

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ KẾT CẤU ĐẠN NỔ PHÁ SÁT THƯƠNG OΦ-540 ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC BẮN CỦA PHÁO 152MM-D20

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF SELECTED STRUCTURAL PARAMETERS OF THE OF-540 HIGH-EXPLOSIVE FRAGMENTATION PROJECTILE ON THE FIRING ACCURACY OF THE 152 MM D-20 HOWITZER

ThS. Nguyễn Cảnh Ngọc*, PGS, TS. Nguyễn Hải Minh

Học viện Kỹ thuật quân sự

*Email: ngoclaser@gmail.com

TÓM TẮT

Nghiên cứu độ chính xác bắn của vũ khí nói chung và của pháo cỡ nòng lớn như pháo 152mm nói riêng luôn có ý nghĩa quan trọng trong việc thiết kế chế tạo vũ khí phục vụ quá trình hiện đại hóa quân đội. Thực tế có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác bắn của các loại pháo, tuy nhiên bài báo chỉ đề cập đến ảnh hưởng của một số thông số kết cấu của đạn nổ phá sát thương OΦ-540 bắn trên pháo 152mm-D20. Đây là vấn đề cần thiết, trong nước hiện nay chưa có công trình nào đề cập đến cụ thể.

Từ khóa: Đạn pháo; Độ chính xác bắn; Mô phỏng Monte Carlo.

ABSTRACT

Researching the firing accuracy of weapons in general, and large-caliber artillery such as 152mm systems in particular, plays a vital role in weapon design and manufacturing to support military modernization. In practice, numerous factors influence the firing accuracy of artillery, however, this paper focuses specifically on the effects of certain structural parameters of the OΦ-540 high-explosive fragmentation shell when fired from the 152mm D-20 gun-howitzer. This is a critical issue that has not yet been specifically addressed by any domestic studies.

Keywords: Artillery projectile; Firing accuracy; Monte Carlo simulation.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sai số chuẩn bị phần tử bắn (SSCBPTB) và tản mát của đạn là hai thành phần xác định nên độ chính xác bắn (ĐCXB) của hệ thống pháo đạn. SSCBPTB là sai lệch giữa trung tâm tản mát so với trung tâm mục tiêu, nó có nguyên nhân từ các sai số xuất hiện trong quá trình chuẩn bị phần tử bắn như sai số đo đặc tọa độ mục tiêu, tọa độ trận địa pháo, sai số xác định khoảng cách địch-ta, sai số về xác định điều kiện bắn, điều kiện khí tượng... Còn tản mát của đạn là sai lệch giữa các điểm chạm phân bố trên một vùng nhất định có cùng phần tử bắn so với trung tâm tản mát, có nguyên nhân từ sự không ổn định của các thông số trong hệ thống pháo, đạn, liều phóng và điều kiện khí tượng. Việc nghiên cứu nhằm xác định nguồn gốc, nguyên nhân, quy luật và mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến ĐCXB thông qua hai thành phần của nó là rất quan trọng, qua đó có cơ sở khoa học để nâng cao chất lượng trong thiết kế, chế tạo.

Hiện nay đã có một số công trình nghiên cứu được công bố về ảnh hưởng của một số thông số kết cấu của đạn đến chỉ tiêu tản mát. Tuy nhiên, các công bố chỉ giới hạn về các cỡ đạn nhỏ và vừa. Điều quan trọng là các công bố chưa cho thấy một mô hình mô phỏng xuyên suốt để mô tả hiện tượng bắn đối với cỡ đạn lớn. Điều này dẫn tới mô hình đánh giá mức độ ảnh hưởng riêng phần của từng sai số trong kết cấu của pháo đạn đến mức độ tản mát của đạn chưa đủ tính liên tục.

Để có mô hình mô phỏng tổng quát hơn đối với đạn cỡ lớn, bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của thông số kết cấu của đạn nổ phá sát thương OΦ-540 khi bắn trên pháo 152mm – D20 xuyên suốt từ giai đoạn đạn chuyển động trong nòng đến thời điểm đạn chạm mục tiêu. Lấy chỉ tiêu tản mát về tâm bắn L_D , hướng bắn

L_H làm kết quả cuối cùng. Khi có thông tin về L_D , L_H dễ dàng xác định được xác suất trúng đích hay độ chính xác khi bắn [1]. Thực tế, các thông số kết cấu của hệ thống vũ khí cùng những yếu tố nhiễu loạn khác quyết định đến tản mát thông qua cả một quá trình chuyển động của đạn bao gồm 4 giai đoạn [1], [2]. Trong bài báo sẽ kế thừa các mô hình toán học mô tả chuyển động của đạn trong các thời kỳ đã được nghiên cứu và trình bày trong [2], [4]. Xây dựng các thông số đầu vào cho từng giai đoạn. Tạo bộ số giả ngẫu nhiên theo các tham số và quy luật cho trước [5] để đưa vào mô hình mô phỏng Monte Carlo. Kết quả bài toán được xử lý thống kê thông qua phần mềm R giúp ước lượng mức độ ảnh hưởng của số thông số kết cấu đến chỉ tiêu tản mát của đạn.

2. CƠ SỞ THUẬT PHÓNG ĐỂ ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC BẮN

2.1. Tính toán giai đoạn đạn chuyển động trong nòng

Tính toán thuật phóng trong được thực hiện giải bằng phương pháp số hệ phương trình (1) với biến số thời gian (t) [2].

$$\begin{cases} \frac{d\psi}{dt} = \frac{\gamma}{I_k} p \sqrt{1 + \frac{4\lambda\psi}{\gamma}} \\ \frac{dv}{dt} = \frac{g}{\varphi q} ps \\ \frac{dl}{dt} = v \\ p = \frac{f\omega\psi - \frac{8\varphi q v^2}{2g}}{s(l_\psi + 1)} \\ l_\psi = l_0 + \left[1 - \frac{\Delta}{\delta} - \left(\alpha - \frac{1}{\delta} \right) \Delta\psi \right] \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: ψ – Lượng thuốc phóng đã cháy tương đối; v – Tốc độ chuyển động của đạn trong nòng; l – Quãng đường chuyển động của đạn trong nòng; p – Áp suất khí thuốc; q –

Trọng lượng đạn; ω – Trọng lượng liều thuốc;
 f – Lực thuốc phóng; α – Cộng tích; k – Chỉ số
 mũ đoạn nhiệt; s – Tiết diện ngang của nòng;
 φ – Hệ số công thứ yếu; $I_k = 2e_1/2u_1$ là xung
 lượng thuốc phóng; $2e_1$ – Bề dày thuốc phóng;
 u_1 – Tốc độ cháy của thuốc phóng; l_0 – Chiều
 dài quy đổi của buồng đốt, được xác định $l_0 =$
 W_0/s ; W_0 – Thể tích buồng đốt; Δ – Mật độ nhồi
 được xác định $\Delta = \omega/W_0$; δ – Mật độ của thuốc
 phóng; g – Gia tốc trọng trường; χ – Đặc trưng
 hình dạng của thuốc phóng.

Hệ phương trình (1) được giải với các
 điều kiện đầu: $t = 0$, $v = 0$, $e_1 = 0$, $\psi = \psi_0$, $p =$
 p_0 . Trong đó, p_0 – Áp suất tổng đạn, ψ_0 – Lượng
 thuốc đã cháy của liều vào thời điểm đạn bắt
 đầu chuyển động.

Kết quả khi giải bài toán thuật phóng
 trong thu được bao gồm vận tốc v_d , áp suất p
 theo thời gian đạn chuyển động trong nòng, áp
 suất lớn nhất trong cả quá trình $p_{\max}$.

2.2. Tính toán giai đoạn đạn chuyển động trong không khí

Khi coi đạn như một chất điểm chuyển
 động trong không khí. Hệ phương trình động
 học mô tả chuyển động của đạn được xác định
 theo (2) trong [1].

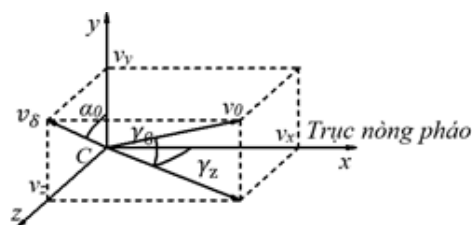
$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = C_0 e^{\frac{1}{RG} \ln(1 - \frac{Gy}{\tau_{oc}} F(v_\tau)) - g \cdot \sin(\theta)} \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{g \cdot \cos(\theta)}{v} \\ \frac{dx}{dt} = v \cdot \sin(\theta) \\ \frac{dy}{dt} = v \cdot \cos(\theta) \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó: v – Vận tốc của đạn; θ – Góc
 tiếp tuyến với quỹ đạo và phương ngang; y –
 Độ cao của quỹ đạo đạn; x – Khoảng cách của

quỹ đạo đạn theo phương ngang; C_0 – Hệ số
 lực cản chính diện; d – Đường kính của đạn;
 R – Hằng số chất khí của không khí khô; G –
 Gradient nhiệt độ; τ_{oc} – Nhiệt độ ảo trên mặt đất
 ứng với nhiệt độ 15°C ; $F(v_\tau)$ – Hàm lực cản
 không khí. Trong đó, $C_0 = id^2 10^3/m_d$, $R = 29,27$
 m/độ , $G = 0,00654$ độ/m, $\tau_{oc} = 288$ K.

Hệ phương trình mô tả chuyển động
 của đạn trong không khí được giải với các điều
 kiện đầu $\theta = \theta_0$, $v = v_0$ (sơ tốc đạn), $x = 0$, $y = 0$.

Góc phóng θ_0 , nó bao gồm góc bắn φ_0 và
 góc nảy theo phương thẳng đứng γ_6 , với $\theta_0 = \varphi_0$
 $+ \gamma_6$. Góc nảy được hình thành do tồn tại khe
 hở hướng tâm giữa đai định tâm đạn và nòng
 pháo $\Delta' = (d_n - d)/2$, cùng với sự mất cân bằng
 khối lượng của đạn dẫn đến việc khối tâm của
 nó dịch chuyển khỏi trục nòng. Ngoài chuyển
 động tịnh tiến dọc theo trục nòng, đạn còn tham
 gia chuyển động quay quanh trục nòng pháo.
 Khi đó tạo nên sự quay của khối tâm đạn quanh
 trục nòng và điều này dẫn đến xuất hiện thành
 phần vận tốc bên của khối tâm đạn. Bên cạnh
 đó, tại thời điểm khi đai định tâm của đạn thoát
 khỏi miệng nòng cho đến khi đai dẫn rời nòng,
 đai định tâm không còn bị hạn chế bởi thành
 nòng mà đạn chỉ còn liên kết với nòng thông
 qua đai dẫn, điều này dẫn đến các phản lực tác
 dụng lên phía đầu của đạn mất cân bằng đột
 ngột và điều này dẫn đến sự xuất hiện vận tốc
 bên của đạn. Như vậy, các nguyên nhân sinh
 ra vận tốc bên của đạn cũng là nguyên nhân
 dẫn đến sự hình thành góc nảy khi bắn. Sự hình
 thành góc nảy được thể hiện trong hình 1.



Hình 1. Sự hình thành góc nảy khi bắn

Độ lớn góc nảy theo phương đứng và ngang được xác định bằng công thức [4]:

$$\gamma_{\theta} = \arcsin(v_y/v_0), \gamma_z = \arcsin(v_z/v_x) \quad (3)$$

$$v_y = v_{\delta} \cdot \cos(\alpha_0), v_z = v_{\delta} \cdot \sin(\alpha_0), v_x = \sqrt{v_0^2 - v_{\delta}^2}$$

Với: α_0 – Góc phân bố đều trong khoảng từ $0 \div 2\pi$; v_{δ} – Thành phần tổng hợp của vận tốc bên khối tâm đạn, được xác định bằng biểu thức: $v_{\delta} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$; v_1 – Vận tốc bên của khối tâm đạn sinh ra do sự quay của khối tâm đạn quanh trục của nòng pháo; v_2 – Vận tốc bên của khối tâm đạn sinh ra do việc giải phóng tức thời các phản lực tại đai định tâm, xảy ra tại thời điểm đạn thoát khỏi miệng nòng.

Thành phần v_1 được xác định như sau:

$$v_1 = \left(\frac{m_1 + m_2}{q} R + \frac{\Delta' \cdot b}{a + b} \right) \omega_0$$

Trong đó: q – Trọng lượng đạn; R – Bán kính từ tâm đến vị trí đặt khối lượng mất cân bằng m_1, m_2 ; ω_0 – Vận tốc góc, được xác định $\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_{\delta}}{\mu_d \cdot d}$; η_d – Bước rãnh xoắn; a, b lần lượt là khoảng cách từ khối tâm C đến đai định tâm và đai dẫn.

Thành phần vận tốc bên v_2 được xác định:

$$v_2 = \frac{F(a + b)^2 b}{v_0 \left(B' + \frac{q}{g} \right) b^2}$$

v_2 sinh ra do sự quay khi đai định tâm trước và thành nòng mất liên kết đột ngột. F là lực phản lực tức thời của nòng tác động lên đai định tâm, xác định như sau:

$$F = \left(\frac{m_1 + m_2}{q} \right) P_d \frac{\pi R^3}{a + b} + \frac{m_1}{g} R \omega_0^2 + \left(B' - A' + \frac{q}{g} b^2 \right) \frac{\Delta' \omega_0^2}{(a + b)^2} + P_d \frac{\pi R^2 \Delta' b}{(a + b)^2}$$

Trong đó, A', B' lần lượt là mô men quán tính trục và xích đạo hiệu chỉnh khi tính đến sự mất cân bằng khối lượng m_1, m_2 .

$$A' = A + (m_1 + m_2) R^2;$$

$$B' = B + m_1(a^2 + R^2 \sin^2 \alpha_1) + m_2(b^2 + R^2 \sin^2 \alpha_2)$$

Với: A, B tương ứng là mô men quán tính trục và xích đạo của đạn; α_1, α_2 tương ứng là góc xác định vị trí của các khối lượng không cân bằng m_1, m_2 so với trục đứng tại các mặt phẳng của đai định tâm trước và đai dẫn.

3. ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ KẾT CẤU ĐẠN OΦ-540 ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC BẮN CỦA PHÁO 152MM-D20

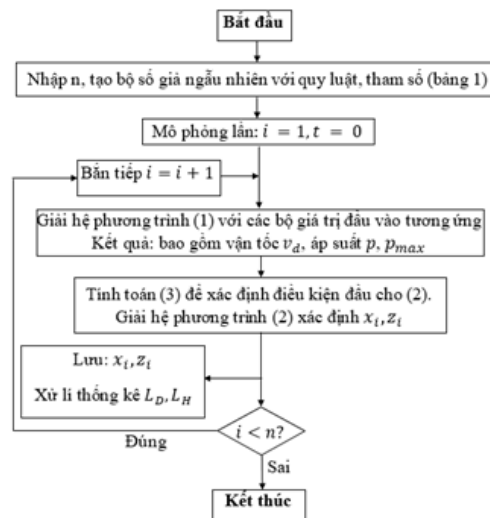
Để đối chứng cho mô hình đề xuất, bài báo lựa chọn bộ thông số đạn OΦ-540 cùng với giá trị tham số, quy luật phân phối xác suất dùng để đánh giá mức độ ảnh hưởng của chúng đến độ tán mát khi bắn trên pháo trên 152mm-D20 trình bày trong [5], được mô tả trong bảng 1. Thực hiện mô phỏng với n lần trong cùng điều kiện khí tượng tiêu chuẩn. Các đặc trưng thống kê tán mát của đạn gồm $\bar{x}, \bar{z}, L_D, L_H$ được xác định như sau [1]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n},$$

$$L_D = 0,6745 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

$$L_H = 0,6745 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}{n-1}}$$

Trong đó: x_i, z_i tương ứng là tầm và hướng của phát bắn mô phỏng thứ i . Với các thông số đầu vào được cho trong bảng 1. Tiến hành mô phỏng với cỡ mẫu $n = 400$. Mô hình mô phỏng xác định x_i, z_i, L_D, L_H được mô tả trên hình 2.

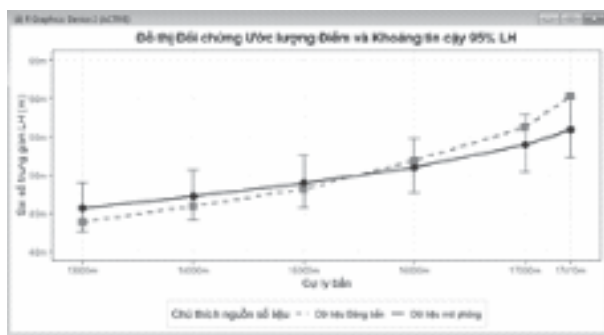


Hình 2. Sơ đồ xác định L_D, L_H

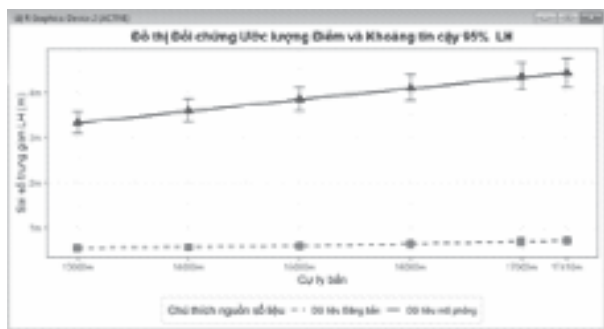
Bảng 1. Bảng giá trị các thông số kết cấu đạn và các đặc trưng thống kê của chúng.

STT	Tên gọi thông số kết cấu	Ký hiệu, đơn vị		Các đặc trưng thống kê		
				Quy luật	μ	σ (%)
1	Cỡ đạn	d	m	Chuẩn	0,1524	0,03
2	Khối lượng đạn	q	kg	Chuẩn	43,56	
3	Khối lượng liều phóng	ω	kg	Chuẩn	7,56	0,09
4	Bề dày cháy của thuốc	$2e_1$	m	Chuẩn	0,0015	1,1
5	Tốc độ cháy của thuốc	u_1	m^3/Ns	Chuẩn	7.5×10^{-10}	1
6	Thể tích buồng đốt	W_0	m^3	Chuẩn	0,012087	0,2
7	Áp suất tổng đạn	P_0	MPa	Chuẩn	30	1,1
8	Góc xác định vị trí của khối lượng không cân bằng m_1, m_2	α_1 α_2	rad	Đều	$0 \div 2\pi$	-
9	Hệ số hình dạng đạn	i		Chuẩn	0,956	0,5
10	Góc định hướng véc tơ vận tốc đạn trong mặt phẳng vuông góc miệng nòng	α_0	rad	Đều	$0 \div 2\pi$	-
11	Độ mất cân bằng khối lượng m_1, m_2	$m_1,$ m_2	kg	Rayleigh	0,096 0,036	30 30
12	Mô men quán tính trục và xích đạo của đạn	A B	kgms ²	Chuẩn	0,0146 0,1252	1 1
13	Khoảng cách từ đai định tâm đến trọng tâm	a	m	Chuẩn	0,102	1
14	Khoảng cách từ đai dẫn đến trọng tâm	b	m	Chuẩn	0,145	1
15	Số lần mô phỏng	n			400	

Xác định các giá trị trung bình mẫu $\bar{x}$, $\bar{z}$, sai số trung gian tản mát về tầm và hướng L_D , L_H , kiểm định quy luật phân bố tọa độ điểm rơi của đạn và mức độ tương quan cho thấy mức độ phù hợp tốt, đặc biệt là về tầm bắn như trên hình 3 do sự phụ thuộc của tầm bắn từ các thông số kết cấu đã được mô tả một cách đầy đủ. Đối với hướng bắn hình 4, mô hình mô phỏng mới chỉ đưa vào mức độ ảnh hưởng của góc nẩy ngang xuất phát từ ảnh hưởng của thông số mất cân bằng khối lượng. Các yếu tố khác xảy ra trong quá trình bắn mô hình chưa mô tả được như sự rung lắc, dao động của nòng pháo khi bắn. Do đó, sai số trung gian ước lượng được về hướng L_H nhỏ hơn so với bằng bắn.



Hình 3. L_D xác định từ bằng bắn và mô phỏng

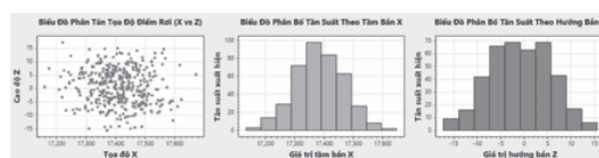


Hình 4. L_H xác định từ bằng bắn và mô phỏng

Tiêu chuẩn Shapiro – Wilk được sử dụng để kiểm tra quy luật phân phối tầm bắn X và hướng bắn Z. Kết quả xử lý thống kê trên phần mềm thu được các thông số đặc trưng sau: Đối với tầm bắn X có p – value = 0.6819, và hướng bắn Z có p – value = 0.8325.

Với mức ý nghĩa $\alpha = 0.05$, giá trị p – value thu được lớn hơn rất nhiều so với α . Do đó, chưa có đủ cơ sở thống kê để bác bỏ giả thuyết H_0 (giả thuyết cho rằng tầm bắn X và hướng bắn Z tuân theo quy luật phân bố chuẩn). Điều này khẳng định tập dữ liệu tọa độ tầm bắn X, hướng bắn Z tuân theo quy luật phân bố chuẩn một cách tin cậy.

Biểu đồ phân phối thực nghiệm tầm bắn X và hướng bắn Z như trên hình 5.



Hình 5. Biểu đồ tần số thực nghiệm tầm bắn X(m) và hướng bắn Z(m)

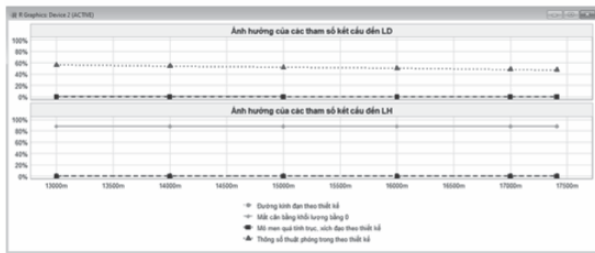
Kiểm định tương quan Pearson hai biến tầm bắn X, hướng bắn Z với mức ý nghĩa $\alpha = 0.05$, giá trị p – value = 0.1924 thu được lớn hơn rất nhiều so với α . Do đó, chưa có đủ cơ sở thống kê để bác bỏ giả thuyết H_0 (giả thuyết cho rằng hệ số tương quan tuyến tính bằng 0). Khoảng tin cậy 95% của hệ số tương quan chứa giá trị 0 và giá trị tuyệt đối của hệ số tương quan thực nghiệm đạt mức rất thấp ($|r| \approx 0,065$). Điều này khẳng định rằng mối liên hệ tuyến tính giữa hai biến là không đáng kể.

Đối chứng với bằng bắn [4], so sánh kết quả trong tài liệu [5] với cùng dữ liệu đầu vào. Kiểm định quy luật phân phối, mức độ tương quan của điểm rơi về tầm và hướng cho thấy kết quả nhận được từ mô hình mô phỏng hoàn toàn tin cậy để sử dụng trong việc nghiên cứu về ảnh hưởng của các tham số kết cấu đến tản mát đối đạn ổn định bằng quay nhanh.

Mức độ ảnh hưởng của mỗi thành phần thông số riêng đến độ tản mát trung gian tổng được xác định như trong biểu thức (3) [3].

$$AH_j = \frac{(E^{(j)})^2}{E^2} 100\% \quad (3)$$

Tiến hành mô phỏng khảo sát của từng tham số đến mức độ suy giảm của sai số trung gian tổng. Kết quả được trình bày trên hình 6.



Hình 6. Ảnh hưởng của các thông số kết cấu đạn đến mức suy giảm L_D , L_H

Từ đồ thị trên thấy rằng, khi các thông số thuật phóng trong đạt đến giá trị tiêu chuẩn theo tài liệu thiết kế sẽ làm giảm sai số trung gian về tầm bắn lớn hơn cả. Điều này dễ dàng giải thích vì với các giá trị của thông số thuật phóng trong đạt chuẩn thì sẽ làm cho giá trị của vận tốc đầu nòng của đạn sẽ ổn định, tán mát về vận tốc đạn giảm xuống với mức khoảng 45% đến 55%. Về mặt lý thuyết, từ hệ phương trình (2) dễ thấy vận tốc đạn ảnh hưởng trực tiếp đến tầm bắn của đạn. Khi thiết kế đạn và loại bỏ được độ mất cân bằng về khối lượng m_1 , m_2 sẽ giảm được tán mát góc bay ra theo phương ngang, làm cho đạn chụm hơn vào trung tâm. Điều này dẫn tới giảm được sai số trung gian về hướng một cách hiệu quả so với các thông số khác của kết cấu đạn. Nghiên cứu từ mô hình cho thấy có thể giảm đến 87% sai số trung gian về hướng khi không kể đến các dao động của nòng trong quá trình bắn nếu đạn đạt tiêu chuẩn thiết kế và triệt tiêu được độ mất cân bằng khối lượng. Các kết quả nhận được từ mô hình mô phỏng cho thấy sự trùng khớp với các nghiên cứu lý thuyết cũng như thực nghiệm đã chỉ ra về mức độ ảnh hưởng của một số thông số kết cấu đạn.

4. KẾT LUẬN

Từ mô hình mô phỏng hiện tượng bắn khi áp dụng đối với đạn OΦ-540, bài báo đã xây dựng mối quan hệ giữa các thành phần thông số kết cấu đạn ảnh hưởng đến tầm bắn cũng như độ tán mát khi bắn.

Mô hình mô phỏng bài báo xây dựng cho phép khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu của đạn đến độ tán mát khi bắn. Điều này tạo ra bức tranh tổng thể trong quá trình nghiên cứu thuật phóng của đạn.

Kết quả bài báo là một phần nội dung của đề tài mã số 25.01.26 do Học viện Kỹ thuật quân sự quản lý. ❖

Ngày nhận bài: 02/6/2026

Ngày phản biện: 12/6/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Văn Thọ, Nguyễn Đình Sại, “*Giáo trình Thuật phóng ngoài*”. Học viện Kỹ thuật quân sự, 2003.
- [2]. Nguyễn Ngọc Du, Nguyễn Văn Thọ, “*Thuật phóng trong của súng pháo*”. Trường đại học Kỹ thuật quân sự, 1976.
- [3]. Nguyễn Quang Lượng (dịch từ Г. В. Лепеш, А. Г. Ховрин), “*Cơ sở dự báo và đảm bảo các đặc trưng tán mát cho trước của đạn trong giai đoạn thiết kế và khai thác hệ thống pháo*”. Tuyển tập Hội nghị báo cáo khoa học và ứng dụng toàn Nga, 1997.
- [4]. Bộ Tổng Tham mưu Quân đội nhân dân Việt Nam, “*Bảng bắn pháo nòng vừa 152mm – D20*”. NXB. Quân đội nhân dân, 2003.
- [5]. Никулин Е. Н., Сабитов Р. М., “*Определение кучности стрельбы артиллерийского снаряда методом статистических испытаний*”. Учеб. пособие, 1990.