

УДК 623.546

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019.42-47>

П.П. Ткачук, Л.Д. Величко, І.В. Горчинський

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУР ЗАРЯДУ ПАТРОНА ТА ПОВІТРЯ НА КІНЕМАТИЧНІ ПАРАМЕТРИ РУХУ КУЛІ, ВИПУЩЕНОЇ З СВД

У роботі досліджується вплив температур повітря та заряду патрона на кінематичні параметри руху кулі в повітрі. Встановлено, що збільшення температур заряду патрона або повітря сприяють значному зростанню дальності лету кулі, незначному збільшенню її швидкості та тривалості руху. Переважно температури повітря та заряду не є однаковими, тому вивчався вплив зміни температури тільки повітря або тільки заряду на динаміку руху кулі. Встановлено: величина температури заряду патрона, переважаючи температуру повітря, впливає на кінематичні параметри руху кулі при стрільбі на віддаль до 600 метрів; при стрільбі на віддаль 700-900 метрів впливи температур заряду і повітря на рух кулі майже тотожні; при стрільбі на віддаль більшу 900 метрів переважаючим впливом на кінематику руху кулі стає температура повітря. Якщо температури заряду патрона і повітря однакові та більші 15 °С, то теоретична дальність лету кулі більша від величин, наведених у таблицях стрільб. Різниця між ними зростає при збільшенні віддалі, на яку ведеться стрільба. Так, при температурі 35 °С вона досягає 10%. При зменшенні температури заряду і повітря від 15 °С координата точки обнуління траєкторії руху кулі, визначеної теоретичним методом, буде менша від наведеної в таблицях стрільб та абсолютне значення різниці між ними зростає. Аналізуючи значення величин бічного зміщення кулі під дією бічного вітру при зміні температури повітря, можна стверджувати, що зростання/зменшення величини температури повітря суттєво збільшує/зменшує дальність лету кулі, однак величини її бічного зміщення незначно відрізняються від величин вказаних при температурі повітря 15 °С. Розбіжність між теоретичними значеннями бічного зміщення кулі та наведеними в таблицях стрільб стає суттєвою, якщо стрільба ведеться на віддаль більшу 900 метрів. Проте проведені теоретичні дослідження дозволяють стверджувати, що значення бічних зміщень кулі, наведених в таблицях стрільб для віддалей більших 900 метрів, викликають сумнів.

Ключові слова: зовнішня балістика куль, температура повітря та заряду патрона, бічний вітер, СВ.

Постановка проблеми

У таблицях стрільб [1] вказані величини поправок на дальність, якщо температура заряду патрона і повітря однакові, та відхиляються від стандартної $t=15$ °С на кожні 10 °С. У реальності їх температури можуть бути різними. Тому для підвищення точності стрільби необхідно дослідити окремо впливи температур заряду і повітря на зовнішню балістику кулі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У переважній більшості наукових робіт [2–6], в яких досліджується зовнішня балістика куль, мін і снарядів, опір повітря рухові тіл описується силою лобового опору. Її аналітичний запис

$$R = \frac{\rho V^2}{2} \frac{\pi d^2}{4} i c_x \left(\frac{V}{V_s} \right),$$

де R – сила лобового опору повітря, V – швидкість снаряда, ρ – густина повітря, V_s – швидкість звуку в повітрі, d – калібр снаряда, i – коефіцієнт форми

снаряда, $c_x \left(\frac{V}{V_s} \right)$ – еталонна функція лобового опору. У статті [7] сила лобового опору повітря описується залежністю

$$F_\rho = \frac{1000 k d^2}{g} \frac{20000 - z}{20000 + z} F_V,$$

де k – значення форм-фактора, g – прискорення вільного падіння тіла, z – вертикальна координата кулі в довільний момент часу, функція F_V має різні

форми запису: при надзвуковій – $F_V = \left(\frac{V}{3} - 80 \right)$ та

дозвуковій – $F_V = 1,21 \cdot 10^{-4} V^2$ швидкостях кулі. У роботі [8] величина сили лобового опору повітря рухові кулі описується функцією

$$R(t) = c_x \rho_a s_x (V(t))^{2+\gamma_i} \left(\frac{V(t)}{V_s} \right)^{\beta_i}, \quad (1)$$

де c_x – коефіцієнт, який враховує аеродинамічність форми кулі та пропорційності; ρ_a – густина повітря;

s_x – максимальна площа поперечного перерізу кулі площиною, перпендикулярною до напрямку її швидкості; $V(t)$ – швидкість кулі в довільний момент часу; значення коефіцієнтів $\gamma_i (i=1,2)$ і $\beta_i (i=1,2)$ є різними при русі кулі з надзвуковою ($i=1$) або дозвуковою ($i=2$) швидкостями.

Мета статті

Використання запису величини сили лобового опору повітря рухові кулі у вигляді залежності (1), при дослідженні динаміки руху кулі у повітрі, випущеної з СВД, при стандартних умовах (атмосферний тиск 750 мм рт. ст., температура повітря $t_a = 15^\circ\text{C}$, нульовий вітер), дало розбіжність в межах $\pm 0,7\%$ між теоретичними та експериментальними значеннями кінематичних параметрів руху кулі [8]. Тому на основі цієї математичної моделі досліджуються впливи температур повітря і заряду на кінематичні параметри руху кулі у повітрі та здійснюється порівняльний аналіз їх впливів з подальшим співставленням з результатами, наведеними в таблицях стрільб.

Основна частина

При зміні температури повітря змінюються швидкість звуку в повітрі та його густина. Швидкість звуку визначається [9]

$$V_s = \sqrt{\frac{k_a R_{un} T_a}{\mu_a}}, \quad (2)$$

де k_a – показник адиабати і для повітря $k_a = 1,4$;

$R_{un} = 8314 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{кмоль}}$ – універсальна газова стала;

T_a – абсолютна температура повітря;

$\mu_a = 28,96 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$ – умовна молярна маса повітря.

Густину речовини визначають, використовуючи формулу

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (3)$$

Рівняння Клапейрона-Менделєєва для газів має вигляд [9]

$$pV = \frac{mRT}{\mu}. \quad (4)$$

Враховуючи (3) і (4) отримаємо, що густина повітря визначається з формули

$$\rho_a = \frac{\mu_a p}{R_{un} T_a}, \quad (5)$$

де p – абсолютний тиск повітря.

Система диференціальних рівнянь

$$m\ddot{x} = -\frac{c_x \rho_a s_x \dot{x}}{V_a^{\beta_i}} (\dot{x}^2 + \dot{z}^2)^{0,5(1+\gamma_i+\beta_i)}, \quad (6)$$

$$m\ddot{z} = -mg - \frac{c_x \rho_a s_x \dot{z}}{V_a^{\beta_i}} (\dot{x}^2 + \dot{z}^2)^{0,5(1+\gamma_i+\beta_i)} \quad (7)$$

описує динаміку руху кулі в повітрі під дією її ваги та сили лобового опору повітря [8]. Початок системи координат Oxz розміщено в точці вильоту кулі. Вісь Ox лежить в горизонті зброї та скеровується в напрямку мішені, а вісь Oz – вертикально вгору від центру Землі. На основі цієї системи диференціальних рівнянь, початкових умов

$$x(0)=0, \dot{x}(0)=V_0 \cos \theta_0, z(0)=0, \dot{z}(0)=V_0 \sin \theta_0, \quad (8)$$

де V_0 – початкова швидкість кулі, θ_0 – кут кидання, та враховуючи залежності (2) і (5), визначається вплив зміни температури повітря на кінематичні параметри руху кулі на етапах з надзвуковою ($i=1$) або дозвуковою ($i=2$) швидкостями. Вважалось, що зміна температури повітря відбувалась в діапазоні від -25°C до 35°C .

Зміна температури заряду патрона впливає на величину дульної швидкості кулі. Згідно з [1] збільшення (зменшення) температури заряду патрона ЛПС на 10°C спричиняє зростання (зменшення) дульної швидкості кулі на $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Вважалось, що дульна швидкість кулі, випущеної із СВД, змінювалась в інтервалі $790 \frac{\text{м}}{\text{с}} \leq V_0 \leq 850 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а це відповідає зміні температури заряду патрона в межах $-25^\circ\text{C} \leq t_{зар} \leq 35^\circ\text{C}$.

Під час обчислень використовувались значення параметрів: маса кулі $m=0,0096 \text{ кг}$, $s_x = \pi \cdot 0,0039^2 \text{ м}^2$, $c_x=0,9$, на етапі лету кулі з надзвуковою швидкістю $\gamma_1=-0,26$ і $\beta_1=-0,005$, а дозвуковою – $\gamma_2=-0,341$ і $\beta_2=2,1$. У таблиці 1 наступні позначення: θ_0 – кут кидання, який вимірюється в радіанах; d – горизонтальна віддаль, на якій відбувається обнуління траєкторії руху кулі при вказаному куті кидання θ_0 ; Δx_v – горизонтальне зміщення точки обнуління траєкторії руху кулі від величини d внаслідок зміни тільки дульної швидкості кулі від $830 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; Δx_p – горизонтальне зміщення внаслідок зміни тільки температури повітря від 15°C . Знак (–) вказує, що куля не долітає до координати d на вказану величину.

Таблиця 1

Горизонтальні зміщення кулі внаслідок зміни температури тільки заряду патрона або тільки повітря

	$t_{зар}$	-25 °С	-15 °С	-5 °С	5 °С	15 °С	25 °С	35 °С
$\theta_0=0,000761$ $d=100$ м	Δx_v	-8,86м	-6,65м	-4,42м	-2,16м	0,0м	2,35м	4,68м
	Δx_p	-0,93м	-0,72м	-0,38м	-0,27м	0,0	0,28м	0,51м
$\theta_0=0,001629$ $d=200$ м	Δx_v	-16,92м	-12,77м	-8,50м	-4,28м	0,0м	4,31м	8,65м
	Δx_p	-3,89м	-2,82м	-1,79м	-0,88м	0,0м	0,83м	1,63м
$\theta_0=0,002627$ $d=300$ м	Δx_v	-24,06м	-18,07м	-12,10м	-6,03м	0,0м	6,12м	12,31м
	Δx_p	-8,42м	-6,12м	-3,93м	-1,88м	0,0	1,86м	3,61м
$\theta_0=0,003778$ $d=400$ м	Δx_v	-30,21м	-22,80м	-15,23м	-7,63м	0,0м	7,68м	15,40м
	Δx_p	-14,59м	-10,60м	-6,88м	-3,34м	0,0м	3,23м	6,29м
$\theta_0=0,005113$ $d=500$ м	Δx_v	-35,99м	-27,01м	-18,05м	-9,05м	0,0м	9,00м	18,00м
	Δx_p	-22,19м	-16,23м	-10,57м	-5,20м	0,0м	4,86м	9,58м
$\theta_0=0,006673$ $d=600$ м	Δx_v	-40,75м	-30,58м	-20,38м	-10,21м	0,0м	10,18м	20,38м
	Δx_p	-30,96м	-22,70м	-14,78м	-7,23м	0,0м	6,92м	13,56м
$\theta_0=0,008504$ $d=700$ м	Δx_v	-44,86м	-33,60м	-22,40м	-11,21м	0,0м	11,18м	22,33м
	Δx_p	-40,87м	-30,01м	-19,60м	-9,61м	0,0м	9,23м	18,10м
$\theta_0=0,010669$ $d=800$ м	Δx_v	-48,31м	-36,19м	-24,10м	-12,00м	0,0м	12,01м	24,00м
	Δx_p	-51,82м	-38,13м	-24,95м	-12,24м	0,0м	11,80м	23,20м
$\theta_0=0,013240$ $d=900$ м	Δx_v	-51,24м	-38,34м	-25,52м	-12,71м	0,0м	12,70м	25,33м
	Δx_p	-63,54м	-36,83м	-30,67м	-15,09м	0,0м	14,65м	28,79м
$\theta_0=0,016243$ $d=1000$ м	Δx_v	-53,66м	-40,13м	-26,68м	-13,30м	0,0м	13,23м	26,44м
	Δx_p	-75,83м	-55,99м	-36,75м	-18,11м	0,0м	17,55м	34,62м
$\theta_0=0,019682$ $d=1100$ м	Δx_v	-55,59м	-41,59м	-27,66м	-13,78м	0,0м	13,71м	27,36м
	Δx_p	-88,50м	-65,44м	-43,02м	-21,21м	0,0м	20,66м	40,80м
$\theta_0=0,023560$ $d=1200$ м	Δx_v	-57,25м	-42,82м	-28,47м	-14,19м	0,0м	14,09м	28,12м
	Δx_p	-101,53м	-75,19м	-49,48м	-24,44м	0,0м	23,84м	47,14м
$\theta_0=0,027882$ $d=1300$ м	Δx_v	-58,63м	-43,83м	-29,12м	-14,51м	0,0м	14,46м	28,79м
	Δx_p	-114,81м	-85,10м	-56,07м	-27,71м	0,0м	27,15м	53,70м

Аналізуючи значення, наведені в таблиці 1, можна стверджувати:

- величина температури заряду патрона, переважаючи, ніж температура повітря, впливає на кінематичні параметри руху кулі при стрільбі на віддаль до 600 метрів;

- при стрільбі на віддаль 700– 900 метрів впливи температури заряду і повітря на рух кулі майже тотожні;

- при стрільбі на віддаль більшу 900 метрів переважаючим впливом на кінематику руху кулі стає температура повітря.

У таблиці 2 наведені значення зміщення точки обнуління траєкторії руху кулі, визначені теоретичним методом та наведених в таблицях стрільб [1], якщо змінюються температури заряду і повітря на однакову величину. В ній мають місце наступні позначення: Δx_{theo} – горизонтальне зміщення точки обнуління траєкторії руху кулі від величини d , внаслідок зміни на однакову величину температур повітря і заряду, визначене теоретично;

а Δx_{exp} – зміщення наведене в таблицях стрільб; Δ – різниця між теоретичним та наведеним в таблицях стрільб значеннями горизонтальних зміщень.

На основі значень таблиці 2 і проведених обчислень можна стверджувати, що збільшення температури заряду патрона і повітря сприяють незначному збільшенню тривалості лету кулі та її кінцевої швидкості, але суттєвому збільшенню дальності її лету. Якщо температура заряду патрона і повітря більша 15 °С, то теоретична дальність лету кулі більша від наведеної в таблицях стрільб. Різниця між ними зростає при збільшенні віддалі, на яку ведеться стрільба. Наприклад, якщо температури заряду і повітря 25 °С, то при стрільбі на 800 метрів різниця дорівнює 2,10 метра, а при стрільбі на 1200 метрів – 3,37 метра. При зменшенні температур заряду і повітря від 15 °С координата точки обнуління траєкторії руху кулі, визначена теоретичним методом, буде менша від наведеної в таблицях стрільб, та абсолютне значення різниці $|x_{theo} - x_{exp}|$ зростає.

Таблиця 2

Зміщення точки обнуління траєкторії руху кулі внаслідок зміни температури заряду патрона і повітря на однакову величину

5 °С	$\Delta x_{\text{theo}}=10,4\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=10\text{м}$ $\Delta=0,4\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=22,1\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=22\text{м}$ $\Delta=0,1\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=34,7\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=32\text{м}$ $\Delta=2,7\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=48,3\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=44\text{м}$ $\Delta=4,3\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=62,5\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=58\text{м}$ $\Delta=4,5\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=76,9\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=70\text{м}$ $\Delta=6,9\text{м}$
25 °С	$\Delta x_{\text{theo}}=5,2\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=5\text{м}$ $\Delta=0,2\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=11,0\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=11\text{м}$ $\Delta=0,0\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=17,3\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=16\text{м}$ $\Delta=1,3\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=24,1\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=22\text{м}$ $\Delta=2,1\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=31,2\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=29\text{м}$ $\Delta=2,2\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=38,4\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=35\text{м}$ $\Delta=3,4\text{м}$
15 °С	$x_{\text{theo}}=200,0\text{м}$ $x_{\text{exp}}=200\text{м}$ $\Delta=0,0\text{м}$	$x_{\text{theo}}=400,0\text{м}$ $x_{\text{exp}}=400\text{м}$ $\Delta=0,0\text{м}$	$x_{\text{theo}}=600,0\text{м}$ $x_{\text{exp}}=600\text{м}$ $\Delta=0,0\text{м}$	$x_{\text{theo}}=800,0\text{м}$ $x_{\text{exp}}=800\text{м}$ $\Delta=0,0\text{м}$	$x_{\text{theo}}=1000,0\text{м}$ $x_{\text{exp}}=1000\text{м}$ $\Delta=0,0\text{м}$	$x_{\text{theo}}=1200,0\text{м}$ $x_{\text{exp}}=1200\text{м}$ $\Delta=0,0\text{м}$
5 °С	$\Delta x_{\text{theo}}=-5,1\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-5\text{м}$ $\Delta=-0,1\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-10,9\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-11\text{м}$ $\Delta=0,1\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-17,2\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-16\text{м}$ $\Delta=-1,2\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-24,0\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-22\text{м}$ $\Delta=-2,0\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-31,0\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-29\text{м}$ $\Delta=-2,0\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-38,2\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-35\text{м}$ $\Delta=-3,2\text{м}$
-5 °С	$\Delta x_{\text{theo}}=-10,2\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-10\text{м}$ $\Delta=-0,2\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-21,7\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-22\text{м}$ $\Delta=0,3\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-34,3\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-32\text{м}$ $\Delta=-2,3\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-47,8\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-44\text{м}$ $\Delta=-3,8\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-61,9\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-58\text{м}$ $\Delta=-3,9\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-76,2\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-70\text{м}$ $\Delta=-6,2\text{м}$
-15 °С	$\Delta x_{\text{theo}}=-15,3\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-15\text{м}$ $\Delta=-0,3\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-32,5\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-33\text{м}$ $\Delta=0,5\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-51,3\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-48\text{м}$ $\Delta=-3,3\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-71,6\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-66\text{м}$ $\Delta=-5,6\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-92,7\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-87\text{м}$ $\Delta=-5,7\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-114,1\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-105\text{м}$ $\Delta=-9,1\text{м}$
-25 °С	$\Delta x_{\text{theo}}=-20,2\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-20\text{м}$ $\Delta=-0,2\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-43,1\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-44\text{м}$ $\Delta=0,9\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-68,2\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-64\text{м}$ $\Delta=-4,2\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-95,2\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-88\text{м}$ $\Delta=-7,2\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-123,3\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-116\text{м}$ $\Delta=-7,3\text{м}$	$\Delta x_{\text{theo}}=-151,8\text{м}$ $\Delta x_{\text{exp}}=-140\text{м}$ $\Delta=-11,8\text{м}$

Вплив бічного вітру та зміни температури повітря на зміщення кулі

У таблицях стрільб [1] не наведені поправки, які би враховували вплив зміни температури повітря на величину бічного зміщення кулі під дією бічного вітру. Тому досліджується вплив зміни температури повітря на величину бічного зміщення кулі під дією вітру, скерованого перпендикулярно до лінії прицілювання.

Вважається, що швидкість бічного зміщення кулі не впливає на величину лобового опору повітря та величина сили, спричиненої дією бічного вітру, описується формулою

$$F = c_y \rho_a s_y (V_{wy} - \dot{y}(t))^\alpha, \quad (9)$$

де c_y – коефіцієнт, який поєднує характеристику аеродинамічності кулі при бічному вітрі та коефіцієнт пропорційності; s_y – площа поздовжнього перерізу кулі площиною, яка проходить через її вісь симетрії; V_{wy} – швидкість бічного вітру; $\dot{y}(t)$ – швидкість бічного зміщення кулі обумовлена дією вітру; α – коефіцієнт нелінійності.

Диференціальне рівняння руху кулі, яке враховує дію бічного вітру на неї, матиме вигляд

$$m\ddot{y} = c_y \rho_a s_y (V_{wy} - \dot{y}(t))^\alpha \quad (10)$$

з початковими умовами

$$y(0)=0, \quad \dot{y}(0)=0. \quad (11)$$

Під час обчислень використовувались значення параметрів: швидкість бічного вітру $V_{wy} = 4 \text{ м/с}$, маса кулі $m = 0,0096 \text{ кг}$, атмосферний тиск 750 мм рт. ст., площа поздовжнього перерізу кулі $s_y = 0,00021 \text{ м}^2$, $c_y = 18,6$, $\alpha = 1,3$.

У таблиці 3: θ_0 – величина кута кидання в радіанах; t_a – температура повітря; $x(t_k)$ – координата точки обнуління траєкторії з розмірністю $[x(t_k)] = \text{м}$; $y(t_k)$ – бічне зміщення кулі в момент часу, коли відбувається обнуління траєкторії і його розмірність $[y(t_k)] = \text{м}$; y_{exp} – бічне зміщення кулі наведено в таблицях стрільб при зміні температури повітря на 10 °С від стандартної $t_a = 15 \text{ °С}$ та швидкості бічного вітру $V_{wy} = 4 \text{ м/с}$.

Аналізуючи значення величин бічного зміщення кулі під дією бічного вітру при зміні температури повітря, можна стверджувати, що зменшення величини температури повітря суттєво зменшує дальність лету кулі, однак величини її бічного зміщення незначно відрізняються від величин вказаних при температурі повітря $t_a = 15 \text{ °С}$. Розбіжність між теоретичними значеннями бічного зміщення кулі та наведеними в таблицях стрільб стає суттєвою, якщо стрільба ведеться на віддалі більшу 900 метрів. Проте проведені теоретичні

дослідження [8] дозволяють стверджувати, що стрільб, для віддалей більших 900 метрів значення бічних зміщень кулі, наведені в таблицях викликають сумнів.

Таблиця 3

Величини бічного зміщення кулі при зміні температури повітря

θ_0	$t_a = -15^{\circ}C$		$t_a = -5^{\circ}C$		$t_a = 5^{\circ}C$		$t_a = 15^{\circ}C$		$t_a = 25^{\circ}C$		Y_{exp}
	$x(t_k)$	$y(t_k)$	$x(t_k)$	$y(t_k)$	$x(t_k)$	$y(t_k)$	$x(t_k)$	$y(t_k)$	$x(t_k)$	$y(t_k)$	
0,000761	99,4	0,02	99,6	0,02	99,8	0,02	100,0	0,02	100,2	0,02	0,02
0,001629	197,2	0,11	198,2	0,10	199,1	0,10	200,0	0,10	200,8	0,09	0,10
0,002627	293,9	0,25	296,1	0,25	298,1	0,24	300,0	0,23	301,9	0,23	0,26
0,003778	389,4	0,47	393,1	0,46	396,6	0,45	400,0	0,44	403,2	0,43	0,48
0,005113	483,8	0,78	489,4	0,76	494,8	0,74	500,0	0,73	504,9	0,71	0,72
0,006673	577,3	1,18	585,2	1,16	592,8	1,14	600,0	1,12	606,9	1,09	1,12
0,008504	670,0	1,70	680,4	1,67	690,4	1,64	700,0	1,62	709,2	1,59	1,64
0,010669	761,9	2,36	775,0	2,32	787,8	2,28	800,0	2,25	811,8	2,22	2,24
0,013240	853,2	3,14	869,3	3,10	884,9	3,07	900,0	3,03	914,6	2,99	2,90
0,016243	944,0	4,05	963,3	4,01	981,9	3,97	1000,0	3,93	1017,6	3,89	3,70
0,019682	1034,6	5,07	1057,0	5,03	1078,8	4,99	1100,0	4,96	1120,7	4,92	4,60
0,023560	1124,8	6,19	1150,5	6,16	1175,6	6,13	1200,0	6,09	1223,9	6,06	5,50
0,027882	1214,9	7,42	1243,9	7,40	1272,3	7,37	1300,0	7,34	1327,2	7,31	6,50
0,032649	1304,7	8,75	1337,2	8,73	1368,9	8,72	1400,0	8,70	1430,5	8,68	
0,037871	1394,5	10,2	1430,3	10,2	1465,5	10,16	1500,0	10,15	1533,9	10,14	

Висновки

Теоретичні дослідження впливів змін температури зарядів патрона та повітря на кінематичні параметри руху кулі вказали на доцільність їх врахування.

Якщо температури заряду і повітря є різними, то встановлено: при стрільбі до 600 метрів переважаючий вплив на кінематичні параметри руху кулі відіграє температура заряду; при стрільбі на віддалі 700–900 метрів впливи температур заряду і повітря на рух кулі майже тотожні; при стрільбі на віддалі більшу 900 метрів переважаючим впливом на кінематику руху кулі стає температура повітря.

Якщо температури заряду патрона і повітря є однакові та більші $15^{\circ}C$, то теоретична дальність лету кулі більша від наведеної в таблицях стрільб. Різниця між ними зростає при збільшенні віддалі, на яку ведеться стрільба. При зменшенні температури заряду і повітря від $15^{\circ}C$ координата точки обнуління траєкторії руху кулі, визначена теоретичним методом, буде менша від наведеної в таблицях стрільб, та абсолютне значення різниці $|x_{\text{theo}} - x_{\text{exp}}|$ зростає.

Зменшення температури повітря спричиняє значне зменшення дальності лету кулі. Однак, величини теоретично визначеного бічного зміщення кулі, при зміні температури повітря в межах $-15^{\circ}C \leq t_a \leq 25^{\circ}C$, незначно відрізняються від величин, наведених в таблицях стрільб [1] при температурі повітря $t_a = 15^{\circ}C$. Проте при стрільбі на віддалі більшу 900 метрів між значеннями бічних зміщень кулі, визначених теоретично і наведених в

таблицях стрільб, мають місце значні розбіжності. Проведені теоретичні дослідження в роботі [8] вказують, що значення, наведені в таблицях стрільб, викликають сумнів.

Список літератури

1. Настанова зі стрілецької справи 7,62-мм снайперська гвинтівка Драгунова (СГД). – Київ, 2006. – 90 с.
2. B. Zygmunt *Theoretical and experimental research of supersonic missile ballistics* / B. Zygmunt, K. Motyl, B. Machowski, M. Makowski, E. Olejniczak and T. Rasztabiga. – *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 2015, Vol. 63, No.1. – P. 229-233.
3. Грабчак В.І. *Аналіз існуючих та перспективних методів визначення сили опору повітря руху снарядів* / В.І. Грабчак, С.В. Бондаренко. – Львів: НАСВ. – 2013. – Вип. 2.(9). – С. 13–19.
4. Дмитриевский А.А. *Внешняя баллистика: учебник для студентов вузов* / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лысенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.
5. Cech V. *Problem of the reference height of the projectile trajectory as a reduced meteo-ballistic weighting factor* / V. Cech, L. Jedlicka, J. Jevicky. – *Defence Technology*. – 2014. – №10. – P. 131–140.
6. Ke Liang *Optimal design of the aerodynamic parameters for a supersonic two-dimensional guided artillery projectile* / Ke Liang, Zheng Huang, Jing-min Zhang. – *Defence Technology*. – 2017. – №13. – P. 206–211.
7. Albertas Pincevičius *External ballistics task modeling features* / Albertas Pincevičius, Vaclovas Jonevičius, Romualdas Baušys. – *Aviation*, 2011, 15(4). – P. 112–116.
8. Ткачук П.П., Величко Л.Д., Горчинський І.В. *Вплив вітру на зовнішню балістику кулі, випущеної із СВД*. *Військово-технічний збірник*. – Випуск №19. – Львів: НАСВ, 2018. – С. 43–49.

9. Клим М.М., Якібчук П.М. Молекулярна фізика. Навчальний посібник. – Львів: Львівський державний університет імені Івана Франка. 2003. – 544 с.

Рецензент: доктор фізико-математичних наук, професор, В.К. Опанасович, Львівський державний університет імені Івана Франка, Львів.

Влияние температур заряда патрона и воздуха на кинематические параметры движения пули, выпущенной из СВД

П.П. Ткачук, Л.Д. Величко, И.В. Горчинский

В работе исследуется влияние температуры воздуха и заряда патрона на кинематические параметры движения пули в воздухе. Установлено, что увеличение температуры заряда патрона или воздуха содействует значительному увеличению дальности полета пули, незначительному увеличению ее скорости и продолжительности движения. Зачастую температура воздуха и заряда не одинаковы, поэтому изучается влияние изменения температуры только воздуха или только заряда на динамику движения пули. Установлено: величина температуры заряда патрона более, чем температура воздуха, влияет на кинематические параметры движения пули при стрельбе на расстояние до 600 метров; при стрельбе на расстояние 700-900 метров влияние температуры заряда и воздуха на движение пули почти тождественны; при стрельбе на расстояние более 900 метров главное влияние на кинематику движения пули играет температура воздуха. Если температура заряда патрона и воздуха одинаковы и более 15 °С, то теоретическая дальность полета пули более от указанной в таблице стрельб. Разница между ними увеличивается при увеличении расстояния, на которое ведется стрельба. Так, при температуре 35 °С она достигает 10%. При уменьшении температуры заряда и воздуха от 15 °С координата точки обнуления траектории движения пули, определенная теоретическим методом, будет менее от указанной в таблице стрельб, и абсолютное значение разницы между ними увеличивается. Анализируя значение величин бокового смещения пули под действием бокового ветра при изменении температуры воздуха, можно утверждать, что уменьшение величины температуры воздуха существенно уменьшает дальность полета пули, однако величина ее бокового смещения незначительно отличается от величин, указанных при температуре воздуха 15 °С. Расхождение между теоретическими значениями бокового смещения пули и указанными в таблице стрельб становится существенным, если стрельба ведется на расстояние более 900 метров. Однако проведенные теоретические исследования разрешают утверждать, что значения боковых смещений пули, указанные в таблице стрельб для расстояний более 900, метров вызывают сомнения.

Ключевые слова: внешняя баллистика пули, влияние температуры воздуха и заряда патрона, боковой ветер, СВД.

Influence of cartridge charge and air temperatures on the kinematic parameters of movement of the bullet released from the SVD

P. Tkachuck, L. Velychko, I. Horchynskyi

In the paper, the effect of cartridge charge and air temperatures on the kinematic parameters of movement of the bullet released in the air is investigated. It is established that an increase in the temperature of the charge of a cartridge or air contributes to a significant increase in the range of flying bullets, a slight increase in its speed and time of flight. Preferably, the air and charge temperatures are not the same; therefore, the effect of the change in the temperature of only the air or only the charge on the dynamics of the bullet was studied. It has been established that the value of the temperature of the charge of the cartridge, exceeding the air temperature, affects the kinematic parameters of the bullet movement during shooting at a distance of up to 600 meters; when shooting at a distance of 700-900 meters, the effects of charge and air temperatures on the movement of the bullet are almost identical; when shooting at a distance of more than 900 meters, the prevailing influence on the kinematics of the movement of the bullet becomes the temperature of the air. If the temperature of the cartridge and air charge is the same or higher than 15° C, then the theoretical range of the flying bullet is greater than that given in the shooting tables. The difference between them increases with increasing distance, which is shooting. So, at a temperature of 35° C it reaches up to 10%. With a decrease in the temperature of charge and air than 15° C, the coordinate of the zero point of the trajectory of the motion of the bullet determined by the theoretical method will be less than the given in the shooting tables and the absolute value of the difference between them increases. Analyzing the values of the wind deflection of the bullet under the influence of the crosswind when the temperature of the air changed, we can state that the increase/decrease of the air temperature significantly increases/decreases the range of the flying ball, but the values of its wind deflection slightly differ from the values indicated in air temperature 15° C. The difference between the theoretical values of the wind deflection of the bullet and the given in the shooting tables is experimentally significant, if the firing is at a distance greater than 900 meters. However, the theoretical investigations allow to state that the values of wind deflection of the bullet, given in the shooting tables, for distances larger than 900 meters are questionable.

Keywords: exterior ballistics of the bullet, influence of temperature both air and cartridge charge, crosswind, SVD.