

УДК 623.562.1

О. Ю. Шабалін, В. Г. Малюк, О. М. Калита

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОБИВНОЇ ТА ПРОНИКАЮЧОЇ ДІЇ КУЛЬ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ

*Представлені результати комп'ютерного аналізу характеристик пробивної та проникаючої дії куль стрілецької зброї залежно від параметрів траєкторії та балістичних характеристик кулі.*

*К л ю ч о в і с л о в а: бронепробиваємість, проникаюча дія кулі, коефіцієнт форми кулі, характеристика вбивчої дії кулі, характеристика пробивної дії кулі.*

**Постановка проблеми.** У подальшому під характеристикою пробивної та проникаючої дії кулі розумітимемо відповідно залежність бронепробиття і проникаючої дії кулі від її швидкості або дальності польоту [1].

Стрільба під час виконання службово-бойових завдань повинна бути ефективною. Її ефективність оцінюється ймовірністю влучення у ціль, а також дією кулі по ціль. Особливо необхідно звернути увагу на дію куль по захищених цілях, яких чимало у сучасному бою. Тому дослідження дії куль по різноманітних перешкодах є актуальними, враховуючи численні випадки необхідності вести вогонь зі стрілецької зброї по цілях, які захищені індивідуальними або колективними засобами захисту.

Аналіз дії куль по захищених цілях є складною задачею механіки, для вирішення якої потрібне широке використання сучасної обчислювальної техніки. Кулі діють по цілях завдяки кінетичній енергії, яку вони мають перед тим, як зустрітись з перешкодою. Також є суттєвими для характеристик пробивної та проникаючої дії кулі її маса (за умови фіксованого рівня кінетичної енергії), форма, твердість матеріалу вражаючого елемента, розподіл кінетичної енергії за ступенями свободи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш близькими до питань, які розглядаються у статті, є публікації [1, 3, 4]. На особливу увагу заслуговує праця [2], в якій на базі експериментального матеріалу досліджено питання бронепробиття та проникаючої дії куль. Великого значення для відпрацювання процесу взаємодії куль стрілецької зброї з перешкодами різного типу має дослідний матеріал [1, 4].

У рамках науково-дослідних та прикладних праць [3, 6] розроблені методики оцінювання бронепробиття та проникаючої дії куль, також вивчався вплив різних факторів на ці явища, однак, ці методики не враховують різноманітність патронів.

На сторінках наукових видань [2, 3, 5, 6] неодноразово розглядалися питання теоретичного дослідження дії куль по цілях різними методами. У праці [5] використано метод кінцевих елементів, який має широкі можливості для вирішення практичних питань дії куль по різних цілях.

**Метою статті** є розроблення комп'ютерної моделі для визначення характеристик бронепробиття та проникаючої дії куль і аналізу факторів, які впливають на цей процес, а також визначення способів підвищення ефективності стрільби зі стрілецької зброї під час виконання службово-бойових завдань.

**Виклад основного матеріалу.** Для всіх зразків зброї великого значення мають пробивна та проникаюча дія кулі, що характеризуються відповідно товщиною перешкоди, яка пробивається, або глибиною проникнення кулі у перешкоду. На пробивну та проникаючу дію кулі впливають властивості перешкоди, калібр кулі, швидкість її перед перешкодою, форма головної частини кулі та ін.

Для математичного опису дії кулі по перешкоді зробимо такі допущення:

- куля зберігає стійкість під час польоту у повітрі та руху в перешкоді;
- куля (осердя) не деформується при пробитті перешкоди;
- середовище перешкоди є однорідним.

На рис.1 показана розрахункова схема. Втрату кінетичної енергії  $\Delta E$  у разі наскрізного пробиття перешкоди товщиною  $S$  описує співвідношення

$$\Delta E = \frac{m (V_c^2 - V_s^2)}{2},$$

де  $m$  – маса кулі, кг;  $V_c$ ,  $V_s$  – швидкість кулі відповідно перед та за перешкодою, м/с.

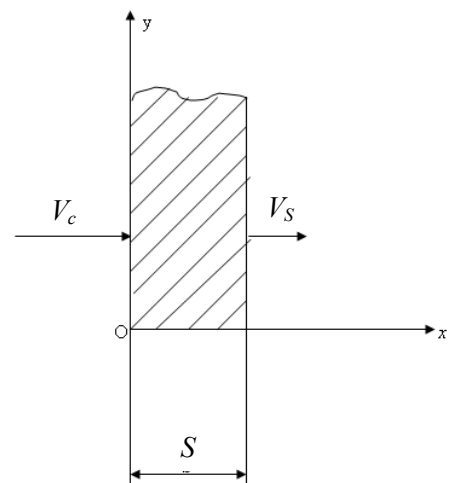


Рис. 1. Розрахункова схема

Силу опору кулі у перешкоді  $F$  приймаємо у вигляді [1]:

$$F = \lambda \frac{\pi d^2}{4} a(1 + bV^2),$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт форми головної частини кулі;  $d$  – діаметр кулі (калібр), м;  $a$  – коефіцієнт, який характеризує вплив міцності перешкоди на опір проникненню кулі у статичних умовах, кг/(м·с<sup>2</sup>);  $b$  – коефіцієнт, який характеризує вплив щільності та в'язкості матеріалу перешкоди на опір руху кулі у динамічних умовах, с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Диференціальне рівняння руху кулі у перешкоді має вигляд:

$$dE = -Fdx, \tag{1}$$

де  $dE$  – зміна кінетичної енергії кулі, Дж.

Оскільки кінетичну енергію кулі описує формула

$$E = \frac{mV^2}{2},$$

то співвідношення (1) можна привести до такого вигляду:

$$\frac{md(V^2)}{2} = -\lambda \frac{\pi d^2}{4} a(1 + bV^2)dx. \tag{2}$$

Якщо виконати інтегрування у межах шляху в перешкоді від 0 до  $S$  та швидкості від  $V_c$  до  $V_S$ , отримаємо:

$$S = \frac{m}{t} \ln \frac{(1 + bV_c^2)}{(1 + bV_S^2)}, \tag{3}$$

де  $t = \frac{\pi}{2} \lambda abd^2$ .

Співвідношення (3) можна використовувати для оцінювання проникаючої та пробивної дії кулі. Для визначення проникаючої дії кулі необхідно покласти  $V_S = 0$ , тоді матимемо:

$$S = \frac{m}{t} \ln(1 + bV_c^2).$$

Для практики цікавими можуть бути параметри траєкторії польоту кулі після того, як вона вийшла з перешкоди. Безпосередньо значення швидкості  $V_S$  можна визначити із співвідношення (3):

$$V_S = \sqrt{\frac{1}{b} \left[ (1 + bV_c^2) \cdot e^{-\frac{St}{m}} - 1 \right]}. \tag{4}$$

Для дослідження характеристик пробивної та проникаючої дії куль зразків зброї необхідно знати параметри траєкторії залежно від відстані. З цією метою використовується алгоритм, розроблений авторами статті у праці [7]. Математичний опис траєкторії польоту кулі після пробиття перешкоди базується також на цьому алгоритмі та таких допущеннях:

- товщина перешкоди, порівняно з дистанцією, незначна, вважається, що вона дорівнює нулю;
- на перешкоді відбувається стрибок тільки величини швидкості.

Для прийнятих допущень розрахункова схема польоту кулі після пробиття перешкоди показана на рис. 2. Коефіцієнт форми  $\lambda$ , який ураховує вплив форми головної частини кулі на опір проникненню її у перешкоди, визначається за співвідношенням [1]

$$\lambda = 1,91 - 0,35 \frac{h}{d}, \tag{5}$$

де  $h$  – довжина головної частини кулі.

Формула (5) отримана за умови, що для 7,62-мм гвинтівочної кулі  $\lambda = 1$  [1].

Що стосується коефіцієнтів  $a$ ,  $b$  у співвідношенні (3), то вони визначаються експериментально і для деяких матеріалів перешкод наведені у таблиці [1].

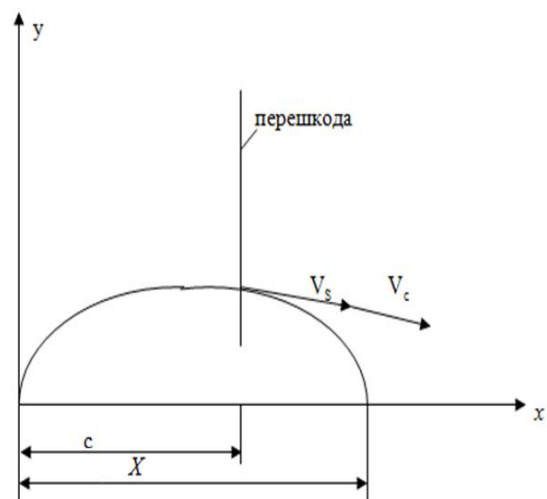


Рис. 2. Розрахункова схема польоту кулі після пробиття перешкоди

Таблиця

Середовище	Значення коефіцієнтів $a, b$	
	$a \times 10^{-5}, \text{кг}/(\text{м} \times \text{с}^2)$	$b \times 10^5, \text{с}^2/\text{м}^2$
Ґрунт	45,08	6
Пісок	42,63	2
Глина	102,41	3,5
Деревина (сосна, ялина)	463,54	0,202
Цегляне мурування	309,68	1,5
Біологічна тканина	42,434	1,8
Броня	35476	0,174

Проведено порівняльний аналіз деяких параметрів, які отримані за іншими теоретичними положеннями та характеризують взаємодію кулі з перешкодами. Повну енергію, що поглинає перешкода у процесі деформації при взаємодії з кулею, описують за співвідношенням Томсона [3]. Для вихідних даних, наведених у вказаному джерелі, проведено розрахунок енергії, яка витрачається на пробиття перешкоди, за таким співвідношенням:

$$\Delta E_2 = \frac{m}{2b} (1 + bV_c^2) \left( 1 - \exp \left\{ -\frac{\pi}{2} ab \frac{d^2}{m} S \right\} \right). \quad (6)$$

Результати порівняння:  $\Delta E_1 = 645$  Дж – результат [3];  $\Delta E_2 = 557$  Дж – результат за співвідношенням (6). Різниця складає приблизно 13 %, при цьому виконується нерівність  $\Delta E_2 < \Delta E_1$ . Це пояснюється тим, що у моделі, яка використовується у статті, не враховуються втрати механічної енергії кулі на її деформацію та нагрівання взаємодіючих тіл.

Як характеристику пробивної дії кулі приймаємо глибину її проникнення у перешкоду. На рис. 3 та 4 представлені характеристики проникаючої дії опереної кулі залежно від маси та початкової швидкості для випадку гомогенної броні.

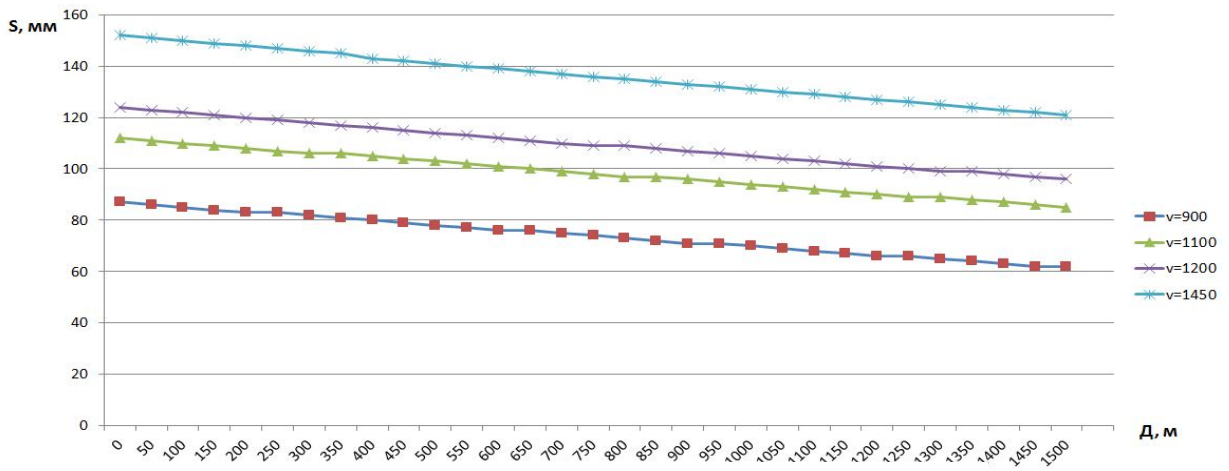


Рис. 3. Вплив початкової швидкості кулі на її проникаючу дію

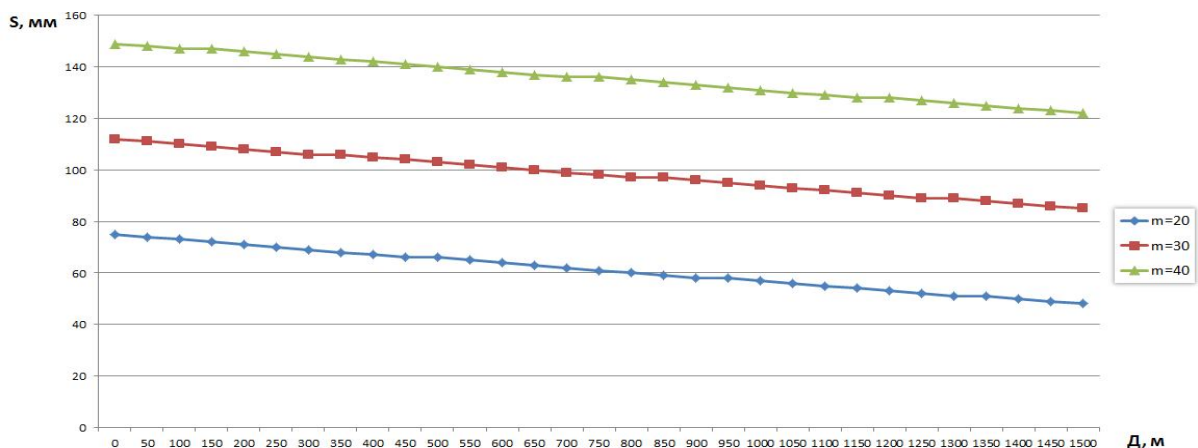


Рис. 4. Вплив маси кулі на її проникаючу дію

Такі кулі мають малий балістичний коефіцієнт, тому вони є перспективними для використання з метою виведення з ладу легкої бронетехніки, літаків, кабін РЛС тощо на дистанціях більше 1000 м. Їх можна використовувати у зразках стрілецької зброї типу Steyr AMR 5075. Для розрахунків використовували такі параметри стріли:  $d = 5,5$  мм;  $m = 30$  г,  $l = 13,7$  мм. Змінювалися початкова швидкість та маса кулі. Порівняльний аналіз показує, що зміна швидкості більше впливає на проникаючу дію кулі, ніж зміна її маси.

Характеристики проникаючої дії кулі Б-32 для 14,5-мм патрона для різних матеріалів перешкод представлені на рис. 5.

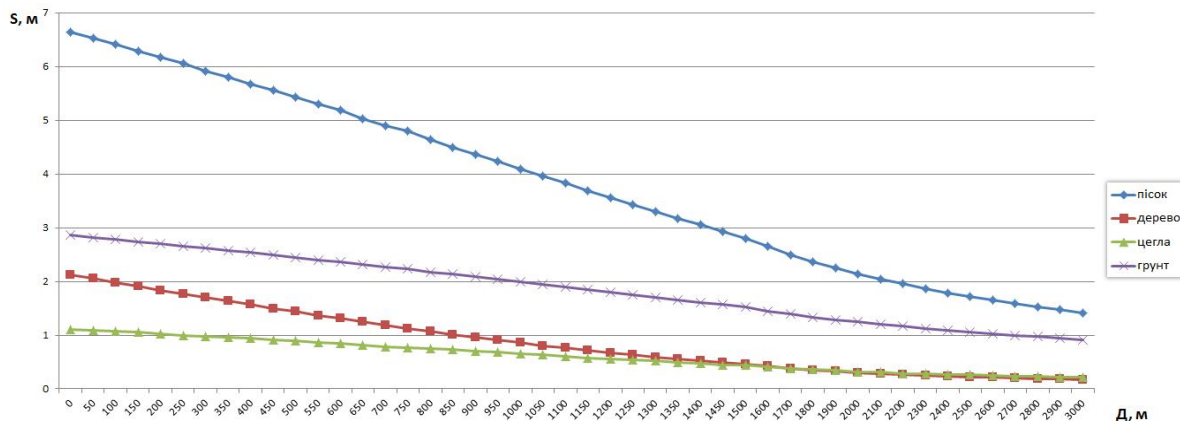


Рис. 5. Характеристики проникаючої дії кулі Б-32 для 14,5 мм патрона при стрільбі з кулемета КПВТ для різних матеріалів перешкод

### Висновки

1. Запропонований узагальнений метод визначення параметрів бронепробиття та проникнення куль у перешкоди. Порівняння результатів числових експериментів, отриманих за методикою, яка пропонується, з результатами експериментальних робіт показали наявність розбіжності параметрів бронепробиття у межах 15 %.
2. Вираз (6) можна використовувати для оцінювання вбивчої дії кулі, за умови експериментального визначення параметрів  $a$  та  $b$  для біологічної тканини.
3. Параметри бронепробиття та проникнення, отримані за даною методикою, є дещо завищеними, порівняно з тими, що отримані експериментально. Це пов'язано з тим, що математична модель не враховує втрати кінетичної енергії кулі на її деформацію і на теплові втрати.

### Список використаних джерел

1. Кириллов, В. М. Патроны стрелкового оружия [Текст] : учебник / В. М. Кириллов, В. М. Сабельников. – Пенза : ПВАУ, 1980. – 372 с.
2. Броня. Формулы бронепробиваемости [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://vlad fotki. Narod/ ru/ - navy/theory/ARMOR/penet.htm>. – Загл. с экрана.
3. Калашников, В. В. Исследование влияния конструкции пули на процесс пробивания стальной преграды [Текст] / В. В. Калашников, С. Е. Алексенцева // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2009. – № 2 (24). – С. 99 – 104. – (Серия “Технические науки”).
4. Данилин, Г. А. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию [Текст] / Г. А. Данилин, В. П. Огородников, А. Б. Заволокин. – СПб. : Балт. гос. техн. ун-т, 2005. – 374 с.
5. Ziad G. Ghauch. Finite Element Analysis of the Penetration of Projectiles into Steel Plates [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://publish. illinois.edu/qhauch2/files/ 2014/02/Ziad-Ghauch-Term Project AE420-Finite-Element-Analysis.pdf>. – Загл. с экрана.
6. Математическое моделирование движения пули в преграде [Электронный ресурс] : тезисы Междунар. науч.-практ. конф. “Теория и практика судебной экспертизы в современных условиях”, Москва, МГЮА, 14–15 февраля 2007 г. – Режим доступа : URL:<http://www.cneat.ru/bullet-2-1.html> / (дата обращения 23.06.14). – Загл. с экрана.
7. Малюк, В. Г. Комп'ютерна модель для аналізування факторів, що впливають на політ кулі стрілецької зброї [Текст] / В. Г. Малюк, О. М. Калита, М. І. Зюбан // Збірник наукових праць Академії ВВ МВС України. – 2011. – Вип. 1 (17). – С. 65–71.

Стаття надійшла до редакції 05.10.2014 р.