

УДК 623.546

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.24-29>М.І. Сорокатиї¹, М.І. Войтович¹, Л.Д. Величко¹, О.А. Москальова²¹Національна академія сухопутних військ, Львів²Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернівці

ВПЛИВ БІЧНОГО ВІТРУ ТА ФРОНТАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ТАНКА НА БІЧНЕ ЗМІЩЕННЯ СНАРЯДА

У роботі вказується сфера застосування формули визначення величини бічного зміщення снаряда під дією бічного вітру, яку використовують при складанні таблиць стрільби. Вказується, що використання цієї формули є правомірним за таких умов: сила лобового опору повітря рухові снаряда пропорційна квадрату його швидкості; компоненти швидкості вітру є значно меншими від горизонтальної складової швидкості снаряда; проєкції швидкості снаряда на осі Oy та Oz є значно меншими від проєкції на вісь Ox ; безрозмірний коефіцієнт опору та величина бічного вітру є величинами сталими.

Однак у дійсності сила опору руху снаряда іноді пропорційна квадрату його швидкості; компонента швидкості снаряда відносно осі Oz не завжди є значно меншою від її компоненти відносно осі Ox , а може бути навіть більшою від неї; коефіцієнт опору не є величиною сталою, а залежить від значенням числа Маха, тому можна його вважати сталим тільки при стрільбі на малі віддалі.

Автори пропонують математичну модель визначення величини бічного зміщення снаряда під дією бічного вітру. Вважається, що сила дії бічного вітру на снаряд залежить від таких чинників: густини повітря; максимальної площі повздовжнього перерізу снаряда; різниці між величиною бічної складової швидкості вітру та швидкістю бічного зміщення снаряду, яка піднесена до певної степені.

Визначені на основі запропонованої математичної моделі значення величин бічного зміщення снаряда під дією бічного вітру при стрільбі на малі віддалі незначно відрізняються від величин бічного зміщення, вказаних у таблицях стрільби. Проте зі збільшенням віддалі стрільби різниця між цими величинами весь час зростає і величина бічного зміщення снаряда, визначена теоретично, є значно більшою від вказаної в таблицях стрільби. Крім того, в роботі досліджується вплив фронтальної швидкості танка на величину бічного зміщення снаряда з врахуванням дії бічного вітру.

Ключові слова: зовнішня балістика снаряда, число Маха, бічний вітер, гармата Д-81, таблиця стрільби.

Постановка проблеми

У таблицях стрільби [11, 12] вказані величини поправок напрямку стрільби на бічний балістичний вітер швидкістю $10 \frac{м}{с}$ для танкової гармати Д-81 снарядом ОФ26. Практика їх застосування вказує, що існують розбіжності між табличними значеннями бічного зміщення снаряда і реальними. Тому для підвищення точності стрільби необхідне створення математичної моделі, яка дозволила б більш точно визначати величину бічного зміщення снаряда під дією бічного вітру. Стрільба з танка, переважно ведеться з місця. Однак у випадку екстремальної ситуації можлива стрільба з ходу. Тому є потреба в оцінці впливу фронтальної швидкості танка на величину бічного зміщення снаряда.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У цій статті вибрана система координат $Oxuz$ з початком координат, що міститься в точці вильоту снаряда. Вісь Ox розміщується в горизонті зброї та скеровується в напрямку цілі, вісь Oz – вертикально вгору від центру Землі та вісь Oy є перпендикулярною до попередніх осей, утворюючи з ними праву систему координат.

У роботах [1,2] значення впливу бічного вітру на величину зміщення снаряда при стрільбі з місця обчислюють, використовуючи формулу

$$y = W_y \left(T - \frac{x}{V_0 \cos \theta_0} \right), \quad (1)$$

де W_y – швидкість бічного вітру, T – тривалість лету снаряда, x – горизонтальна дальність лету снаряда, V_0 – початкова швидкість снаряда, θ_0 – кут кидання.

Ця формула базується на таких обмеженнях: – сила опору руху снаряда при відсутності вітру задається у вигляді [2 – 8]

$$\vec{F}_D = -0,5\rho S C_D V \vec{V}, \quad (2)$$

де ρ – густина повітря, S – максимальна площа поперечного перерізу снаряда, C_D – безрозмірний коефіцієнт опору, \vec{V} – вектор швидкості снаряда; – сила опору при наявності вітру зі швидкістю \vec{W} описується формулою

$$\vec{F}_D = \rho S C_D \tilde{V}(\vec{V} - \vec{W}), \quad (3)$$

де \tilde{V} є скалярною величиною швидкості снаряда відносно потоку повітря, тобто

$$\tilde{V} = |\vec{V} - \vec{W}|; \quad (4)$$

- компоненти швидкості вітру є значно меншими від швидкості снаряда відносно осі Ox , тобто мають місце нерівності

$$|W_x| \ll V_x, \quad |W_y| \ll V_x \quad \text{і} \quad |W_z| \ll V_x; \quad (5)$$

- компоненти швидкості снаряда відносно осей Oy та Oz є значно меншими від швидкості відносно осі Ox

$$|V_y| \ll V_x \quad \text{і} \quad |V_z| \ll V_x; \quad (6)$$

- безрозмірний коефіцієнт опору та величина бічного вітру є сталими величинами

$$C_D = \text{const} \quad \text{і} \quad W_y = \text{const}. \quad (7)$$

Однак:

- сила опору руху снаряда не завжди пропорційна квадрату його швидкості;

- компонента швидкості снаряда відносно осі Oy є дійсно значно меншою від компоненти швидкості відносно осі Ox однак компонента швидкості відносно осі Oz може бути співрозмірною з швидкістю снаряда відносно осі Ox ;

- C_D – коефіцієнт опору залежить від значення числа Маха, тому може бути сталим тільки при стрільбі на малі віддалі.

Стрільбу з танка ведуть переважно з місця, що сприяє точності стрільби. Проте, інколи виникає потреба ведення вогню з ходу. Теоретичні дослідження скеровані на визначення впливу фронтальної швидкості танка на величину бічного зміщення снаряда не проводились.

Мета статті

Оскільки використання формули (1) можливе при певних обмеженнях, які викладені вище, то виникає потреба в розробці математичної моделі, яка б дозволила визначити величину бічного зміщення снаряда під дією бічного вітру без врахування перерахованих обмежень. Крім того, важливо на основі математичної моделі дослідити сукупний вплив фронтальної швидкості танка та бічного вітру на величину бічного зміщення снаряда.

Основна частина

Вирішальний вплив на динаміку снаряда мають: вага снаряда – \vec{P} , лобовий опір повітря – \vec{R} та Коріолісова сила – \vec{F}_{cor} . Остання лише при стрільбі на великі віддалі. Вага снаряда $P = mg$, де m – маса снаряда і $g = 9,8 \frac{M}{c^2}$ – пришвидшення вільного падіння тіла. Коріолісова сила $\vec{F}_{cor} = -m\vec{a}_{cor}$, де

$\vec{a}_{cor} = 2\vec{\omega}_e \times \vec{V}$ – Коріолісове пришвидшення, $\vec{\omega}_e$ – вектор кутової швидкості обертання Землі. Сила лобового опору повітря залежить від швидкості снаряда та описується кусково-неперервними залежностями [9, 10],

$$R(t) = c_x \rho_a s_x (V(t))^{2+\gamma_i} \left(\frac{V(t)}{V_s} \right)^{\beta_i}; \quad (8)$$

де c_x – коефіцієнт, значення якого поєднує характеристику аеродинамічності форми снаряда, при його повздовжньому обтіканні повітрям, та пропорційності; ρ_a – густина повітря; s_x – максимальна площа поперечного перерізу снаряда; V_s – швидкість звуку в повітрі. Параметри γ_i і β_i ($i=1,2,3$) мають різні значення на етапах лету снаряда з надзвуковою (supersonic), підзвуковою (transonic) та дозвуковою (subsonic) швидкостями.

Дослідження впливу бічного вітру на динаміку снаряда. Пропонується описувати силу тиску бічного вітру \vec{F}_{wy} на снаряд формулою

$$F_{wy} = \frac{101325}{R_{um}(TK - 0,006328)} \frac{\mu_a \cdot s_y \cdot c_y}{z} \left(1 - \frac{6,5(z + zp)}{288000} \right)^{5,255} \times (W_y(t) - V_y(t))^{\alpha_y}, \quad (9)$$

де $\mu_a = 28,96 \frac{Kz}{кмоль}$ – умовна молярна маса повітря; s_y – максимальна площа по вздовжнього перерізу снаряда; c_y – коефіцієнт, значення якого поєднує характеристику аеродинамічності форми снаряда, при його поперечному обтіканні повітрям, та пропорційності; $R_{um} = 8314 \frac{Дж}{кмоль \cdot K}$ – універсальна газова стала, TK – абсолютна температура повітря, $zp = 111,537$ м – обумовлена стандартними умовами стрільби, z – висота снаряда над рівнем зброї; α_y – степінь пропорційності, $V_y(t)$ – бічна швидкість снаряда, $W_y(t)$ – бічна швидкість вітру. У формулі (9) значення величин s_y , c_y і α_y залежать від типу снаряда.

На основі другого закону динаміки запишемо рівняння

$$m \vec{a} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{F}_{cor} + \vec{F}_{wy}, \quad (10)$$

де a – пришвидшення снаряда.

Проектуючи рівняння (10) на осі координат отримаємо систему трьох диференціальних рівнянь другого порядку. Для визначення кінематичних параметрів руху снаряда необхідно розв'язувати цю систему диференціальних рівнянь. Початкові умови для неї, у випадку стрільби з місця, наступні:

$$\begin{aligned} x(0)=0, \dot{x}(0)=V_0 \cos \theta_0, y(0)=0, \dot{y}(0)=0, \\ z(0)=0 \text{ і } \dot{z}(0)=V_0 \sin \theta_0, \end{aligned} \quad (11)$$

де V_0 – початкова швидкість снаряда, θ_0 – кут кидання.

Якщо танк рухається з фронтальною швидкістю V_{0y} , граничні умови набувають вигляду

$$\begin{aligned} x(0)=0, \dot{x}(0)=V_0 \cos \theta_0, y(0)=0, \dot{y}(0)=V_{0y}, \\ z(0)=0 \text{ і } \dot{z}(0)=V_0 \sin \theta_0. \end{aligned} \quad (12)$$

Розв'язок системи диференціальних рівнянь здійснюється використанням відповідного програмного забезпечення.

Розглядається рух снаряда ОФ26, випущеного з 125-мм гармати Д-81. При здійсненні обчислень брались значення: маса снаряда – $m=230$ кг, початкова швидкість – $V_0=850$ м/с, площа поперечного перерізу – $s_x = \pi \cdot 0,066^2$ м², площа повздовжнього перерізу – $s_y=0,06226$ м², температура повітря – $t = 15$ °С, атмосферний тиск – $p = 750$ мм рт. ст.

На етапі лету снаряда з надзвуковою швидкістю значення параметрів $\gamma_1=-0,009$ і $\beta_1=-0,631$. На етапі руху снаряда з підзвуковою швидкістю $\gamma_2=0,0032$ і $\beta_2=8,7987$. Якщо швидкість снаряда є дозвуковою, то – $\gamma_3=0,53$ і $\beta_3=7,8476$. На всіх етапах руху снаряда $c_x=0,35$, $c_y=36,28$, $\alpha_y=0,957$.

У таблиці в першому стовпці α_{i0} вказані кути прицілювання; у другому (x_{ik}, i) – дальність лету снаряда при вказаному куті прицілювання та стандартних умовах стрільби, визначену згідно з запропонованою авторами методикою, та віддаль лету снаряда вказану в таблиці стрільб [11, 12]; у третьому стовпці ($y_{ik}, i; \bar{F}_{cor}$) – величини бічного зміщення снаряда внаслідок впливу Коріолісової сили; у четвертому стовпці ($y_{ik}, M; V_{wy} = 10$ м/с) – величини бічного зміщення снаряда внаслідок впливу Коріолісової сили та бічного вітру (в дужках вказані величини бічного зміщення наведені в таблицях стрільб [11, 12]); у п'ятому стовпці ($y_{ik}, M; V_{wy} = -10$ м/с) – величини бічного зміщення снаряда внаслідок впливу Коріолісової сили та бічного вітру; у шостому стовпці ($y_{ik}, M; V_{0y} = 10$ м/с; $V_{wy} = 0$ м/с) – величини бічного зміщення снаряда внаслідок впливу Коріолісової сили, фронтального руху танка, але відсутністю бічного вітру; у сьомому ($y_{ik}, M; V_{0y} = 10$ м/с; $V_{wy} = 10$ м/с) – величини бічного зміщення снаряда внаслідок впливу Коріолісової сили, руху танка та наявності бічного вітру; у восьмому ($y_{ik}, M; V_{0y} = 10$ м/с; $V_{wy} = -10$ м/с) – величини бічного зміщення снаряда внаслідок впливу Коріолісової сили, руху танка та наявності бічного вітру.

Таблиця

Значення дальності лету снаряда та його бічного зміщення, внаслідок дії бічного вітру і фронтального руху танка, визначених теоретично і наведених в таблицях стрільб [11, 12] (скорочений вигляд)

α_{i0} , град	x_{ik}, M	y_{ik}, M \bar{F}_{cor}	y_{ik}, M $V_{wy} = 10$ м/с	$y_{ik}, M/c$ $V_{wy} = -10$ м/с	y_{ik}, M $V_{0y} = 10$ м/с $V_{wy} = 0$ м/с	y_{ik}, M $V_{0y} = 10$ м/с $V_{wy} = 10$ м/с	y_{ik}, M $V_{0y} = 10$ м/с $V_{wy} = -10$ м/с
0°07'	292,21 (200)	-0,01	0,06 (0)	-0,07	3,44	3,50	3,37
0°27'	1049,39 (1000)	-0,07	0,83 (1,0)	-0,98	12,30	13,20	11,41
0°50'	1800,80 (1800)	-0,23	2,65 (3,6)	-3,11	21,00	23,88	18,27
1°19'	2605,01 (2600)	-0,49	6,07 (7,8)	-7,07	30,14	36,72	23,90
1°53'	3391,23 (3400)	-0,85	11,30 (10,2)	-13,06	38,82	51,03	27,24
2°35'	4188,26 (4200)	-1,33	19,06 (16,8)	-21,86	47,27	67,79	27,76
3°28'	4995,30 (5000)	-1,94	30,24 (30,0)	-34,36	55,33	87,75	24,42
4°37'	5816,95 (5800)	-2,69	46,04 (46,4)	-51,80	62,81	111,91	15,83

6°00'	6603,07 (6600)	-3,45	64,85 (59,4)	-72,31	68,73	137,57	2,62
7°39'	7391,15 (7400)	-4,24	86,49 (74,0)	-95,70	73,39	164,84	-14,71
160т.	8203,21 (8200)	-5,04	111,19 (90,2)	-122,21	77,12	194,27	-36,09
197т.	9022,88 (9000)	-5,92	139,88 (117)	-152,86	80,18	227,10	-62,22
229т.	9634,41 (9600)	-6,67	166,41 (134,4)	-181,05	82,26	256,62	-87,15
240т.	9825,75 (9800)	-6,91	175,34 (147,0)	-190,51	82,87	266,44	-95,63
290т.	10603,6 (10600)	-7,89	214,36 (169,6)	-231,69	85,22	308,99	-132,96
351т.	11401,8 (11400)	-8,95	259,22 (205,2)	-278,83	87,66	357,50	-176,14
407т.	12027,2 (12000)	-9,84	298,72 (228,0)	-320,21	89,78	400,12	-214,17

Аналізуючи значення, наведені в таблиці, можна стверджувати:

- розбіжності між значеннями лету снаряда, при однаковому куті прицілювання, наведених в таблицях стрільб [11, 12] та визначених згідно із запропонованою авторами методикою, є суттєвими при стрільбі на віддалі до 1200 метрів, оскільки при малих кутах прицілювання має місце суттєва зміна дальності лету при зміні прицілу на одну хвилину;
- бічне зміщення снаряда з врахуванням Коріолісової сили і визначене без її урахування відрізняються кількома метрами;
- розбіжності між величинами бічного зміщення снаряда під дією балістичного бічного вітру, наведених в таблицях стрільб [11, 12], та визначених теоретично є незначними при стрільбі до 6000 м, однак вони зростають із збільшенням дальності стрільби, причому теоретичні значення є більшими від наведених в таблицях [11, 12];
- у випадку стрільби з танка, який рухається фронтально, при відсутності вітру величина бічного зміщення снаряда зростає із дальністю стрільби;
- якщо фронтальна швидкість танка дорівнює бічній швидкості вітру та вони однаково скеровані, то величина бічного зміщення снаряда прямо пропорційна тривалості лету снаряда;
- якщо фронтальна швидкість танка дорівнює швидкості бічного вітру, але вони скеровані в протилежні боки, то величина бічного зміщення снаряда спочатку зростає в напрямку руху танка, проте згодом величина бічного зміщення зменшується і можливе вже його зростання в напрямку дії бічного вітру.

Висновок

На основі запропонованої математичної моделі визначається значення величин бічного зміщення снаряда під дією бічного вітру. Показано, що при стрільбі на малі віддалі це значення незначно

відрізняється від величин бічного зміщення, вказаних у таблицях стрільб. Проте зі збільшенням віддалі стрільби різниця між цими величинами весь час зростає і величина бічного зміщення снаряда, визначена теоретично, є значно більшою від вказаної в таблицях стрільб. Крім того, запропонована математична модель динаміки снаряда дозволяє враховувати вплив фронтальної швидкості танка на величину бічного зміщення снаряда з врахуванням дії бічного вітру. На основі проведених досліджень та вико ристання відповідного програмного забезпечення можливе автоматизоване наведення гармати на ціль.

Список літератури

1. Чернозубов А.Д., Кириченко В.Д., Разин И.И., Михайлов К.В. Внешняя баллистика. Часть II : навч. пос. Москва, Типография Артиллерийской инженерной академии, 1954. 501 с.
2. Robert L. McCoy. Modern Exterior Ballistics. The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles. 2012. 328 p.
3. Donald E. Carlucci and Sidney S. Jacobson. Ballistics: theory and design of guns and ammunition. 2008. 514 p.
4. Lewtas Ian, Mcalister Rachael, Wallis Adam, Woodley Clive, Cullislan. The ballistic performance of the bombard Mons. *Meg. Defence Technology*. № 12. 2016. pp. 59-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2015.12.001>
5. Cech V., Jedlicka L. and Jevicky J. Problem of the reference height of the projectile trajectory as a reduced meteorballistic weight ingfactor, *Defence Technology*, № 10. 2014. pp. 131-140. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dt.2014.06.002>
6. Sahoo S., Laha M.K. Coefficient of Drag and Trajectory Simulation of 130 mm Supersonic Artillery Shell with Recovery Plug or Fuze. *Defence Science Journal*, Vol. 64, No. 6, November 2014, pp. 502-508, DOI: 10.14429/dsj.64.8110
7. Bo Zhang, Shushan Wang, Mengyu Cao, Yuxin Xu. Impacts of Deflection Nose on Ballistic Trajectory Control Law. *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi Publishing Corporation. Volume 2014, Article ID 984840, 6 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/984840>
8. Balon Rastislav, Komenda Jan (2006), Analysis of the 155 mm ERFB/BB projectile trajectory. *Advances in MT*, № 10: pp. 91-114.

9. 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. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.19.2018.43-49>.

10. Ткачук П.П., Горчинський І.В., Величко Л.Д. Зовнішня балістика осколково-фугасного снаряду ОФ-462Ж. *Військово-технічний збірник*. Випуск № 22. Львів: НАСВ, 2020. С. 14-20. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.14-20>.

11. Дорошев О.І., Василюк Ю.І., Богачов О.І. та інші. Правила стрільби на великі відстані: навчальний посібник. Львів: НАСВ, 2015. 141с.

12. Каменцев С., Дзюба А., Богачов О. та інші. Стрільба танків на великі відстані: навчальний посібник. Львів: НАСВ, 2020. 257 с.

References

1. Chernozubov A.D., Kyrychenko A.D., Razin, I.I. and Mykhajlov K.V. (1954), "Vneschnaya balistica. Chast II" [External ballistics. Part II], Printing house of the Artillery Engineering Academy, 501 p. [in Ukrainian]

2. Robert L. Mc Coy. Modern Exterior Ballistics. The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles. 2012. 328 p.

3. Donald E. Carlucci and Sidney S. Jacobson (2008), Ballistics: theory and design of guns and ammunition. 514 p.

4. Lewtas Ian, Mcalister Rachael, Wallis Adam, Woodley Clive and Cullis Ian. (2016), The ballistic performance of the bombard Mons. *Meg. Defence Technology*. № 12. pp. 59-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2015.12.001>

5. Cech, V, Jedlicka, L. and Jevicky, J. (2014) Problem of the reference height of the projectile trajectory as a reduced meteorological ballistic weighting factor, *Defence Technology*, № 10, pp. 131-140. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dt.2014.06.002>

6. Sahoo S. and Laha M.K. (2014), Coefficient of Drag and Trajectory Simulation of 130 mm Supersonic Artillery Shell with Recovery Plug or Fuze. *Defence Science Journal*, Vol. 64, No. 6, November, pp. 502-508, DOI: 10.14429/dsj.64.8110

7. Bo Zhang, Shushan Wang, Mengyu Cao, Yuxin Xu. Impacts of Deflection Nose on Ballistic Trajectory Control Law. Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering, Volume 2014, Article ID 984840, 6 pages, DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/984840>

8. Balon Rastislav, Komenda Jan (2006), Analysis of the 155 mm ERFB/BB projectile trajectory. *Advances in MT*, №10: pp. 91-114.

9. Tkachuk, P.P., Velychko, L.D. and Horchynskiy, I.V. (2018), "Vplyv vitru na zovnishnu balistiku kuli vypeshchenoi z SVD" [Wind influence on the exterior ballistics of the bullet movement released from SVD], *Military Technical Collection*, I. 19, pp. 43-49. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.19.-2018.43-49>. [in Ukrainian]

10. Tkachuk, P.P., Velychko, L.D. and Horchynskiy, I.V. (2020), "Zovnishnaya balistika oscolcovo-fugasnogo snariadu OF-462J" [External ballistics of the high-explosive fragmentation projectile], *Military Technical Collection*, I. 22, pp. 14-20. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.14-20>. [in Ukrainian]

11. Doroshev O.I., Vasiliy J.I. and Bogachov O.I. (2015), Pravila strilby na veliki vidstani. [The rules of the shooting on the large distance]. Lviv, 141 p. [in Ukrainian]

12. Kamentcev S., Dzuba A. and Bogachov O. (2020), Strilba tankiv na veliki vidstani. [Tank shooting on the large distance]. Lviv, 257 p. [in Ukrainian]

ВЛИЯНИЕ БОКОВОГО ВЕТРА И ФРОНТАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ТАНКА НА БОКОВОЕ СМЕЩЕНИЕ СНАРЯДА

Н. И. Сорокатый, Н. И. Войтович, Л.Д. Величко, О.А. Москалёва

В работе указывается область применения формулы определения величины бокового смещения снаряда под действием бокового ветра, используемой при составлении таблиц стрельбы. Указывается, что использование этой формулы является правомерным при следующих условиях: сила лобового сопротивления воздуха движению снаряда пропорциональна квадрату его скорости; компоненты скорости ветра значительно меньше от горизонтальной составляющей скорости снаряда; проекции скорости снаряда на оси Oy и Oz значительно меньше от проекции на ось Ox ; безразмерный коэффициент сопротивления и сила бокового ветра являются величинами постоянными.

Однако в действительности сила сопротивления движению снаряда только иногда пропорциональна квадрату его скорости; компонента скорости снаряда относительно оси Oz не всегда значительно меньше ее компоненты относительно оси Ox , а может быть даже больше ее; коэффициент сопротивления не является величиной постоянной, а зависит от значения числа Маха, поэтому можно его считать постоянным только при стрельбе на малые расстояния.

Авторы предлагают математическую модель определения величины бокового смещения снаряда под действием бокового ветра. Считается, что сила действия бокового ветра на снаряд зависит от следующих факторов: плотности воздуха; максимальной площади продольного сечения снаряда; разницы между величиной боковой составляющей скорости ветра и скоростью бокового смещения снаряда, которая возведена к определенной степени.

Определенные, на основе предложенной математической модели, значения величин бокового смещения снаряда под действием бокового ветра при стрельбе на малые расстояния незначительно отличаются от величин бокового смещения указанных в таблицах стрельбы. Однако с увеличением расстояния стрельбы разница между этими величинами постоянно возрастает и величина бокового смещения снаряда, определенная теоретически, - значительно больше указанной в таблицах стрельбы. Кроме того, в работе исследуется влияние фронтальной скорости танка на величину бокового смещения снаряда с учетом действия бокового ветра.

Ключевые слова: внешняя баллистика снаряда, число Маха, боковой ветер, пушка Д-81, таблица стрельбы.

SIDE WIND AND TANK SPEED INFLUENCE ON LATERAL DISPLACEMENT OF THE PROJECTILE

M. Sorokaty, M. Voytovych, L. Velychko, O. Moskalova

This article indicates the scope of the formula for determining the magnitude of the lateral displacement of the projectile under the action of crosswind, which is used in the compilation of firing tables.

This formula is valid under the following conditions: the force of frontal air resistance to the motion of the projectile is proportional to the its velocity squared; wind speed components are much smaller than the horizontal component of projectile velocity; the projectile velocity projections on the Oy and Oz axes are much smaller than the projections on the Ox axis; the dimensionless coefficient of resistance and the magnitude of the crosswind are constant values.

However, in reality, the force of frontal air resistance to the motion of the projectile is only sometimes proportional to the its velocity squared; the projectile velocity projections on the Oz axis may be are much smaller than the projections on the Ox axis and may even be greater than it; the coefficient of resistance is depends on the value of the Makh number, so it can be considered constant only when shooting at short distances.

The authors propose a mathematical model for determining the magnitude of the lateral displacement of the projectile under the action of crosswinds. It is believed that the force of the crosswind on the projectile depends on the following factors: air density; the maximum area of the longitudinal section of the projectile; the difference between the value of the lateral component of the wind speed and the speed of the lateral displacement of the projectile, which is raised to a certain power.

The magnitude of the values of the lateral displacement of the projectile under the action of the crosswind when shooting at short distances, determined based on the proposed mathematical model, slightly differ from the values of the lateral displacement specified in the firing tables.

However, with increasing firing distance, the difference between these values is constantly increasing and the value of the lateral displacement of the projectile determined theoretically is much larger than indicated in the firing tables. In addition, in this research the influence of the tank velocity on the value of the projectile lateral displacement taking into account the action of the crosswind is studied.

Keywords: external ballistics of the projectile, Makh number, crosswind, cannon D-81, firing tables.

UDC 623.4:629.36

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.29-37>

D. Khaustov¹, Ya. Khaustov¹, Ye. Ryzhov¹, O. Burashnikov¹, E. Lychkovskyy², Yu. Nastishin¹

¹*Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy*

²*Lviv Danylo Halytsky National Medical University*

DYNAMIC FUSION OF IMAGES FROM THE VISIBLE AND INFRARED CHANNELS OF SIGHTSEEING SYSTEM BY COMPLEX MATRIX FORMALISM

The employment of new mathematical and computer approaches for the fusion of target images from the visible and infrared channels of the sightseeing system (SSS) is one of the ways to increase the efficiency of the SSS of armored vehicles. Modern approaches to improving the efficiency of image fusion are aimed to increase the visibility of the target via improving the quality indices of fused images. This paper proposes a fundamentally new approach to image fusion, namely dynamic image fusion, at which the target is observed in the mode of a video clip composed of a sequence of stationary fused images obtained at different parameters of fusion, in contrast to traditional stationary image fusion, at which the decision is made from one fused image. Unlike stationary image fusion, aimed to increase the visibility of the target, the dynamic image fusion allows one to enhance the conspicuity of the target. The principle of dynamic image fusion proposed in this paper is based on matrix formalism, in which the fused image is constructed in the form of a complex vector function, which by its mathematical form is analogous to the Jones vector of elliptically polarized light wave, which in turn opens the possibility of matrix transformation of the complex vector of the fused image and consequently its parameterization by analogy with the Jones matrix formalism for the light wave. The article presents mathematical principles of matrix formalism, which is the basis for dynamic image fusion, gives examples of stationary and dynamic image fusion by the method of complex vector function and compares with the corresponding images, fused by algorithms of weight addition in the field of real and complex scalars. It is shown that by selecting weight coefficients, the general form of a complex amplitude vector image can be reduced to the algorithms of weight and averaged addition in the field of real scalars, weight amplitude and RMS-image in the field of complex scalar numbers, and geometric-mean image in the field of complex vectors, which, thereby, are partial cases of the general form of the complex amplitude image in the field of complex vectors.

The animated images obtained by the method of complex vector function illustrate the increase of conspicuity of the object of observation due to the dynamic change of the fusion parameters.

Key words: digital image processing, image fusion, infrared imaging, Jones matrix formalism, complex vector image fusion