XÁC ĐỊNH CÁC ĐẶC TRƯNG TẢN MÁT CỦA ĐẠN PHẢN LỰC KHÔNG ĐIỀU KHIỂN BẰNG MÔ PHỎNG NGẪU NHIÊN

Nguyễn Đức Thuận*, Lê Hùng Phong, Hoàng Thế Dũng,
Hoàng Việt Trung, Lê Tuấn Anh

Tóm tắt: *Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, sử dụng phương pháp mô phỏng để xác định các đặc trưng tản mát cho đạn phản lực không điều khiển. Phương pháp mô phỏng được thực hiện tương tự phương pháp thực nghiệm, chỉ khác, phương pháp mô phỏng sử dụng số liệu bắn trên máy tính để tính toán, xác định các đặc trưng tản mát của đạn thay cho số liệu bắn thực nghiệm. Yêu cầu đối với việc bắn trên máy tính là lần lượt mô phỏng được chuyển động của các quả đạn trong một lần bắn sát với điều kiện bắn thực nghiệm. Các quả đạn trong một lần bắn có sự sai khác nhau do phạm phải sai số khi chế tạo. Vì thế, số liệu đầu vào cho việc bắn trên máy tính cũng phải mô phỏng được các sai số này. Ứng dụng tính toán cho đạn 9M22Y bắn trên dàn phóng của xe chiến đấu BM-21, sử dụng thực nghiệm (bảng bắn) để kiểm chứng kết quả tính toán.*

Từ khóa: Mô phỏng; Đạn phản lực; Tản mát.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi bắn cho dù tiến hành trong những điều kiện như nhau (cùng một loại pháo, cùng một loại đạn, cùng một góc phóng, cùng một điều kiện phóng,...) song lại nhận được quỹ đạo và điểm rơi của đạn ứng với từng phát không trùng nhau mà phân bố trong một phạm vi nhất định. Hiện tượng như vậy gọi là tản mát.

Các đặc trưng tản mát thường được xác định bằng phương pháp thực nghiệm. Phương pháp này cho kết quả tin cậy khi số lượng thử nghiệm đủ nhiều (rất tốn kém). Để giảm chi phí, người ta sử dụng kết hợp giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm. Các đặc trưng tản mát được xác định thông qua các thông số quyết định các lượng đặc trưng tản mát, bắn thực nghiệm chỉ để xác định một số thông số cần thiết cho tính toán.

Như vậy, các phương pháp xác định tản mát hiện nay đều cần phải có thực nghiệm. Trong quá trình tính toán để thiết kế, chế tạo vũ khí mới hay cải tiến, nâng cao hiệu quả vũ khí hiện có, không thể sử dụng các phương pháp này, cần phải có phương pháp xác định tản mát bằng lý thuyết. Để giải quyết vấn đề này, bài báo trình bày cách xác định các đặc trưng tản mát bằng phương pháp mô phỏng.

Phương pháp mô phỏng được thực hiện như sau: trên cơ sở nghiên cứu về các sai số ngẫu nhiên phạm phải khi chế tạo và lý thuyết về mô phỏng chuyển động của thiết bị bay, thiết lập mô hình toán và tiến hành mô phỏng chuyển động của đạn có kể đến các sai số chế tạo. Sử dụng số liệu thu được từ việc chạy chương trình mô phỏng với số phát bắn đủ lớn, xác định các đặc trưng tản mát cho đạn.

2. MÔ HÌNH TOÁN

2.1. Mô hình toán chuyển động của đạn trong ống phóng

2.1.1. Các giả thiết

- Bỏ qua trọng lực của đạn, bỏ qua lực cản không khí trong ống phóng [8];

- Trong suốt quá trình đạn chuyển động trong ống phóng, coi trục đạn trùng với trục ống phóng.

2.1.2. Hệ phương trình chuyển động của đạn

Với các giả thiết trên, mô hình toán chuyển động của đạn trong ống phóng được thiết

lập như sau [3, 8]:

$$\begin{cases} m_d \dfrac{dV}{dt} = F_{dc} - \dfrac{4J_x F_{dc}\left(\sin\delta + \mu\cos\delta\right)\tan\delta}{m_d d^2\left(\cos\delta - \mu\sin\delta\right) + 4J_x\left(\sin\delta + \mu\cos\delta\right)\tan\delta} \\ \omega = \dfrac{2V}{d}\tan\delta \\ \dfrac{dS}{dt} = V \end{cases} \quad (1)$$

Điều kiện đầu: $S = 0$; $V = 0$;

Điều kiện kết thúc giai đoạn chuyển động trong ống phóng: $S = S_0$,

Trong đó: d - Đường kính đạn; m_d - Khối lượng đạn; δ - Góc nghiêng của rãnh xoắn trong ống phóng; J_x - Mô men quán tính đối với trục dọc của đạn; μ - Hệ số ma sát; V - Vận tốc dài; ω - Vận tốc góc; S_0 - Chiều dài ống phóng.

2.2. Mô hình toán chuyển động của đạn trên quỹ đạo bay

2.2.1. Các giả thiết

- Bề mặt Trái đất là mặt phẳng cố định, gia tốc trọng trường không đổi, hệ tọa độ mặt đất là hệ tọa độ quán tính; bỏ qua ảnh hưởng của tốc độ quay Trái đất;

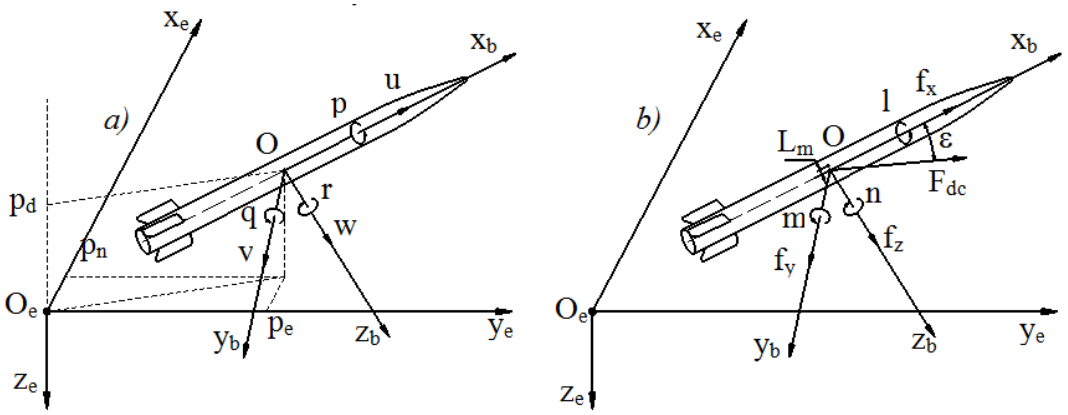
- Các tham số khí quyển như: mật độ, nhiệt độ, tốc độ âm thanh và độ nhớt là các hàm phụ thuộc theo độ cao, được lấy theo bảng khí quyển chuẩn.

2.2.2. Mô hình động lực học

**** Các hệ tọa độ***

- Hệ tọa độ quán tính $O_e x_e y_e z_e$: $O_e x_e$ hướng bắc; $O_e y_e$ hướng Đông; $O_e z_e$ độ cao;

- Hệ tọa độ liên kết $Ox_b y_b z_b$.



Hình 1. *Mô hình động học (a) và các lực tác dụng lên đạn (b).*
p_n, p_e, p_d - Vị trí của đạn theo các trục $O_e x_e$, $O_e y_e$, $O_e z_e$; u, v, w - Vận tốc đạn theo các trục Ox_b, Oy_b, Oz_b; p, q, r - Vận tốc góc quanh trục Ox_b, Oy_b, Oz_b; f_x, f_y, f_z - Tổng lực tác dụng lên đạn theo các trục Ox_b, Oy_b, Oz_b; l, m, n - Tổng mô men tác dụng lên đạn theo các trục Ox_b, Oy_b, Oz_b; F_{dc} - Lực đẩy động cơ.

2.2.3. Hệ phương trình chuyển động của đạn

Với các giả thiết trên, hệ phương trình chuyển động của đạn như sau [3, 6]:

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} \dot{p}_n \\ \dot{p}_e \\ \dot{p}_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_1^2+e_0^2-e_2^2-e_3^2 & 2(e_1e_2-e_3e_0) & 2(e_1e_3+e_2e_0) \\ 2(e_1e_2+e_3e_0) & e_2^2+e_0^2-e_1^2-e_3^2 & 2(e_2e_3-e_1e_0) \\ 2(e_1e_3-e_2e_0) & 2(e_2e_3+e_1e_0) & e_3^2+e_0^2-e_1^2-e_2^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} rv-q\mathrm{w} \\ p\mathrm{w}-ru \\ qu-pv \end{pmatrix} + \frac{1}{m_d} \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \dot{e}_0 \\ \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & -p & -q & -r \\ p & 0 & r & -q \\ q & -r & 0 & p \\ r & q & -p & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_0 \\ e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\Gamma_2 qr \\ \Gamma_5 pr \\ \Gamma_7 pq-\Gamma_1 pr \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Gamma_3 l \\ \dfrac{m}{J_y} \\ \Gamma_8 n \end{pmatrix} \end{cases} \tag{2}$$

trong đó:

$$\Gamma = J_x J_z;\ \ \Gamma_2 = \frac{J_z(J_z-J_y)}{\Gamma};\ \ \Gamma_3 = \frac{J_z}{\Gamma};\ \Gamma_5 = \frac{J_z-J_x}{J_y};\ \Gamma_7 = \frac{J_x(J_x-J_y)}{\Gamma};\ \ \Gamma_8 = \frac{J_x}{\Gamma};$$

J_x, J_y, J_z - Mô men quán tính của đạn đối với các trục Ox_b, Oy_b, Oz_b;

- e_0, e_1, e_2, $e_3$là các quaternions, được xác định như sau:

$$e_0 = \cos\frac{\psi}{2}\cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{\phi}{2} + \sin\frac{\psi}{2}\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{\phi}{2};\ e_1 = \cos\frac{\psi}{2}\cos\frac{\theta}{2}\sin\frac{\phi}{2} - \sin\frac{\psi}{2}\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\phi}{2}$$

$$e_2 = \cos\frac{\psi}{2}\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\phi}{2} + \sin\frac{\psi}{2}\cos\frac{\theta}{2}\sin\frac{\phi}{2};\ e_3 = \sin\frac{\psi}{2}\cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{\phi}{2} - \cos\frac{\psi}{2}\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{\phi}{2}$$

- ϕ, θ, ψ - Tương ứng là góc xoắn, góc chúc ngóc, góc hướng [1].

2.2.4. Các lực và mô men tác động lên đạn trong quá trình chuyển động

Khi kể đến lệch tâm lực đẩy và lệch tâm trọng lượng, phương trình xác định các lực và mô men tác dụng lên đạn trong hệ tọa độ liên kết như sau:

$$\begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -m_d g\sin\theta \\ m_d g\cos\theta\sin\phi \\ m_d g\cos\theta\cos\phi \end{pmatrix} + \frac{\rho V^2 S}{2} \begin{pmatrix} -C_D\cos\alpha + C_L\sin\alpha \\ C_{Y_\beta}\beta + C_{Y_p}\dfrac{L_{ref}}{2V}p + C_{Y_r}\dfrac{L_{ref}}{2V}r \\ -C_D\sin\alpha - C_L\cos\alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_{dc}\cos\varepsilon \\ F_{dc}\sin\varepsilon\cos\varphi \\ F_{dc}\sin\varepsilon\sin\varphi \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} l \\ m \\ n \end{pmatrix} = \frac{\rho V^2 S}{2} \begin{pmatrix} L_{ref}\left[C_{lo} + C_{l_\beta}\beta + C_{l_p}\dfrac{L_{ref}}{2V}p + C_{l_r}\dfrac{L_{ref}}{2V}r\right] \\ L_{ref}\left[C_{m_\alpha}\alpha + C_{m_q}\dfrac{L_{ref}}{2V}q\right] \\ L_{ref}\left[C_{n_\beta}\beta + C_{n_p}\dfrac{L_{ref}}{2V}p + C_{n_r}\dfrac{L_{ref}}{2V}r\right] \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -F_{dc}L\sin\varepsilon\sin\varphi \\ -F_{dc}L\sin\varepsilon\cos\varphi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m_d g L_m\cos\theta\cos\varphi_1 \\ m_d g L_m\sin\theta\sin\varphi_1 \\ m_d g L_m\sin\theta\cos\varphi_1 \end{pmatrix}$$

trong đó [3]:

- $C_D, C_L, C_{m_\alpha}, C_{l_\beta}, C_{n_\beta}, C_{m_q}, C_{l_p}, C_{n_r}$ là các hệ số và đạo hàm khí động;

- S, L_{ref} lần lượt là diện tích đặc trưng và chiều dài đặc trưng của đạn;

- ε và φ lần lượt là góc lệch tâm lực đẩy và góc đặc trưng cho vị trí lệch tâm lực đẩy;

- L_m và φ_1 lần lượt là độ lệch tâm trọng lượng và góc đặc trưng cho vị trí lệch tâm trọng lượng.

3. MÔ PHỎNG, TÍNH TOÁN, THẢO LUẬN

3.1. Số liệu đầu vào

- Số liệu đầu vào là các thông số của đạn 9M22Y, dàn phóng BM-21. Các số liệu này được đưa vào chương trình mô phỏng ở hai dạng, dạng hằng số (bảng 1) [3, 5, 7, 9], dạng đại lượng ngẫu nhiên (bảng 2) [3, 5, 7, 9, 10]. Số liệu dạng đại lượng ngẫu nhiên là các số liệu có kể đến sai số phạm phải khi chế tạo;

- Lực đẩy (F_{dc}) được xác định bằng cách giải bài toán thuật phóng trong [2];

- Các hệ số khí động được tính bằng phần mềm Missile Datcom.

Bảng 1. *Thông số đầu vào dạng hằng số của đạn 9M22Y.*

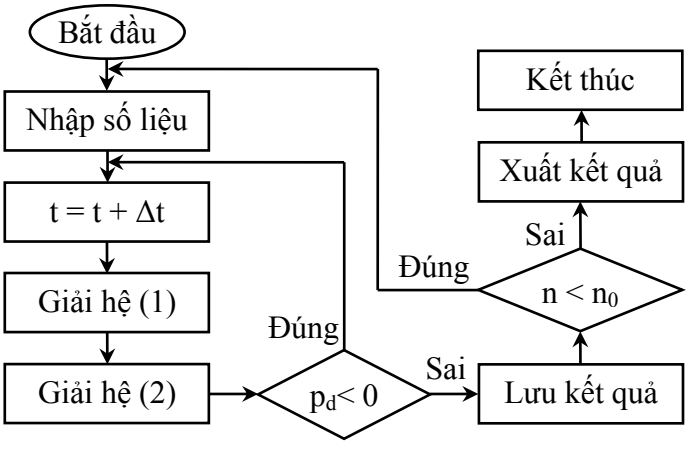
TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Đường kính đạn	mm	122
2	J_x ban đầu	kgm^2	0,149
3	J_x khi thuốc phóng cháy hết	kgm^2	0,124
4	J_y ban đầu	kgm^2	51,07
5	J_y khi thuốc phóng cháy hết	kgm^2	33,83
6	J_z ban đầu	kgm^2	51,07
7	J_z khi thuốc phóng cháy hết	kgm^2	33,83
8	Hệ số ma sát		0,2
9	Góc nghiêng rãnh ống phóng	độ	1,5
10	Chiều dài ống phóng	m	3
11	Chỉ số mũ đoạn nhiệt		1,25
12	Hằng số khí của sản phẩm cháy	J/kg.K	362
13	Hệ số tốc độ cháy	m/s	$42,64.10^{-6}$
14	Số mũ tốc độ cháy		0,3456
15	Mật độ của thuốc phóng	kg/m^3	1593
16	Đường kính trong của buồng đốt	m	0,113
17	Chiều dài buồng đốt	m	1,91
18	Số loa phụt	cái	7
19	Đường kính cửa ra loa phụt	mm	37
20	Nhiệt độ ban đầu của thuốc phóng	K	288
21	Hệ số của hàm nhiệt độ		0,003

Bảng 2. *Thông số đầu vào dạng đại lượng ngẫu nhiên của đạn 9M22Y.*

TT	Thông số	Đơn vị	Quy luật phân bố
1	Đường kính ngoài thỏi thuốc 1	mm	Chuẩn $\mu = 103,5$; $\sigma = 1/3$
2	Đường kính trong thỏi thuốc 1	mm	Chuẩn $\mu = 27,5$; $\sigma = 1/3$
3	Chiều dài thỏi thuốc 1	mm	Chuẩn $\mu = 898$; $\sigma = 1$
4	Đường kính ngoài thỏi thuốc 2	mm	Chuẩn $\mu = 93$; $\sigma = 1/3$
5	Đường kính trong thỏi thuốc 2	mm	Chuẩn $\mu = 18$; $\sigma = 1/3$
6	Chiều dài thỏi thuốc 2	mm	Chuẩn $\mu = 898$; $\sigma = 1$
7	Nhiệt lượng thuốc phóng	kCal/kg	Chuẩn $\mu = 850$; $\sigma = 8/3$
8	Đường kính tiết diện tới hạn của các loa phụt	mm	Chuẩn $\mu = 18,9225$; $\sigma = 0,0075$
9	Độ lệch tâm trọng lượng	mm	Chuẩn $\mu = 0$; $\sigma = 0,12$
10	Góc đặc trưng cho vị trí lệch tâm trọng lượng	độ	Đều trong [0...360]
11	Góc lệch tâm lực đẩy	độ	Chuẩn $\mu = 0$; $\sigma = 0,095$
12	Góc đặc trưng cho vị trí lệch tâm lực đẩy	độ	Đều trong [0...360]
13	Khối lượng đạn	kg	Chuẩn $\mu = 66,6$; $\sigma = 0,1$
14	Lực giữ chốt định hướng	N	Đều trong [5883...7845]
15	Nhiễu loạn ban đầu về góc tầm	độ	Chuẩn $\mu = -1,5$; $\sigma = 0,1$
16	Nhiễu loạn ban đầu về góc hướng	độ	Chuẩn $\mu = 0$; $\sigma = 0,1$

3.2. Phương pháp, công cụ mô phỏng

Sử dụng phương pháp số với thuật toán giải lặp Runge-Kutta để giải hệ phương trình (1) và (2) bằng phần mềm Matlab trên máy tính. Sơ đồ thuật toán được thể hiện trên hình 2, trong đó, n_0 là số phát bắn trong một lần bắn. Đối với số liệu đầu vào dạng đại lượng ngẫu nhiên, mỗi phát bắn, máy tính sẽ tự động chọn số liệu để đưa vào tính toán đúng với trị số theo quy luật phân bố của nó.



Hình 2. *Sơ đồ thuật toán.*

3.3. Kết quả tính toán

3.3.1. Các thông số quỹ đạo của đạn

Với mỗi góc bắn, sẽ có một bộ thông số quỹ đạo của đạn. Trên bảng 3 là các thông số quỹ đạo của đạn 9M22Y không vòng cản khi bắn ở góc 833 ly giác.

Bảng 3. *Các thông số quỹ đạo của đạn.*

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị	
			Tính toán	Bảng bắn
1	Vận tốc lớn nhất của đạn	m/s	685,3	683,3
2	Vận tốc rơi của đạn	m/s	336,8	337
3	Độ cao lớn nhất của đường đạn	m	7200	7100
4	Thời gian đạn bay	s	76,7	76
5	Tầm bắn	km	20,112	20,127

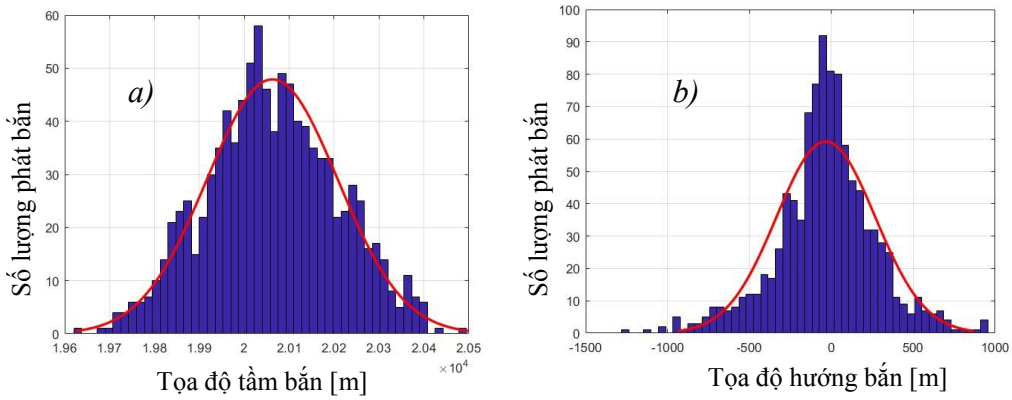
Nhận xét: Kết quả tính toán các thông số quỹ đạo của đạn sát đúng với các thông số quỹ đạo có trong bảng bắn, bước đầu có thể khẳng định được tính đúng đắn của chương trình mô phỏng quỹ đạo của đạn.

3.3.2. Các đặc trưng tản mát

Vị trí điểm rơi của đạn mang tính xác suất, số phát bắn trong một lần bắn càng nhiều thì quy luật phân bố điểm rơi của đạn sẽ càng giống với quy luật phân bố vốn có của nó. Ở đây, tác giả chọn bắn 1000 phát trong một lần bắn.

*Quy luật phân bố điểm rơi của đạn:

Vị trí điểm rơi của đạn 9M22Y không vòng cản khi bắn ở góc 833 ly giác trong một lần bắn được thể hiện trên đồ thị hình 3.



Hình 3. *Quy luật phân bố điểm rơi của đạn về tầm (a), về hướng (b).*

Nhận xét: Quy luật phân bố điểm rơi của đạn về tầm và về hướng phù hợp với đặc điểm tản mát [2].

* Xác định các đặc trưng tản mát:

Từ tọa độ vị trí điểm rơi của đạn trong một lần bắn, sai số trung gian tản mát về tầm (L_D) và về hướng (L_H) được xác định theo công thức sau [2]:

$$L_D = 0,6745\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_{tb})^2}{n-1}}; \quad L_H = 0,6745\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - y_{tb})^2}{n-1}}$$

trong đó:

+ n - Số phát bắn trong một lần bắn;
+ x_i, y_i - Tọa độ điểm rơi của đạn ở phátbắn thứ i;
+ x_{tb}, y_{tb} - Tọa độ trung bình của các điểm rơi trong một lần bắn,

$$x_{tb} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i;\ y_{tb} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i\ .$$

Kết quả tính toán tầm bắn và các đặc trưng tản mát của đạn 9M22Y không vòng cản được thể hiện trên bảng 4.

Bảng 4. *Các đặc trưng tản mát của đạn 9M22Y không vòng cản.*

Góc bắn [ly giác]	Tầm bắn [m]		L_D[m]		L_H[m]	
	Tính toán	Bảng bắn	Tính toán	Bảng bắn	Tính toán	Bảng bắn
226	10258	10000	179,52	169	73,11	72
253	11244	11000	165,02	155	78,30	79
284	12288	12000	149,18	142	86,79	86
318	13271	13000	140,71	133	91,55	94
356	14265	14000	130,03	125	100,30	102
398	15228	15000	124,66	119	108,85	111
446	16256	16000	120,99	114	121,85	120
499	17202	17000	117,24	109	129,60	130
560	18166	18000	109,06	104	144,13	141
637	19106	19000	103,96	100	154,20	156
763	20026	20000	97,59	98	182,86	179
833	20112	20127	98,31	99	196,19	194

Nhận xét: Kết quả tính toán các đặc trưng tản mát của đạn 9M22Y không vòng cản khá chính xác. Sai số của kết quả tính so với số liệu thực nghiệm là nhỏ (sai số lớn nhất là 6,2%).

Từ các số liệu ở trên cho thấy, phương pháp mô phỏng khá tin cậy. Quy luật phân bố điểm rơi của đạn phù hợp với lý thuyết và giá trị của các đặc trưng tản mát cũng như các thông số quỹ đạo của đạn sát đúng với số liệu thực nghiệm [4]. Sử dụng phương pháp mô phỏng không những xác định được các đặc trưng tản mát của đạn mà còn có thể xác định được các thông số chuyển động của đạn.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày cách xác định các đặc trưng tản mát cho đạn phản lực không điều khiển bằng phương pháp mô phỏng ngẫu nhiên. Phương pháp này có thể sử dụng để xác định sơ bộ các đặc trưng tản mát cho các loại vũ khí trong giai đoạn tính toán thiết kế và cũng có thể sử dụng để xây dựng bảng bắn cho vũ khí mới (giảm thiểu được chi phí do giảm chi phí thử nghiệm). Tuy nhiên, phương pháp này cũng chỉ là tính toán lý thuyết, để xác định chính xác các đặc trưng tản mát của đạn cần phải có thực nghiệm kiểm chứng.

Phương hướng phát triển của vấn đề nghiên cứu sẽ là khảo sát sự phụ thuộc của tản mát vào các thông số thiết kế để tối ưu hóa thiết kế theo tiêu chí giảm thiểu tản mát cho hệ thống pháo đạn.

Bài báo này đã được báo cáo tại Hội thảo Quốc gia:Ứng dụng Công nghệ cao vào thực tiễn – 60 năm phát triển Viện KH-CN quân sự.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Đức Cương, *"Mô hình hóa và mô phỏng chuyển động của khí cụ bay tự động",* NXB Quân đội nhân dân (2002).

[2]. Nguyễn Văn Thọ, Nguyễn Đình Sại, *"Giáo trình thuật phóng ngoài"*, Học viện Kỹ thuật quân sự (2003).

[3]. Nguyễn Đức Thuận, *"Nghiên cứu, xây dựng phương án giảm tản mát cho đạn phản lực tăng tầm 40km bắn trên dàn phóng của xe chiến đấu BM-21",* Báo cáo tổng hợp kết quả thực hiện đề tài, Viện KHCNQS(2019)

[4]. Bảng bắn pháo phản lực BM-21, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân (2003).

[5]. Viện Thiết kế vũ khí, *"Bản vẽ sản phẩm, Đạn phản lực 122mm"*, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng và Kinh tế (1995).

[6]. R. F. Stengel, *"Flight Dynamics"*, Princeton University Press (2004).

[7]. Technical reagulation. Manufacturing of 122mm rocket propellant and inspection

[8]. Е. В. Чурбанов, *"Краткий курс баллистики"*,2-е издание, Санкт-Петербург (2006).

[9]. Боевая машина БМ - 21, *"Технические условия накапитальныйремонт БМ-21 УК"*, Москва, Военное издательство (1980).

[10]. Ф.Р. Гантмахер, Л.М. Левин, *"Теорияполетанеуправляемыхракет"*, ИздательствоФизико-МатематическойЛитературы (1959).

ABSTRACT

DETERMINING THE DISPERSION CHARACTERISTICS OF UNGUIDED ROCKETS BY SIMULATION

In the paper, the study results of using simulation method that determines calculation characteristics for uncontrolled jet bullets are presented. The simulation method uses computer-generated firing data to calculate and determine the calculation characteristics of bullets instead of experimental firing data is the same results with experimental method one. The requirement for a computer-based shot is to simulate the movement of the bullets in a single shot in an experimental shooting situation having a difference because of making size tolerance when manufacturing. Therefore, the input data for calculation computer must also simulate those. Calculation application for 9M22Y bullets fired on the launcher of BM-21 combat vehicles, used experiments (firing tables) verifies the calculation results.

Keywords: Simulation; Rocket; Dispersion.

Nhận bài ngày 28 tháng 6 năm 2020
Hoàn thiện ngày 17 tháng 9 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 15 tháng 10 năm 2020

Địa chỉ: Viện Tên lửa/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.
*Email: ndthuanvtl@gmail.com.