захисні середовища різного типу. Подальше вдосконалення конструкцій бронезахисту може бути досягнуто шляхом розробки нових технічних рішень з використанням запропонованого методу визначення проникаючої здатності куль стрілецької зброї у засоби захисту.

Ключові слова: метод, модель, коефіцієнт, лобовий опір, куля, захисне середовище.

Kovtun A.V., Tabunenko V.O., Nesterenko S.I., Salnyk O.V., Nedashkovsky A.A.

METHOD FOR DETERMINING THE PENETRATING ABILITY OF SMALL ARMS BULLETS INTO PROTECTIVE EQUIPMENT

Adoption of foreign and new domestic types of weapons and ammunition requires conducting a large amount of experimental research. However, the short-term nature of the processes that occur with ammunition on the trajectory complicates direct measurements of the quantities that characterize them, forcing the use of complex measuring and recording equipment. In this context, mathematical modeling of the processes of external ballistics and aerodynamics of ammunition movement comes to the fore.

The mathematical modeling method allows to significantly reduce the time and reduce the total cost of ammunition for their testing. Modeling methods, based on mathematical calculations and formulas, allow you to determine the future trajectory of ammunition based on a minimum set of parameters and in a short time. This method makes it possible to accelerate the compilation of temporary firing tables for the use of ammunition and accelerates their arrival to units that directly perform tasks in the combat zone.

Mathematical modeling methods allow us to obtain dependencies for determining the level of protection of military personnel when performing assigned tasks by units, taking into account the fact that the effectiveness of measures to ensure the protection of personnel depends on the type of protective barriers, effect of small arms bullets depends on their mass, shape, and bullet speed at the moment of encountering a protective obstacle.

The development of a scientific and methodological apparatus for conducting research to determine the parameters of new weapons and increase the ballistic protection of personnel from small arms remains an urgent scientific task.

The paper examines the process of interaction of a bullet with various types of protective environments. A method for determining the penetration ability of small arms bullets into protective equipment and models for determining the depth of bullet penetration into various types of obstacles are proposed. The results of calculations of the penetration depth of a bullet from an AK-74 assault rifle into various types of protective environments are presented. Further improvement of armor protection designs can be achieved by developing new technical solutions using the proposed method for determining the penetration ability of small arms bullets into protective equipment.

Keywords: method, model, coefficient, frontal resistance, bullet, protective environment.

УДК 629.076:623.426

Ковтун А.В., Табуненко В.О., Нестеренко С.І., Сальник О.В., Недашковський А.А. Метод визначення проникаючої здатності куль стрілецької зброї у засоби захисту// Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірник. – К.: КНУБА, 2026. – Вип. 116. – С. 160 – 171.

В даній роботі розглянуто процес взаємодії кулі з захисними середовищами різного типу. Запропоновано метод визначення проникаючої здатності куль стрілецької зброї у засоби захисту та моделі визначення глибини проникнення кулі в перешкоди різного типу. Наведені результати розрахунків глибини проникання кулі із автомата АК-74 в захисні середовища різного типу. Подальше вдосконалення конструкцій бронезахисту може бути досягнуто шляхом розробки нових технічних рішень з використанням запропонованого методу визначення проникаючої здатності куль стрілецької зброї у засоби захисту.

Табл. 2. Іл. 9. Бібліогр. 25 назв.

UDC 629.076:623.426

Kovtun A.V., Tabunenko V.O., Nesterenko S.I., Salnyk O.V., Nedashkovsky A.A. METHOD FOR DETERMINING THE PENETRATING ABILITY OF SMALL ARMS BULLETS INTO PROTECTIVE EQUIPMENT // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2026. – Issue 116. – P. 160 – 171.

This paper examines the process of interaction of a bullet with protective media of various types. A method for determining the penetration ability of small arms bullets into protective equipment and models for determining the depth of bullet penetration into various types of obstacles are proposed. Further improvement of armor protection designs can be achieved by developing new technical solutions using the proposed method for determining the penetration ability of small arms bullets into protective equipment.

Tab. 2. Fig. 9. Ref. 25

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри управління логістикою НАНГУ КОВТУН Анатолій Васильович.

Адреса робоча: 61001 Україна, м. Харків, майдан Захисників України 3, НАНГУ, кафедра бойового та логістичного забезпечення, Ковтуну Анатолію Васильовичу.

Тел.: +38(097) 708-04-41

E-mail: kav-60@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8427-1005>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння військової техніки ХНУПС ім. І. Кожедуба, ТАБУНЕНКО Володимир Олександрович.

Адреса робоча: 61023 Україна, м. Харків, вулиця Сумська 77/79, ХНУПС, кафедра електротехнічних систем комплексів озброєння військової техніки, ТАБУНЕНКО Володимир Олександровичу.

Тел.: +38(097) 225-62-60

E-mail: tabunenko55@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1347-5390>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», НЕСТЕРЕНКО Сергій Іванович.

Адреса робоча: 61070 Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17, НАУ «ХАІ», доцент кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», НЕСТЕРЕНКО Сергію Івановичу.

Тел.: +38(096) 965-59-33

E-mail: nesterenko.geo@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3119-9887>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): старший науковий співробітник Науково-дослідної лабораторії Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба САЛЬНИК Олег Вікторович.

Адреса робоча: 61023, Україна, м. Харків, вул. Сумська 77/79, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, САЛЬНИКУ Олегу Вікторовичу.

Тел.: +38(093)0239289

E-mail: salnikb2001@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2688-1198>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): старший науковий співробітник Науково-дослідної лабораторії Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба НЕДАШКОВСЬКИЙ Андрій Анатолійович

Адреса робоча: 61023, Україна, м. Харків, вул. Сумська 77/79, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, НЕДАШКОВСЬКОМУ Андрію Анатолійовичу.

Тел.: +38(066)9669554

E-mail: A.Nedashkovskiyi@hnups.mil.gov.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0307-9094>