

УДК 623.44

О. І. Біленко, В. В. Пашенко

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РІШЕННЯ ПРЯМОЇ ЗАДАЧІ ВНУТРІШНЬОЇ БАЛІСТИКИ ДЛЯ ВИПАДКУ ГЛАДКОСТВОЛЬНОЇ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ

Обґрунтовано необхідність вдосконалення існуючих методів рішення прямої задачі внутрішньої балістики для випадку гладкоствольної зброї, зокрема кінетичної зброї несмертельної дії. Удосконалено аналітичний метод проф. Б.В. Орлова шляхом уточнення значень тиску форсування p_0 та коефіцієнта фіктивності ϕ для гладкоствольної зброї.

К л ю ч о в і с л о в а: гладкоствольна зброя, тиск форсування, коефіцієнт фіктивності, внутрішня балістика.

Постановка проблеми. Правоохоронні органи та військові формування держави під час виконання службово-бойових завдань за призначенням все частіше застосовують кінетичну зброю несмертельної дії (КЗНД). Для забезпечення несмертельної дії енергетичні характеристики поражаючих елементів (ПЕ) КЗНД (значення кінетичної E_k та питомої E_{num} енергій) не повинні перевищувати встановлених граничних меж, водночас для забезпечення заданої ефективності ураження цілі ПЕ повинні мати достатнє значення E_k . Встановлено, що виконання цих вимог можливе у випадку забезпечення значень $E_k = 65 \dots 80$ Дж, $E_{num} < 0,5$ Дж/мм² [1; 2].

Відомо, що значення кінетичної енергії ПЕ залежить від головної балістичної характеристики стрілецького комплексу – дульної швидкості ПЕ V_0 . Потрібне значення V_0 забезпечується розв'язанням задачі балістичного проектування ствольної системи та практичною реалізацією отриманих значень параметрів заряджання під час виробництва зброї і боєприпасів до неї [3; 4].

Обернена задача внутрішньої балістики – задача балістичного проектування артилерійського або стрілецького комплексу (далі комплексу) – має нескінченну кількість рішень, тому застосування для її розв'язування аналітичних методів у прямій постановці не є можливим [5; 6].

Під час балістичного проектування систем значення деяких параметрів задаються вимогами до комплексу (калібр ствола d , маса m та дульна швидкість снаряда V_0 , максимальний тиск порохових газів P_m) (1 група, рис. 1). Певні параметри потребують мінімізації (маса заряду ω , довжина ствола L_{CTB} , об'єм каналу ствола W_{KH}) (2 група, рис. 1). Параметри третьої групи (рис. 1) можуть змінюватися довільно в певних межах (маса порохового заряду ω , сила пороху f , щільність пороху δ , коволюм порохових газів α , параметр розширення порохових газів Θ , кінцевий імпульс тиску порохових газів I_k , коефіцієнт швидкості горіння пороху u_1 , товщина палаючого шару порохового елемента $2e_1$, початковий об'єм зарядної камери W_0 , довжина камери $l_{КАМ}$, тиск форсування p_0 , щільність заряджання Δ).



Рис. 1. Балістичні характеристики та параметри заряджання зброї

Розв'язання задачі балістичного проектування комплексу полягає у виборі такого сполучення значень параметрів третьої групи, при якому значення параметрів першої групи відповідають заданим, а значення параметрів другої групи набувають оптимальних значень.

У процесі розв'язування цієї задачі для зручності та наочності використовують залежності параметрів другої групи від параметрів третьої групи, які можуть мати форму таблиць, діаграм, математичних рівнянь тощо [5; 6]. Проте незалежно від форми представлення цих залежностей, в їх основі лежить масив даних, що отримані в результаті розв'язування прямої задачі внутрішньої балістики.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз останніх досліджень придатності існуючих методів розв'язування прямої задачі внутрішньої балістики для гладкоствольної зброї [2; 7] показав, що застосування аналітичних методів професорів М. Ф. Дроздова [5; 9], В. Є. Слухоцького [4; 6], М. Є. Серебрякова [5], М. С. Горохова [8], Б. В. Орлова [4; 6], та "Таблиць АНДІ" [5] і "Таблиць ГАУ" [4; 5] не забезпечує якісного розв'язання цієї задачі внаслідок того, що моделювання процесу пострілу з гладкоствольної зброї має такі особливості:

а) відсутність нарізів ствола виключає утворення тиску форсування за визначенням; аналогом цього параметра для гладкоствольної зброї є тиск, необхідний для розвальцьовування снарядом гільзи; значення тиску форсування для гладкоствольної зброї у літературних джерелах не визначені;

б) коефіцієнт фіктивності φ для стрілецької зброї враховує деякі чинники (втрати енергії на врізання снаряда в нарізи, на надання снаряду обертового руху), які не властиві для гладкоствольної зброї, тому потребує уточнення.

Мета статті – удосконалення методів розв'язування прямої задачі внутрішньої балістики для випадку гладкоствольної стрілецької зброї.

Виклад основного матеріалу. Під час пострілу порохові гази виконують корисну роботу – надають ПЕ кінетичну енергію, та деякі другорядні роботи. У розв'язуванні задач внутрішньої балістики для нарізних артилерійських та стрілецьких систем прийнято враховувати такі другорядні роботи: обертальний рух снаряда E_2 ; подолання сил тертя між ведучою частиною снаряда та поверхнею каналу ствола E_3 ; пересування порохових газів заряду та порохових зерен, що не згоріли E_4 ; переміщення рухомих частин та роботу механізмів автоматики зброї E_5 [5; 8].

Роботи на врізання ведучого пояса снаряда або ведучої частини кулі в нарізи E_6 ; нагрів ствола, снаряда, гільзи E_7 ; втрати енергії внаслідок прориву порохових газів між снарядом та стінками ствола E_8 ; подолання опору повітря та витиснення стовпа повітря з каналу ствола E_9 прийнято не враховувати через їх відносну незначущість.

У внутрішній балістиці втрати енергії порохових газів на здійснення другорядних робіт враховують через коефіцієнт фіктивності φ [5; 6; 8]:

$$\varphi = 1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5, \quad (1)$$

де $k_2 = \frac{E_2}{E_1}$, $k_3 = \frac{E_3}{E_1}$ тощо.

Гладкоствольна стрілецька зброя, на відміну від нарізної, має низку особливостей:

– у гладкоствольній зброї снаряду не надається обертальний рух, тому втрати енергії на здійснення роботи E_2 відсутні;

– значення відносної маси заряду ω/m для гладкоствольної стрілецької зброї значно нижчі, ніж для існуючих зразків нарізної зброї, тому втрати енергії на здійснення роботи E_4 для гладкоствольної зброї будуть відносно невеликими;

– відсутній процес врізання снаряда в нарізи, отже відсутні втрати енергії на здійснення роботи E_6 ;

– пластикові або фетрові пижі, що застосовуються у патронах для гладкоствольної зброї, не можуть забезпечити такої ж якісної обтюрації, як металеві ведучі частини снарядів та куль нарізної зброї, тому втрати на здійснення роботи E_8 можуть бути більш суттєвими;

– для гладкоствольної зброї відношення маси повітря, яке витисняється з каналу ствола при пострілі, до маси порохового заряду значно більше, ніж у нарізної зброї, тому втрати на здійснення роботи E_9 також є більшими.

За допомогою відомих методів [4; 5] розраховано значення коефіцієнтів пропорційності для існуючих зразків стрілецької зброї: 14,5-мм КПВТ, помпової рушниці “Форт-500”, 23-мм автомата 2А14, що є на озброєнні внутрішніх військ МВС України (табл. 1).

Т а б л и ц я 1

Розрахункові значення коефіцієнтів пропорційності для існуючих зразків стрілецької зброї

Коефіцієнти пропорційності	Вид зброї		
	14,5 мм КПВТ	18,5 мм “Форт-500”	23 мм 2А14
k_2	0,0052	0	0,0064
k_3	0,0127	0,0002	0,0143
k_4	0,1672	0,0049	0,1374
k_5	0,0225	0	0,0151

Вихідні дані для розрахунків взято з описів зразків [10 – 13].

Моделювання процесу прориву порохових газів між ведучою частиною снаряда (обтюратором, пижем) та стінками ствола пов’язане з певними труднощами і у спеціальній літературі не описане, тому втрати на здійснення роботи E_8 не враховувалися.

Відношення роботи на витіснення повітря з каналу ствола при пострілі до повної енергії порохового заряду для рушниці “Форт-500” з патроном “Терен-12П” відносно велике, воно перевищує аналогічні показники для нарізних бойових систем у 95...120 разів. Проте абсолютне значення цієї роботи незначне ($4,4 \cdot 10^{-5}$), тому втрати на здійснення роботи E_9 враховувати не доцільно.

Відповідно до формули (1) отримані значення коефіцієнтів фіктивності: $\varphi_{\text{КПВТ}} = 1,2076$; $\varphi_{\text{Форт 500}} = 1,0051$; $\varphi_{2\text{А14}} = 1,1732$, які для нарізної та гладкоствольної зброї суттєво відрізняються. Наприклад, значення φ , отримане для 18,5 мм помпової рушниці “Форт-500”, відрізняється від значення, яке було отримане для 14,5 мм КПВТ, на 16,25 %. Крім того, розрахункове значення φ для “Форт-500” менше, ніж для зенітного автомата 2А14, який має більший калібр та довжину ствола в калібрах, що суперечить прийнятим уявленням [5; 14].

Отже, значення φ , наведені у спеціальній літературі для стрілецької зброї, не можуть бути використані у розв’язуванні задачі внутрішньої балістики для гладкоствольних систем та потребують уточнення.

Під тиском форсування p_0 розуміють зусилля, що необхідне для повного врізання в нарізи ведучого пояса снаряда або ведучої частини кулі, воно коливається у широких межах від 10 до 1000 кг/см². Для нарізної зброї цей тиск визначається емпірично або аналітично за методом Габо [14; 15].

Для гладкоствольної зброї під тиском форсування p_0 необхідно розуміти зусилля, що необхідне для розвальцювання гільзи снарядом. У відомих джерелах значення та методи розрахунку тиску форсування для гладкоствольної зброї не наводяться.

З метою визначення тиску форсування проведені експериментальні дослідження патронів 12 калібру, що завальцювані за типами “закатка” та “зірочка”.

Для проведення експерименту розроблено пристрій для вимірювання сили, необхідної для розвальцювання гільзи 12 калібру снарядом, та методику проведення експериментальних досліджень [1]. За результатами досліджень визначено, що середні значення сили P_0 , яка необхідна для розвальцювання гільзи 12 калібру складають 412 Н для завальцювання типу “закатка” та 456 Н для завальцювання типу “зірочка”.

Значення тиску форсування розраховані за формулою [16]:

$$p_0 = \frac{P_0}{S_{\Gamma}}, \quad (2)$$

де P_0 – сила, яка необхідна для розвальцювання гільзи; S_{Γ} – площа поперечного перетину гільзи.

Отже, для завальцювання типу “закатка” тиск форсування дорівнює $16,2 \cdot 10^5$ Па, а для завальцювання типу “зірочка” – $18,0 \cdot 10^5$ Па.

З метою перевірки можливості використання метода професора Б. В. Орлова за умов уточнення значень тиску форсування та коефіцієнта фіктивності для проектування КЗНД були проведені розрахунки дульної швидкості помпової рушниці “Форт-500” з патроном “Терен-12П” (завальцювання типу “закатка”). Вихідні дані для розрахунків аналітичними методами взяті з джерел [4; 5], вони були однакові, за винятком значень тиску форсування p_0 та коефіцієнта фіктивності φ . Ці параметри спеціально для гладкоствольної зброї не визначені, тому використано значення для стрілецької зброї відповідно до рекомендацій, зазначених в описах методів [4; 5]. Отримані значення дульної швидкості наведені в табл. 2

Т а б л и ц я 2

Значення дульної швидкості для рушниці “Форт-500” з патроном “Терен-12П”

Метод отримання результатів Балістична характеристика	Проф. Б. В. Орлова	Проф. М. Ф. Дроздова	Проф. Б. В. Орлова (уточнений)	Експериментальний
Дульна швидкість V_0 , м/с	153,2	158,9	168,7	166,4

З таблиці видно, що розрахункові значення V_0 , отримані за уточненим методом професора Б. В. Орлова, суттєво не відрізняються від тих, що отримані експериментально. Відмінності можна пояснити тим, що коефіцієнт фіктивності не враховує деякі другорядні роботи, зокрема енергію, яка втрачається через прорив порохових газів між пижем і стінками каналу ствола.

Для ілюстрації впливу точності рішення прямої задачі внутрішньої балістики на процес балістичного проектування комплексу КЗНД за методом Вентцеля [17–20] отримано залежності кінетичної енергії ПЕ від відстані до цілі X для рушниці “Форт-500” з патроном “Терен-12П” (рис. 2).

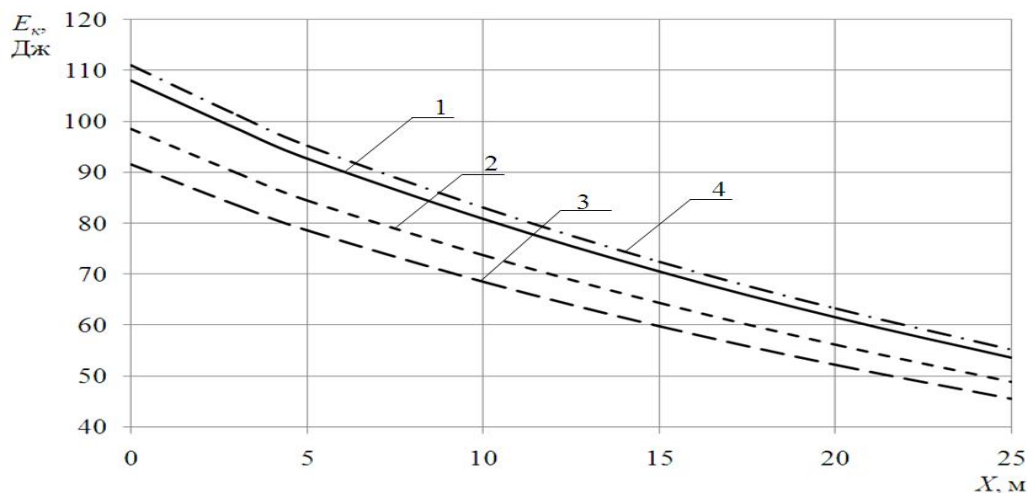


Рис. 2. Залежності кінетичної енергії ПЕ від відстані до цілі для рушниці “Форт-500” з патроном “Терен-12П”

Крива 1 побудована для значення V_0 , що отримане за експериментальним методом, а криві 2, 3 та 4 – за методами професорів М. Ф. Дроздова, Б. В. Орлова та уточненого методу професора Б. В. Орлова відповідно.

Вихідні дані для розрахунків взято з джерел [1; 2; 12; 13], за винятком значень дульної швидкості ПЕ, які були взяті з табл. 2.

На рис. 3 показані розрахункові межі безпечної та ефективного застосування рушниці “Форт-500” з патроном “Терен-12П”, які відповідають графікам на рис. 2 (припустимі значення кінетичної енергії для КЗНД складають 65...80 Дж [1; 2]).

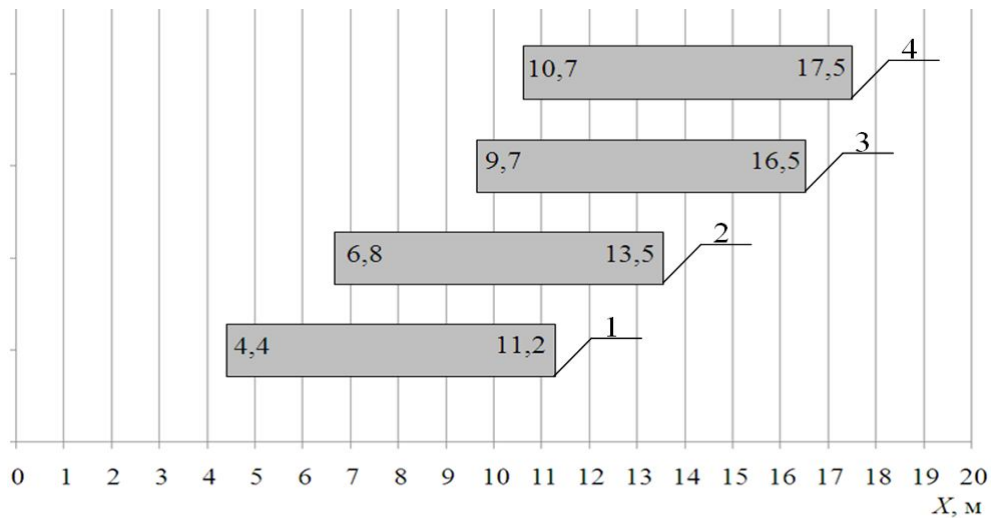


Рис. 3. Межі застосування рушниці “Форт-500” з патроном “Терен-12П”, що визначені за допомогою методів: 1 – проф. Б. В. Орлова; 2 – проф. М. Ф. Дроздова; 3 – експериментального; 4 – уточненого методу проф. Б. В. Орлова

З рисунків видно, що у разі використання методів розв’язання задач внутрішньої балістики для нарізної зброї помилка визначення дульної швидкості КЗНД сягає 9,2 %, а помилка припустимих меж застосування КЗНД – 18,2...45,4 % у бік заниження результатів. Такі помилки на практиці створюють небезпеку надмірної дії ПЕ по цілі, що може призвести до смертельного наслідку застосування КЗНД.

Значення V_0 , отримане за допомогою уточненого методу проф. Б. В. Орлова, відрізняється від експериментальних даних на 1,4 %, а відповідні значення припустимих меж застосування КЗНД – на 6,0...10,3 %. Отже, уточнений метод проф. Б. В. Орлова забезпечує більш високу збіжність результатів розрахунків з результатами експериментальних досліджень. Крім того, помилка у бік збільшення результатів є причиною незначного зниження ефективності застосування КЗНД, але не створює смертельну небезпеку для об’єкта службово-бойової діяльності.

Висновки

За умов використання уточнених значень тиску форсування p_0 та коефіцієнта фіктивності φ , аналітичний метод проф. Б. В. Орлова можна вважати придатним для балістичного проектування КЗНД.

Подальше підвищення адекватності моделі пострілу можливе шляхом урахування втрати енергії через прорив порохових газів між пижем і стінками каналу ствола. Через складність моделювання такого процесу для уточнення значення коефіцієнта фіктивності доцільно скористатися емпіричними методами.

Список використаних джерел

1. Підвищення характеристик дробової зброї для її застосування органами і підрозділами МВС України: науково-дослідна робота [Текст] / О. І. Біленко, В. В. Афанасьєв, В. В. Пашенко, О. А. Александров. – № держреєстрації 0111U008893. – Х., 2011. – 98 с.
2. Біленко, О. І. Аналіз задач балістичного проектування кінетичної зброї несмертельної дії [Текст] / О. І. Біленко, В. В. Пашенко // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2011. – Вип. 1 (17). – С. 8–11.
3. Данилин, Г. А. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию [Текст] / Г. А. Данилин, В. П. Огородников, А. Б. Заволокин. – СПб. : БГТУ, 2005. – 374 с.

4. Проектирование ракетных и ствольных систем [Текст] / Б. В. Орлов, Ю. И. Топчеев, В. Ф. Устинов и др. – М. : Машиностроение, 1974. – 828 с.
5. Серебряков, М. Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет [Текст] / М. Е. Серебряков. – М. : Оборонгиз, 1962. – 703 с.
6. Орлов, Б. В. Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий [Текст] / Б. В. Орлов, Э. К. Ларман, В. Г. Маликов. – М. : Машиностроение, 1976. – 432 с.
7. Біленко, О. І. Особливості балістичного проектування кінетичної зброї не смертельної дії [Текст] / О. І. Біленко, В. В. Пащенко // Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України: збірник тез доповідей наук.-практ. конф.– Х. : Акад. ВВ МВС України, 2011. – С. 63 – 64.
8. Горохов, М. С. Внутренняя баллистика ствольных систем [Текст] / М. С. Горохов. – М. : ЦНИИ информации, 1985. – 160 с.
9. Дроздов, Н. Ф. Решение задач внутренней баллистики для бездымного пороха трубчатой формы [Текст] / Н. Ф. Дроздов. – М. : Артакадемия, 1941. – 122 с.
10. 23-мм спаренная установка ЗУ-23 [Текст]. Ч. 2. Руководство службы. – М. : Воениздат, 1973. – 275 с.
11. Наставление по стрелковому делу: 14,5-мм крупнокалиберный пулемёт Владимиров танковый (КПВТ) [Текст]. – М. : Воениздат, 1984. – 223 с.
12. Рушниця помпова “Форт-500А” : керівництво з експлуатації [Текст]. – Вінниця : НВО “Форт” МВС України, 2001. – 9 с.
13. Пистолети та револьвери, призначені для відстрілу патронів, споряджених металевими снарядами “несмертельної дії”, та набой до них: судово-балістичний довідник [Текст] / А. В. Іщенко, О. В. Грищенко, І. В. Ігнат'єв, В. В. Назаров. – К. : ВАРТА, 2005. – 208 с.
14. Кулагин, А. В. Исследование второстепенных работ в огнестрельном оружии [Текст] / А. В. Кулагин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – № 2. – С. 35 – 45.
15. Окунев, Б. И. Определение баллистических характеристик пороха и давления форсирования [Текст] / Б. И. Окунев. – М; Л. : Гостехтеоретиздат, 1943. – 92 с.
16. К вопросу о повышении эффективности боеприпасов стрелкового оружия [Текст] / А. В. Гурнович, И. В. Игнат'єв, А. И. Калачев и др. // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2006. – № 2. – С. 24 – 27.
17. Вентцель, Д. А. Внешняя баллистика [Текст] : В 3 ч. / Д. А. Вентцель, Я. М. Шапиро. – М. : Оборонгиз, 1939. – Ч. 2. – 264 с.
18. Дмитриевский, А. А. Внешняя баллистика [Текст] / А. А. Дмитриевский. – М. : Машиностроение, 1972. – 584 с.
19. Исследование баллистических характеристик атипичных пуль типа “ТНУ” калибра 9 мм [Текст] / А. В. Коломийцев, В. А. Максименко, В. Г. Никитюк, И. С. Собакаръ // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. трудов Гос. ун-та им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”. – Х. : ГАКУ “ХАИ”, 1999. – № 15. – С. 98 – 103.
20. Коломийцев, А. В. Определение коэффициента формы и баллистического коэффициента пули типа “WC” патронов “32 S&W Long” и “B-1” [Текст] / А. В. Коломийцев, В. Г. Никитюк // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. трудов Гос. ун-та им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”. – Х. : ГАКУ “ХАИ”, 1999. – № 14 – С. 66 – 71.

Стаття надійшла до редакції 30.11.2011 р.