

Володимир Іванович Грабчак (канд. техн. наук, с.н.с.)
Семен Володимирович Бондаренко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДИННОЇ ПОХИБКИ РОЗРАХУНКУ ОПОРНОЇ ДАЛЬНОСТІ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ СТРІЛЬБ

Перспективним напрямом визначення сили лобового опору повітря є навівемпіричний підхід, який заснований на апроксимації її функціями, що можливо описати аналітичними виразами на основі отриманих експериментальних даних балістичних стрільб індивідуального снаряда. Сьогодні це стає можливим за допомогою використання ЕОМ та не вимагає значного устаткування і вирішується з достатньою для складання таблиць стрільби точністю. В статті проведено оцінку точності визначення серединної похибки визначення опорної дальності за теоретичними даними і даними таблиць стрільби та оцінена точність і надійність визначення серединної похибки опорної дальності за результатами експериментальних даних стрільб. Наведені результати розрахунків серединної похибки опорної дальності для 122-мм ГД-30 за даними експериментальних стрільб та проведено їх порівняння з теоретичними даними.

Ключові слова: опорна дальність; Таблиці стрільби; серединні похибки; експериментальні стрільби; довірчі границі; точність та надійність оцінок.

Вступ

Постановка проблеми в загальному вигляді та аналіз літератури. При розрахунках траєкторій польоту снарядів, що розроблюються, актуальним питанням є дослідження опору повітря руху снаряда, а саме їх чисельної оцінки, на основі проведення експериментальних балістичних стрільб [1-3]. При визначенні функцій лобового опору, використовують результати експериментів не з одним снарядом, а з снарядами декількох різних креслень, тому отримані функції, які застосовуються на практиці являють собою деякі осереднені функції, різних снарядів, так звані еталонні функції, що потребують в подальшому “погодження” розрахункових та експериментальних даних балістичних стрільб для конкретного снаряда [3, 4].

Перспективним напрямом визначення сили лобового опору повітря є навівемпіричний підхід, який заснований на апроксимації її функціями, що можливо описати аналітичними виразами на основі отриманих експериментальних даних балістичних стрільб індивідуального снаряда. Сьогодні це стає можливим за допомогою використання ЕОМ та не вимагає значного устаткування і вирішується з достатньою для складання таблиць стрільби точністю. В роботах [5, 6] запропоновано в якості експериментальних даних балістичних стрільб використовувати значення опорної дальності, яка розраховується на підставі визначення точок падіння (розривів) снарядів.

Найбільш важливим елементом таблиць стрільби артилерійських систем є повна горизонтальна дальність, яка визначається при складанні таблиць стрільби в залежності від кута кидання. Помилки визначення табличної дальності

порівняно з помилками інших елементів таблиць стрільби найбільш суттєво впливають на ефективність стрільби [3, 4, 7].

Метою статті є оцінка точності визначення серединної похибки визначення опорної дальності при стрільбах з артилерійських систем за результатами експериментальних даних стрільб та порівняння їх з теоретичними даними.

Виклад основного матеріалу дослідження

1. Оцінка точності визначення сумарної серединної похибки визначення опорної дальності за теоретичними даними і даними таблиць стрільби. Точність визначення табличної дальності залежить головним чином залежить від точності визначення опорної дальності $E_{X_{OP}}$, яка в свою чергу залежить від помилок [3, 4]:

визначення дослідної дальності E_{X_D} ;

приведення дослідної дальності до нормальних умов стрільби $E_{X_{ПРИВ}}$.

1. Точність визначення дослідної дальності E_{X_D} . Помилки визначення дослідної дальності складаються з помилок вимірювання координат точок окремих розривів снарядів і помилок, які пов'язані з розсіюванням снарядів

$$E_{X_D} = \sqrt{E_{X_K}^2 + B\delta^2}, \quad (1)$$

де E_{X_K} – серединна похибка вимірювання координат точок окремих розривів снарядів; $B\delta$ – серединна похибка розсіювання снарядів (значення похибки наведені в таблицях стрільби на відповідну артилерійську систему в залежності від дальності її стрільби).

При визначенні координат розривів методом засічки кутомірними приладами, помилки вимірювання координат не перевищують 2 м [4]. Цією помилкою можна знехтувати, так як вона досить незначна в порівнянні з помилкою, яка викликана розсіюванням снарядів за дальністю. Відповідно формула (1), в залежності від кількості пострілів в групі набуде вигляду

$$E_{X_D} = \frac{B\partial}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

де n – число пострілів в групі.

Приймаючи в середньому $B\partial = 0.5\%$ дальності стрільби (X) та $n = 5 \div 7$ пострілів, отримаємо

$$E_{X_D} \approx 0.2\%X.$$

2. Точність приведення дослідної дальності до нормальних умов стрільби $E_{X_{ПРИВ}}$. Помилки приведення дослідної дальності до нормальних умов стрільби включають помилки визначення балістичних і метеорологічних умов стрільби і помилки, які пов'язані з методом приведення результатів стрільби до нормальних (табличних) умов [3, 4]

$$E_{X_{ПРИВ}} = \sqrt{E_{X_B}^2 + E_{X_M}^2 + E_{X_{M,ПРИВ}}^2}, \quad (3)$$

де E_{X_B} – серединна похибка в дальності внаслідок похибки визначення балістичних умов стрільби; E_{X_M} – серединна похибка в дальності внаслідок похибки визначення метеорологічних умов стрільби; $E_{X_{M,ПРИВ}}$ – серединна похибка в дальності внаслідок похибки методу приведення результатів стрільби до нормальних умов.

Серединна похибка визначення балістичних умов стрільби E_B складається з похибки визначення початкової швидкості польоту снаряда [3, 4]

$$E_{V_0} = \sqrt{\frac{r_V^2}{n} + \varepsilon_V^2}, \quad (4)$$

та серединної похибки визначення кута кидання

$$E_{\theta_0} = \sqrt{E_{\phi}^2 + E_{\gamma}^2}, \quad (5)$$

де r_V – серединна похибка розсіювання початкової швидкості польоту снаряда; ε_V – серединна похибка вимірювання початкової швидкості польоту снаряда; E_{ϕ} – серединна похибка визначення кута підвищення; E_{γ} – серединна похибка визначення вертикальної складової кута вильоту.

Випадкові похибки, які характеризуються величиною r_V викликані неоднomanітністю ваги, температури і балістичних властивостей порохових зарядів, неоднomanітністю форми та характеристик обертального руху снарядів.

Систематичні помилки ε_V , які є постійними для даної стрільби і різними для різних стрільб, пов'язані з похибками вимірювання початкової

швидкості польоту снаряда відповідними технічними засобами, помилками визначення температури зарядів та ваги снарядів.

В підсумку, серединній похибці визначення початкової швидкості польоту снаряда за результатами однієї групи пострілів ($n = 5 \div 7$), відповідає серединна похибка в дальності $E_{X_{V_0}} = 0.15\%X$.

Серединна похибка визначення кута підвищення складається з похибок встановлення кута підвищення по квадранту і похибок визначення непаральності контрольної площадки вісі каналу ствола та складає $E_{\phi} = 2', 3$ [3, 4]. Внаслідок неоднакової технологічної кривизни каналу ствола, різностінності і статичного прогину, виникає додатковий кут – кут вильоту снаряда, який має вертикальну та горизонтальну складові. Вертикальна складова, впливає на дальність польоту снаряда, визначається стрільбою по щитам та складає $E_{\gamma} = 1', 2$ [3, 4]. Тоді помилці $E_{\theta_0} = 2', 6$ (5), відповідає похибка в дальності (на кутах кидання більше 25°) $E_{X_{\theta_0}}$ менша за $0.1\%X$.

Серединна похибка визначення метеорологічних умов стрільби складається з похибки визначення тиску повітря, балістичного відхилення температури і повздовжнього балістичного вітру [3, 4]:

$$E_M = \sqrt{E_{h_0}^2 + E_{\tau_{БАЛ}}^2 + E_{w_x}^2}, \quad (6)$$

де E_{h_0} – серединна похибка визначення тиску повітря; $E_{\tau_{БАЛ}}$ – серединна похибка вимірювання балістичного відхилення температури повітря; E_{w_x} – серединна похибка вимірювання повздовжнього балістичного вітру.

Значення серединних похибок визначення метеорологічних умов стрільби мають наступні величини:

$$E_{h_0} = 1 \text{ мм}; E_{\tau_{БАЛ}} = (0,6 \div 1,6)^{\circ}; E_{w_x} = 0,65 \text{ м/с}.$$

Зазначеним серединним похибкам визначення метеорологічних елементів відповідають наступні величини серединних похибок в дальності:

$$E_{X_{h_0}} = (0,01 \div 0,04)\%X; E_{X_{\tau_{БАЛ}}} = (0,03 \div 0,12)\%X;$$

$$E_{X_{w_x}} = (0,04 \div 0,21)\%X.$$

Опорна дальність польоту снаряда за нормальними значеннями параметрів польоту снаряда, визначається шляхом додавання до результатів стрільб поправок, які враховують відхилення умов стрільби від нормальних (табличних). Відповідно, серединна похибка в дальності внаслідок похибки методу приведення результатів стрільби до нормальних умов в основному визначається похибкою обчислення цих поправок, на величину яких найбільший вплив здійснює похибка, яка викликана неточністю

врахування функції опору повітря для даного снаряда при різних кутах кидання, та в середньому складає від величини поправки [3, 4].

Таким чином, величина сумарної середньої похибки визначення опорної дальності за результатами стрільби визначається залежністю

$$E_{X_{OP}} = \sqrt{E_{X_D}^2 + E_{X_{00}}^2 + E_{X_{V_0}}^2 + E_{X_{h_0}}^2 + E_{X_{W_x}}^2 + E_{X_{\tau_{БАЛ}}}^2 + E_{X_{М,ПРИВ}}^2} \quad (7)$$

Результати розрахунків величин $E_{X_{OP}}$ за формулою (7) наведені в табл. 1 (яка складена для двох груп $V_0 < 450$ м/с початкових швидкостей (і $V_0 > 450$ м/с) та кутів кидання в межах від 5° до 60°) [3, 4].

Оскільки, експериментальні стрільби повторюються, як правило, тричі ($N = 3$), сумарна середня похибка визначення опорної дальності за результатами трикратних стрільб, в цьому випадку може бути визначена як

$$E_{X_{OP,N}} = \frac{E_{X_{OP}}}{\sqrt{N}}, \quad (8)$$

де $E_{X_{OP,N}}$ – середня похибка визначення дальності за результатами N – груп стрільб.

Таблиця 1.

Значення середніх похибок визначення опорної дальності

θ_0	5°	10°	20°	30°	40°	45°	50°
$V_0 < 450$ м/с							
$E_{X_{OP}}$	1.03	0.65	0.53	0.50	0.50	0.50	0.53
$V_0 > 450$ м/с							
$E_{X_{OP}}$	0.78	0.52	0.47	0.47	0.47	0.48	0.50

Приймаючи, що $E_{X_{OP}} = 0.5\%X$ та $N = 3 - 4$, отримаємо, що опорна дальність буде визначена з середньою похибкою порядку $0.25 \div 0.30\%X$.

2. Оцінка точності визначення опорної дальності за результатами експериментальних даних стрільб. В процесі розрахунку числових характеристик за результатами стрільби отримується вибірка малого об'єму, приходиться мати справу не з точними значеннями, а лише з їх середніми статистичними (середніми арифметичними) значеннями. Тому для оцінки точності і надійності отриманих результатів, слід користуватися інтервальними оцінками оскільки це дозволяє уникнути грубих помилок, на відміну від точкових оцінок [8, 9].

Оцінка точності і надійності визначення опорної дальності D_{OP} за результатами експериментальних даних стрільб зводиться до рішення ймовірного рівняння

$$P\left\{|\tilde{M}[X] - m_X| \leq J_\beta\right\} = \alpha, \quad (9)$$

де J_β – довірчий інтервал; α – довірна ймовірність.

Довірчий інтервал залежить від постановки експерименту, числа стрільб, а також від вибраної довірчої ймовірності. З (9) видно, що чим ближче α до одиниці, тим ширше буде довірчий інтервал.

Для визначення границь, за яких не вийде математичне очікування значень опорної дальності, розрахуємо довірчий інтервал J_β , тобто інтервал, ймовірність виходу з якого менше заданого значення. Визначення довірчого інтервалу J_β проведемо наступним порядком:

розраховується середнє статистичне (середнє арифметичне) значення опорної дальності

$$\tilde{M}[X] \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (10)$$

де x_i – результат i -го пострілу; n – число всіх пострілів в групі;

розраховується середнє відхилення точок розривів снарядів за дальністю

$$\tilde{E}[X] = 0,6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{M}[X])^2}; \quad (11)$$

розраховується середнє відхилення, яке характеризує розкид середнього статистичного значення опорної дальності

$$\tilde{E}[\tilde{M}[X]] = \frac{\tilde{E}}{\sqrt{n}} = 0,6745 \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{M}[X])^2}; \quad (12)$$

за таблицею [9] для розподілу Стьюдента визначається коефіцієнт $t_\alpha = f(k, \alpha)$, де $\alpha = 0,99$, $k = n - 1$;

розраховується значення

$$\varepsilon = t_\alpha \cdot \tilde{E}[\tilde{M}[X]]; \quad (13)$$

розраховується довірчі границі, у яких з заданою ймовірністю α буде міститися середнє арифметичне $\tilde{M}[X]$ опорної дальності, яка досліджується

$$J_\beta (\tilde{M}[X] - \varepsilon; \tilde{M}[X] + \varepsilon). \quad (14)$$

Максимальне відхилення значення опорної дальності від його середнього арифметичного значення визначається як

$$\Delta \tilde{M}[X]_{MAX} = \pm \varepsilon \tilde{E}[X]. \quad (15)$$

За формулами (10 – 15) в табл. 2 наведені розрахунки значень J_{β_x} та $\Delta \tilde{M}[X]_{MAX}$ за даними експериментальних стрільб 122-мм Г Д-30, снаряд ОФ-462Ж [10, 11].

Аналіз наведених даних показує, що при стрільбі з 122-мм Г Д-30 довірчі границі для середнього статистичного значення опорної дальності мають значення

$$P\left\{|\tilde{M}[X] - m_X| \leq 17\right\} = 99.$$

Максимальне відхилення значення опорної дальності від його середнього статистичного значення буде знаходитися в межах 70 м.

Зведена таблиця результатів експериментальних даних

Установки для стрільби	N	D_{ki}^u	α_k^u	x_i	$M[X]$	$(x_i - \tilde{M}[X])^2$	$\tilde{E}[X]$	Оцінка точності визначення D^{OP}
X_{en} 76985	1	3170	18-90	5609	5627	321	17,22	$\tilde{E}[\tilde{M}[X]]$ 3,85
		3170	18-93	5602		620		
Y_{en} 52216		3140	18-94	5592		1225		
		3175	18-89	5610		289		
h_{en} 280		3195	18-98	5643		256		
		3160	18-90	5612		225		
X_k 79635		3140	18-99	5598		841		
		2	3277	18-81		5650		529
3155			18-81	5598		841		
3158			18-90	5610		289		
3190	18-96		5643	256				
3164	18-94		5598	841				
3210	18-85		5665	1444				
3208	18-89		5647	400				
3220	18-99		5662	1225				
Y_k 52765	3175	18-96	5660	1089	$J_{\beta_x min}$ 5616			
	3167	18-95	5654	729				
X_{η} 82640	3170	18-95	5600	729	$J_{\beta_x max}$ 5638			
	3202	18-98	5650	529				
Y_{η} 51383	3	3192	18-90	5644	289	$\Delta \tilde{M}[X]_{MAX}$ 69		
		3160	18-99	5618	81			
h_{η} 379,8		D_m^u 5717	D_p^u 6198	Π 360				

Висновки й перспективи подальших досліджень

В статті проведена оцінка точності серединної похибки визначення опорної дальності при стрільбах з артилерійських систем за результатами експериментальних даних стрільб та порівняння отриманих результатів з теоретичними даними. Так, розрахунок сумарної серединної похибки визначення опорної дальності за теоретичними даними та даними таблиць стрільби, показав що, за результатами трикратних стрільб величина сумарної серединної похибки має значення $0.25 \div 0.30 \% X$.

Проведена оцінка точності і надійності визначення опорної дальності за результатами експериментальних даних стрільб з 122-мм Г Д-30. Результати яких показують, що максимальне відхилення значення опорної дальності від його

середнього арифметичного значення буде знаходитися в межах 70 м, що відповідає серединній похибці порядку 0.31 %X.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження балістичних стрільб свідчать, що серединні похибки визначення опорної дальності за результатами експериментальних даних стрільб мають значення в середньому такого ж порядку, як і похибки, які знайдені на основі сумування часткових помилок теоретичних даних та таблиць стрільби.

Подальшим напрямком досліджень є проведення експериментального розрахунку коефіцієнтів функції лобового опору повітря при проведенні балістичних стрільб з артилерійських систем за значеннями опорної дальності; оцінка їх точностних показників.

Література

1. Дмитриевский А. А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лисенко // М.: Машиностроение, 2005. – 607 с. 2. Лисенко В. М. Теорія польоту / В. М. Лисенко, В. І. Грабчак, Д. А. Новак // Суми : СумДУ, 2006. – 203 с. 3. Равдин И. Ф. Внешняя баллистика неуправляемых ракет и снарядов / И. Ф. Равдин // МО : Воениздат, 1973. – 184 с. 4. Чернозубов А. Д. Внешняя баллистика. Часть I / А. Д. Чернозубов, В. Д. Кириченко, И. И. Разин, К. В. Михайлов // М. : Артиллерийская инженерная академия, 1954. – 497 с. 5. Грабчак В. І. Аналіз існуючих та перспективних методів визначення

сили опору повітря руху снарядів / В. І. Грабчак, С. В. Бондаренко // Військово-технічний збірник. – Львів : АСВ. – 2013. – Вип. 2. (9). – С. 13–19. 6. Грабчак В. І. Апроксимація сили опору повітря руху снарядів аналітичними функціями / В. І. Грабчак, Ю. М. Косовцов, С. В. Бондаренко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони – 2014. – № 1(19). – С. 19–23. 7. Грабчак В. І. Обґрунтування вимог до точності складання таблиць стрільби / В. І. Грабчак, С. В. Бондаренко // Системи озброєння і військова техніка. – Харків : ХУПС. – 2014. – № 1 (37). – С. 20–24.

8. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей / Б. В. Гнеденко // М. : Наука. – 1988. – 448 с.
9. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель // М.: Государственное издание физико-математической литературы, 1958. – 454 с. 10. Про підготовку та проведення експерименту з дослідження функції

аеродинамічного опору повітря: 335-ОД, 10 жов. 2014 р. / Академія сухопутних військ. – Л : М-во оборони України, 2014. – 2с. – (Наказ НА). 11. Таблицы стрельбы 122-мм гаубицы Д-30 / [авт. текста Р. А. Кулаковский] // М. : Воен. издательство. 1984. – 224 с.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДИННОЙ ОШИБКИ РАСЧЕТА ОПОРНОЙ ДАЛЬНОСТИ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СРЕЛБ

Владимир Иванович Грабчак (канд. техн. наук, с.н.с.)
Семён Владимирович Бондаренко

Академия сухопутных войск имени гетмана Петра Сагайдачного, Львов, Украина

Перспективным направлением определения силы лобового сопротивления воздуха есть полуэмпирический подход, основанный на аппроксимации её функциями, которые возможно описать аналитическими выражениями на основе полученных экспериментальных данных баллистических стрельб индивидуального снаряда. Сегодня это возможно с помощью использования ЕОМ, и не требует значительного оборудования, решается с достаточной для составления таблиц стрельбы точностью. В статье проведена оценка точности определения суммарной средней ошибки определения опорной дальности по значениям таблиц стрельбы и оценена точность и надёжность определения средней ошибки опорной дальности по результатам экспериментальных данных стрельб. Приведены результаты расчетов средней ошибки опорной дальности для 122-мм Г Д-30 по данным экспериментальных стрельб и проведено их сравнение с теоретическими данными.

Ключевые слова: опорная дальность; Таблицы стрельбы; срединные ошибки; экспериментальные стрельбы; доверительные границы; точность и надёжность оценок.

ACCURACY EVALUATION OF REFERENCE RANGE MEDIAN CALCULATION ERROR DETERMINATION OF ARTILLERY SHOOTING

Volodymyr I. Hrabchak (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)
Semen V. Bondarenko

Army Academy named after Hetman Petro Sahaidachny, Lviv, Ukraine

The promising direction of determine of air drag force is semi-empirical approach based on its approximation by functions that may describe by the analytical expressions based on the experimental data of ballistic firing individual projectile. Nowadays, this is possible using a computer and does not require significant hardware and solving with sufficient artillery range tables accuracy. The accuracy of determining the median total error in determining the reference range for the value by the artillery range tables was evaluated in the article and the accuracy and reliability of the determination of the reference median error range from experimental data shooting was evaluated. The results of calculations the median error reference range for 122 mm howitzer D-30 by shooting for the experimental data and was compared with theoretical data.

Keywords: reference range; Artillery range tables; the median error; the experimental shooting; confidence limits; accuracy and reliability of the estimates.

References

1. Dmitrievskiy A.A., Lusenko L.N. (2005) Exterior ballistics. [Vneshniaia ballistyka], Mashynostroenye, Moscow, 607 p. 2. Lusenko V.M., Grabchak V.I., Novak D.A. (2006) Theory of flight. [Teoriia polotu], Sum.S.U., Sumy, 203 p. 3. Ravdin Y.F. (1973) Exterior ballistics unguided aerial vehicles. [Vneshniaia ballistyka neupravliaemykh raket y snariadov]. Moscow, Voenizdat, 184 p. 4. Chernozubov A.D., Kuruchenko V.D., Razin I.I. Michaylov K.V. (1957), Exterior ballistics, part I. [Vneshniaia ballistyka], Artylleryiskaia ynzhenernaia akademyia, Moscow, 497 p. 5. Grabchak V.I., Bondarenko S.V. (2013) Analysis of existing and perspective methods of defining air resistance in projectiles motion [Analiz isnuichykh ta perspektivnykh metodiv vyznachennia syly oporu povitria rukhu snariadiv], Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk, No. 2(9), pp. 13–19. 6. Grabchak V.I., Kosovcov Y.M., Bondarenko S.V. (2014) Approximation of air resistance for projectile movement by analytical functions.

[Aproksymatsiia syly oporu povitria rukhu snariadiv analitychnymy funktsiiamy] Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta obrony, No. 1(19), pp. 19–23. 7. Grabchak V.I., Bondarenko S.V. (2014) Grounding for the requirements to the accuracy of artillery range tables compilation. [Obgruntuvannia vymoh do tochnosti skladannia tablyts strilby], Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika, No. 1(37), pp. 20–24. 8. Gnedenko B.V. (1988) Course in the theory of probability. [Kurs teoryy veroiatnosti], Moscow, Nauka, 448 p. 9. Ventcel E.S. (1958) Probability theory. [Teoryy veroiatnosti], Hosudarstvennoe yzdanye fizyko-matematicheskoi lyteratury, Moscow, 454 p. 10. The preparation and conduct experiments to investigate air drag function 335-OD (2014). Army academy, Ministry of Defence Ukraine, Lviv, 2 p. 11. Kulakovskiy R.A. (2014) Tables firing 122-mm howitzer D-30. [Tablytsu strelbu 122-mm haubytsu D-30], Moscow, Voenizdat, 224 p.

Отримано: 15.01.2015 року