

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЮВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ, СТАБІЛІЗОВАНИХ ОБЕРТАННЯМ

Макеев В.І., канд. техн. наук, доцент;

Ляпа М.М., канд. техн. наук, доцент;

Трофименко П.С., канд. військових наук, доцент,

Сумський державний університет, м. Суми

В данной статье предлагается аналитический метод определения характеристик рассеивания вращающихся снарядов. Данная методика основывается на использовании системы дифференциальных уравнений центра масс летательных аппаратов

У даній статті пропонується аналітичний метод визначення характеристик розсіювання обертальних снарядів. Даний метод дозволяє аналітично, за допомогою ЕОМ, розрахувати характеристики розсіювання снарядів (мін) і суттєво зменшити затрати на використання дослідних стрільб. Це є актуальним і важливим аргументом на сьогодні. Наведена методика базується на використанні системи диференціальних рівнянь центра мас літальних апаратів.

Характеристики розсіювання (серединні відхилення) снарядів ствольних систем за дальністю – $B\delta$, за висотою – Bv і за напрямком – Bb розраховують виходячи з урахування розсіювання основних балістичних параметрів, які визначають траєкторію польоту снаряда. Оскільки дальність польоту снаряда визначається кутом кидання – θ_0 , початковою швидкістю – V_0 і балістичним коефіцієнтом – c , сумарне серединне відхилення за дальністю розраховують виходячи із серединних відхилень трьох балістичних параметрів $r_{\theta_0}, r_{V_0}, r_c$, так званих коефіцієнтів розсіювання.

За дослідними даними ці коефіцієнти для снарядів перебувають у таких межах: $r_{\theta_0} = 0,3-0,6$ тис.; $r_{V_0} = 0,22-0,30\%$; $r_c = 0,5-2\%$. Для мін $r_{\theta_0} = 1,5-3,0$ тис.; $r_{V_0} = 0,25-0,50\%$; $r_c = 1-2\%$.

Серединним відхиленням або коефіцієнтам розсіювання кута кидання – r_{θ_0} , початковій швидкості – r_{V_0} і балістичному коефіцієнту – r_c відповідають серединні відхилення дальності польоту снаряда $B\delta_{\theta_0}$, $B\delta_{V_0}$, $B\delta_c$, які визначаються за методом диференціалів:

$$B\delta_{\theta_0} = \frac{\partial X}{\partial \theta_0} r_{\theta_0}, \quad B\delta_{V_0} = \frac{\partial X}{\partial V_0} r_{V_0}, \quad B\delta_c = \left| \frac{\partial X}{\partial c} \right| r_c = Q_{\delta c} r_c \%,$$

де $\frac{\partial X}{\partial \theta_0}$; $\frac{\partial X}{\partial V_0}$; $\frac{\partial X}{\partial c}$ і $Q_{\delta c}$ – поправкові коефіцієнти дальності, які відображають зміну дальності польоту снаряда при зміні відповідно параметрів θ_0 , V_0 , і c на 1 одиницю (наприклад, кута кидання на 1 кут. хвилину або 1%, балістичного коефіцієнта – на 1%), які розраховуються за допомогою системи диференціальних рівнянь руху центра мас літального апарата (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x} = V \cdot \cos \theta \cdot \cos \psi / 1 + \frac{2Y}{R_3}; \\ \dot{y} = V \cdot \sin \theta; \\ \dot{z} = V \cdot \cos \theta \cdot \sin \psi; \\ \dot{V} = a(t) - a_x \cos \gamma - g \cdot \sin \theta \left(1 - \frac{2Y}{R_3} \right); \\ \dot{\theta} = -\frac{\cos \theta \cdot g(1 - 2Y/R_3)}{V} - \frac{a_x \cdot \cos \gamma \cdot W_x \cdot \sin \theta}{V} + \frac{V \cdot \cos \theta}{R_3 + Y} + 2\Omega_3 \cos B \cdot \sin a_r; \\ \dot{\psi} = \frac{a_x \cdot \cos \gamma \cdot W_z}{V} + 2\Omega_3 (\sin B - \cos B \cdot \cos a_r \cdot \operatorname{tg} \theta); \\ \pi(y) = -\frac{\pi(y) \cdot \dot{y}}{R[\tau(y) + \Delta\tau]}, \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\text{де } a(t) = \frac{\omega_0 \cdot I_1}{m_0 \cdot \tau_a \cdot (1 - \mu_y)}; \quad \mu_y = \frac{\omega \cdot t}{g_0 \cdot m_0 \cdot \tau_a};$$

$$a_x = \frac{id^2}{q_H} 10^3 \pi(y) \frac{\tau_{ON}}{\tau_y} \frac{F_{58}(V_{r\tau}) \cdot \cos \gamma}{1 - \mu_y}; \quad \cos \gamma = \frac{V - W_x \cdot \cos \theta}{V_r};$$

$$V_r = V \sqrt{1 - \frac{2W_x (\cos \theta \cdot \cos \theta \delta - \sin \theta \cdot \sin \delta \theta) (\cos \psi \cdot \cos \Delta\psi - \sin \psi \cdot \sin \Delta\psi)}{V}} - \sqrt{-\frac{2W_z (\cos \theta \cdot \cos \delta \theta - \sin \theta \cdot \sin \delta \theta) (\sin \psi \cdot \cos \Delta\psi - \cos \psi \cdot \sin \Delta\psi)}{V} + \frac{W^2}{V^2}};$$

$$W^2 = W_x^2 + W_z^2; \quad V_{r\tau} = V_r \cdot \sqrt{\frac{\tau_{ON}}{\tau(y) + \Delta\tau}},$$

де i – коефіцієнт форми снаряда (міни); d – калібр снаряда (міни); q_H – вага снаряда (міни); $\Pi(y)$ – функція розподілу тиску атмосфери за висотою; $\tau_{ON} = 288,9^\circ K$; τ_y – розподіл віртуальної температури за висотою; F_{58} – функція опору повітря; W_x, W_z – складові балістичного вітру; θ – кут кидання; ω_0 – вага реактивного заряду; m_0 – маса снаряда (міни); I_1 – одиничний імпульс тяги; – час роботи двигуна; V – швидкість польоту снаряда (міни); t – час польоту снаряда; $g_0 = 9,81 \frac{M}{c^2}$; $\Delta\tau$ – відхилення віртуальної температури від табличної; R_3 – радіус Землі; Ω_3 – кутова швидкість обертання Землі; B – географічна широта; a_r – азимут стрільби; Y – висота траєкторії польоту снаряда (міни); R – газова стала для 1 кг сухого повітря.

Розглядаючи вплив на розсіювання траєкторій за дальністю тільки балістичних параметрів, слід думати, що кожна складова сумарного розсіювання за дальністю підпорядковується нормальному закону і враховуючи незалежні причини, які викликають розсіювання кута кидання – θ_0 , початкової швидкості – V_0 і балістичного коефіцієнта – c ,

на підставі правила додавання незалежних випадкових величин, які підпорядковуються нормальному закону, для визначення середнього відхилення за дальністю отримуємо співвідношення

$$B\delta = \sqrt{B\delta_{\theta_0}^2 + B\delta_{V_0}^2 + B\delta_c^2}$$

або

$$B\delta = \sqrt{\left(\frac{\partial X}{\partial \theta_0} r_{\theta_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial V_0} r_{V_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial c} r_c\right)^2}. \quad (2)$$

При розрахунку характеристик розсіювання для таблиць стрільби як поправкові коефіцієнти дальності зручно брати поправкові коефіцієнти, які зазначаються у таблицях стрільби: $\partial X/\partial \theta_0 = \Delta X_{\text{тис}}$; $\partial X/\partial V_0 = \Delta X_{V_0}$ (на 1% V_0) і замість $|\partial X/\partial c|$ – коефіцієнт $\frac{Q_{\delta c}}{c}$. При цьому залежність (2)

набуває вигляду

$$B\delta = \sqrt{(\Delta X_{\text{тис}} r_{\theta_0})^2 + (\Delta X_{V_0} r_{V_0})^2 + (\Delta X_c r_c)^2}, \quad (3)$$

де для одноманітності позначимо $\Delta X_c = \frac{Q_{\delta c}}{c}$, а розмірності коефіцієнтів розсіювання повинні відповідати розмірностям поправкових коефіцієнтів: r_{θ_0} – у тисячних, r_{V_0} – у процентах, r_c – у процентах.

Характер зміни величин $B\delta_{\theta_0}$, $B\delta_{V_0}$, $B\delta_c$ при зміні дальності стрільби (кута кидання) буде таким самим, як і характер зміни поправкових коефіцієнтів.

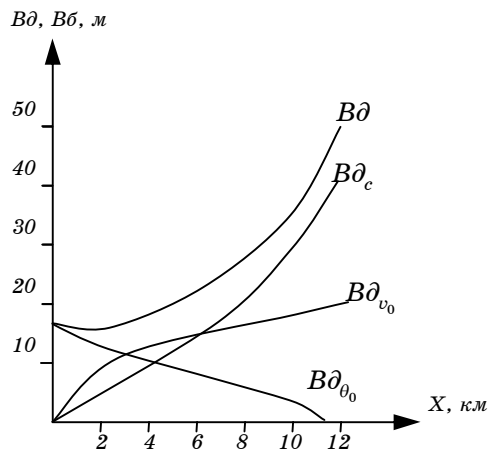


Рисунок 1 - Складові $B\delta_{\theta_0}$, $B\delta_{V_0}$, $B\delta_c$ і сумарне середнє відхилення снарядів за дальністю $B\delta$ залежно від дальності стрільби

Поправковий коефіцієнт $\Delta X_{\text{тис}} = \partial X/\partial \theta_0$ зменшується із збільшенням кута найбільшої дальності (до 45°), після якого знову зростає. Поправкові коефіцієнти $\Delta X_{V_0} = \partial X/\partial V_0$ і $\Delta X_c = \frac{Q_{\delta c}}{c}$ з підвищенням кута

кидання збільшуються, досягаючи максимального значення при куті найбільшої дальності, а при подальшому збільшенні кута кидання зменшуються.

Співвідношення між величинами $B\delta_{\theta_0}$, $B\delta_{V_0}$, $B\delta_c$ і $B\delta$, а також характер їх зміни залежно від дальності стрільби (кута кидання) для ствольної системи (гаубиця) при $r_{\theta_0} = r_\gamma = 0,3$ тис., $r_{V_0} = 0,23\%$ і $r_c = 0,8\%$ показані на рис. 1.

Переважаючий вплив на усіх дальностях, за винятком малих, чинить розсіювання балістичного коефіцієнта, на малих дальностях – розсіювання кута кидання, таким чином, що його зменшення призводить до зменшення $B\delta$ (на відстанях до

2 км). Вплив розсіювання балістичного коефіцієнта на малих дальностях – найменший із усіх трьох факторів. На середніх і великих дальностях вплив розсіювання початкової швидкості перевищує вплив розсіювання кута кидання, але залишається меншим вплив розсіювання балістичного коефіцієнта.

Розглядаючи розсіювання пучка траєкторій у вертикальній площині (рис. 2) і думаючи, що розсіювання траєкторій за висотою не залежить від розсіювання у боковому напрямку, отримуємо такими вираз для серединного відхилення точки розриву за висотою:

$$B\delta = B\delta \cdot \operatorname{tg}|\theta_c|. \quad (4)$$

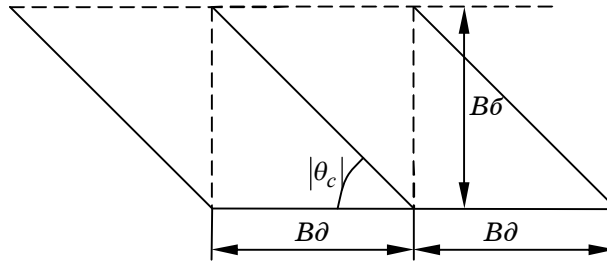


Рисунок 2 - Характеристики розсіювання траєкторій у вертикальній площині

Розсіювання точки падіння снаряда у боковому напрямку визначається розсіюванням кутів горизонтального наведення і дериваційного відхилення снарядів.

Відповідно до цього серединне лінійне відхилення точки падіння снаряда у боковому напрямку розраховуються за формулою

$$B\delta = \sqrt{B\delta_{\omega}^2 + B\delta_z^2} = \sqrt{\left(\frac{X}{955} r_{\omega}\right)^2 + (X \cdot \sin \theta_0 r_z)^2}, \quad (5)$$

де r_{ω} – коефіцієнт розсіювання (серединне відхилення) горизонтальної складової кута вильоту у тисячних (для снарядів $r_{\omega} = 0,3-0,4$ тис.; для мін $r_{\omega} = 0,5-1,5$ тис.); r_z – коефіцієнт розсіювання (серединне відхилення) деривації у радіанах.

У цій формулі перший доданок $B\delta_{\omega} = X/955 \cdot r_{\omega}$ ураховує вплив розсіювання горизонтальної складової кута вильоту на розсіювання снарядів у боковому напрямку, причому коефіцієнт $X/955$ переводить тисячні у лінійну величину.

Другий член $B\delta_z = X \cdot \sin \theta_0 r_z$ ураховує сумарний вплив розсіювання деривації і бокового вітру, яке береться пропорційним боковому прискоренню снаряда, що приймається постійним, і квадрату часу польоту – T . Але для траєкторій снарядів у повітрі T^2 пропорційне величині $X \cdot \sin \theta_0$, яка фігурує у формулі (5).

Співвідношення між складовими $B\delta_{\omega}$, $B\delta_z$ і сумарною характеристикою розсіювання у боковому напрямку $B\delta$ залежно від дальності стрільби для ствольної системи (гаубиця) при $r_{\omega}=0,3$ тис. і $r_z=0,001$ зображено на рис. 3.

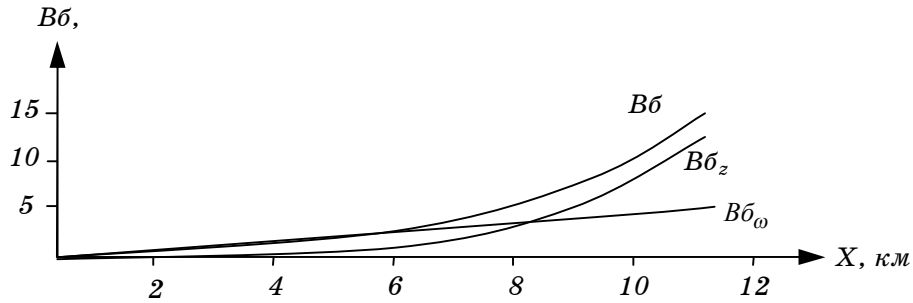


Рисунок 3 – Складові $B_{б\omega}$, $B_{б_z}$ і сумарне середнє відхилення снарядів у боковому напрямку $B_{б}$ залежно від дальності стрільби

Як показано на рис. 3, на малих дальностях розсіювання точки падіння снарядів у боковому напрямку визначається головним чином розсіюванням бокової складової кута вильоту, а на великих дальностях – розсіюванням дериваційних відхилень.

Для снарядів ствольних систем для всіх дальностей стрільби розсіювання за дальністю – $B_{д}$ у декілька разів перевищує розсіювання у боковому напрямку – $B_{б}$ (рис. 4). Це пояснюється порівняно малим розсіюванням напрямку польоту снаряда, тобто малим значенням коефіцієнта – r_{ω} розсіювання бокової складової кута вильоту.

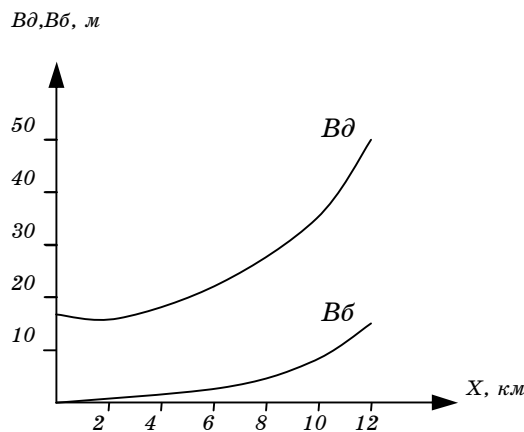


Рисунок 4 - Співвідношення між $B_{д}$ і $B_{б}$ для ствольних систем

Результати розрахунків за запропонованою методикою та дослідними даними для 152мм СП 2С5, сн. ОФ-29 наведені у таблиці 1, 2 та на рисунках 5, 6.

Таблиця 1 – Розраховані та дослідні дані характеристик розсіювання Вд, Вв, Вб
(Снаряд ОФ-29. Заряд Повний. Початкова швидкість 945 м/с)

	Хт, м	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	19000	20000	21000	22000	23000	24000	25000	26000	27000	28000
	θ_0 , град	1,07	1,32	1,59	2,29	3,01	3,37	4,17	5,01	5,5	6,44	7,44	8,52	10,08	11,31	13,03	14,45	16,34	18,33	20,42	23	25,29	28,09	31,06	34,26	38,24	44,04
Розраховані дані	Вд, м	38	33	33	32	31	31	31	32	34	35	37	40	43	46	49	53	56	59	63	38	33	33	32	31	31	31
	Вв, м	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,5	4,4	5,6	7,1	9,1	12	15	19	24	30	37	44	53	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,5
	Вб, м	0,8	1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,4	2,7	3	3,3	3,6	4	4,3	4,7	5,2	5,7	6,3	6,9	7,6	0,8	1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,4
Дослідні дані	Вд, м	37	35	33	32	31	31	31	32	33	35	37	40	43	46	49	53	56	60	63	67	71	75	80	86	92	100
	Вв, м	0,8	1,1	1,4	1,7	2,2	2,7	3,4	4,3	5,5	7	9,1	12	15	19	24	30	37	45	54	64	77	91	109	132	161	207
	Вб, м	0,8	1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,4	2,7	3	3,3	3,6	4	4,3	4,7	5,2	5,7	6,3	6,9	7,6	8,3	9,2	10	11	12	14	15

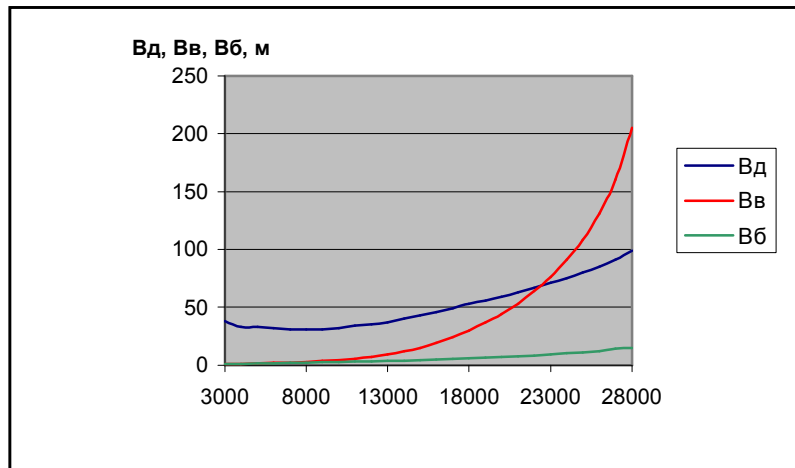


Рисунок 5 – Графіки зміни характеристик розсіювання Вд, Вб, Вв залежно від дальності стрільби

Таблиця 2 – Розраховані та дослідні дані характеристик розсіювання Вд, Вв, Вб
(Снаряд ОФ-29. Заряд Другий. Початкова швидкість 560 м/с)

	Хт, м	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000
	θ_0 , град	0,55	1,58	3,1	4,32	6,06	7,54	9,57	12,17	14,53	17,46	20,59	24,39	28,59	34,41
Розраховані дані	Вд, м	13	14	14	15	15	16	17	19	20	21	22	23	24	26
	Вв, м	0,2	0,5	0,9	1,5	2,2	3,2	4,5	6,1	8,0	10,2	13	16	20	27
	Вб, м	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2	2,4	2,9	3,4	4	4,7	5,6	6,7
Дослідні дані	Вд, м	15	14	14	14	15	16	17	18	20	21	22	23	24	26
	Вв, м	0,3	0,5	0,9	1,4	2,2	3,2	4,5	6,1	8	10	13	16	20	27
	Вб, м	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2	2,4	2,9	3,4	4	4,7	5,6	6,7

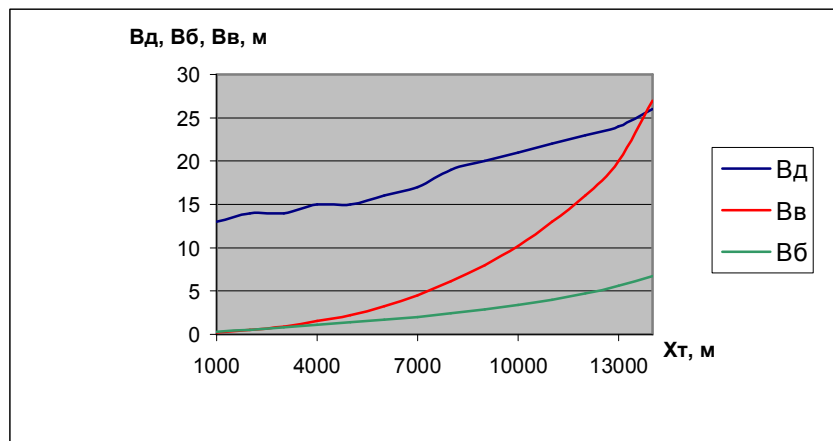


Рисунок 6 – Графіки зміни характеристик розсіювання Вд, Вб, Вв залежно від дальності стрільби

ВИСНОВКИ

Розраховані дані за вище запропонованою методикою характеристик розсіювання, літальних апаратів, стабілізованих обертанням, узгоджуються з дослідницькими даними, що дає нам можливість використовувати дану методику при розрахунку та складанні таблиць стрільби, а це, у свою чергу, дозволяє скоротити матеріальні затрати на проведення дослідницьких стрільб.

SUMMARY

DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF DISPERSION OF FLYING SHELLS STABILIZED BY SPIN TORQUE

V.I. Makeev, M.M. Lyapa, P.E. Trofimenko
Sumy State University

The analytical method of determination of dispersion characteristics of revolving shell is proposed in this article. This method allows analytically, by means of computer to calculate characteristics of dispersion of mortar shells, that will decrease expenses for gunnery use investigation and is essential nowadays. This method is used on the basis of the differential equations of the centre of gravity of flying machines.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика. – М.: Машиностроение, 2005. – 607с.
2. Подготовка стрельбы и управления огнем артиллерии. – М.: МО СССР, 1987. – 376с.
3. Внешняя баллистика. Кн. 1. – М.: ВАИА им Дзержинского, 1954. – 463с.
4. Внешняя баллистика. Кн. 2. – М.: ВАИА им Дзержинского, 1954. – 496с.
5. Равдин И.Ф. Внешняя баллистика неуправляемых реактивных снарядов. – Л.: БАА, 1972. – 184с.
6. Лисенко В.М., Грабчак Д.А., Новак Д.А. Теорія польоту. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – 203с.
7. Стрельба наземной артиллерии: Учебник. – М.: МО, 1962. – 367с.
8. Сборник таблиц для решения задач по внешней баллистике. – М.: МО СССР, 1989. – 128с.
9. Системи управління, навігації та зв'язку: Наукове періодичне видання. – К.: ЦНДІ, 2008. – 168с.

Надійшла до редакції 12 листопада 2008 р.