

Xây dựng bảng bắn tính sẵn cho pháo phòng không 23 mm dựa trên các phương trình về lực cản không khí

Vũ Đức Tuấn*

Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, 89B Lý Nam Đế, Cửa Đông, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: ductuan1405@gmail.com

Nhận bài: 25/12/2023; Hoàn thiện: 10/3/2024; Chấp nhận đăng: 14/3/2024; Xuất bản: 01/4/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.CAPITI.2024.97-104>

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu, tính toán, lựa chọn và xây dựng bảng bắn tính sẵn cho pháo phòng không 23 mm dựa trên các quy luật vận động của đầu đạn trong môi trường không khí trong điều kiện tiêu chuẩn thông qua việc so sánh kết quả nghiên cứu với đồ thị và bảng bắn mặt đất có sẵn trong tài liệu. Kết quả nghiên cứu được tính toán, mô phỏng trên MATLAB và được triển khai trên các hệ thống ZU23 cải tiến.

Từ khóa: Pháo phòng không; ZSU23; Bảng bắn.

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, trong quân đội thường xuyên thực hiện các nhiệm vụ nghiên cứu thiết kế, chế tạo và cải tiến hệ thống chỉ huy, điều khiển hỏa lực cho các loại pháo và tổ hợp vũ khí phòng không tầm thấp. Một nội dung quan trọng của các nhiệm vụ này là thiết kế, xây dựng chương trình phần mềm tính toán phân tử bắn. Hầu hết các chương trình phần mềm tính toán phân tử bắn cho mục đích động đã xây dựng đều dựa trên cơ sở thuật toán nhích dần để tính lượng đón về tầm và hướng. Dữ liệu cần thiết cho thuật toán này là các tham số về góc nâng và thời gian đạn bay được tra ra từ bảng bắn [12-14]. Đối với các loại pháo phòng không như 37 mm, 57 mm, hay thậm chí là 14,5 mm,... đều có các bảng tính sẵn trong điều kiện tiêu chuẩn [9, 11]. Khi có thông số mục tiêu (cự ly, độ cao, góc tà,...), có thể tra bảng để tính góc nâng và thời gian đạn bay. Vì vậy, việc tính toán các thông số để đưa vào thuật toán nhích dần là rất thuận lợi. Riêng đối với các loại vũ khí phòng không sử dụng cỡ đạn 23 mm như ZU23, ZSU23, mặc dù hiện nay vẫn được trang bị nhiều trong quân đội, nhưng các tài liệu kỹ thuật cung cấp kèm theo vũ khí, khí tài hiện chỉ có bảng bắn mặt đất và các đồ thị đường đạn ứng với một số góc bắn quy chuẩn khác nhau. Các hệ thống vũ khí như này thường sử dụng máy ngắm cơ khí, kính ngắm quang học, hoặc theo máy tính đường đạn có sẵn [7, 8, 10]. Vì vậy, việc cải tiến, chế tạo các hệ thống chỉ huy điều khiển hỏa lực gặp rất nhiều khó khăn trong việc tính toán các thông số phân tử bắn cho trường hợp mục tiêu trên không.

Bài báo nghiên cứu, tính toán, lựa chọn và xây dựng bảng bắn phòng không tính sẵn cho pháo phòng không 23mm dựa trên các quy luật vận động của đầu đạn trong môi trường không khí trong điều kiện tiêu chuẩn [1-4] thông qua việc so sánh kết quả nghiên cứu với đồ thị và bảng bắn mặt đất có sẵn trong tài liệu [7, 8, 10], nhằm đưa vào sử dụng trong các hệ thống tính toán, chỉ huy điều khiển hỏa lực của vũ khí sử dụng loại đạn 23 mm.

2. NỘI DUNG CẦN GIẢI QUYẾT

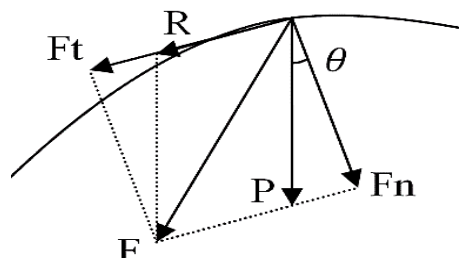
2.1. Thiết lập quỹ đạo bay cho đạn ZU23

Việc thiết lập quỹ đạo bay của đạn là việc xác định vị trí của viên đạn theo thời gian dựa vào các phương trình vi phân có được từ các phương trình về lực tác dụng lên viên đạn khi bay.

Quỹ đạo bay của đạn được thiết lập từ phương trình chuyển động cơ bản của vật rắn.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{\vec{R} + \vec{P}}{q} = \frac{\vec{R}}{q} + \vec{g} \quad (1)$$

Trong đó: a là gia tốc của đạn; R là lực cản không khí theo giả thiết có phương trùng với phương của vận tốc; và g là gia tốc trọng trường.



Hình 1. Phân tích lực tác dụng lên viên đạn.

Lực F khi chiếu lên phương vận tốc và phương vuông góc với nó ta được hệ phương trình:

$$\begin{cases} F_t = -R - P\sin\theta \\ F_n = P\cos\theta \end{cases} \quad (2)$$

Hay:

$$\begin{cases} a_t = -J - g\sin\theta \\ a_n = g\cos\theta \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: $J = R/q$ là gia tốc lực cản, θ là góc tạo bởi phương của vận tốc với phương ngang, a_t và a_n là các giá trị gia tốc thành phần:

a_t là thành phần gia tốc tiếp tuyến có phương trùng với tiếp tuyến của quỹ đạo và đặc trưng cho sự thay đổi về độ lớn của véc tơ vận tốc. Độ lớn của nó được tính là:

$$a_t = \frac{dV}{dt} \quad (4)$$

a_n là thành phần gia tốc pháp tuyến (gia tốc hướng tâm) nó có phương vuông góc với tiếp tuyến của quỹ đạo chuyển động và đặc trưng cho sự thay đổi về phương của véc tơ vận tốc. Độ lớn của nó được tính là:

$$a_n = \omega^2 R = \frac{V^2}{R} = \omega V = \frac{d\theta}{dt} V \quad (5)$$

Trong công thức (5) giá trị ω là vận tốc góc. Thay các giá trị a_t và a_n từ công thức (4) và (5) vào công thức (3) ta có:

$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = -J - g\sin\theta \\ \frac{d\theta}{dt} V = g\cos\theta \end{cases} \quad \text{Hay là: } \begin{cases} \frac{dV}{dt} = -J - g\sin\theta \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{g}{V} \cos\theta \end{cases} \quad \text{Trong đó: } \begin{cases} \frac{dx}{dt} = V\cos\theta \\ \frac{dy}{dt} = V\sin\theta \end{cases} \quad (6)$$

Giải hệ phương trình vi phân (6) Ta sẽ tính được các giá trị x, y và xây dựng được quỹ đạo chuyển động của đạn. Hệ vi phân (6) được giải bằng phương pháp số. Các phương trình viết bởi phương pháp số có dạng:

$$\begin{cases} \frac{V_{n+1} - V_n}{\Delta t} = -J_n - g\sin\theta_n \\ \frac{\theta_{n+1} - \theta_n}{\Delta t} = \frac{g}{V_n} \cos\theta_n \\ \frac{X_{n+1} - X_n}{\Delta t} = V_n \cos\theta_n \\ \frac{Y_{n+1} - Y_n}{\Delta t} = V_n \sin\theta_n \end{cases} \quad \text{Hay là: } \begin{cases} V_{n+1} = V_n - (J_n + g\sin\theta_n) \times \Delta t \\ \theta_{n+1} = \theta_n + \frac{g}{V_n} \cos\theta_n \times \Delta t \\ X_{n+1} = X_n + V_n \cos\theta_n \times \Delta t \\ Y_{n+1} = Y_n + V_n \sin\theta_n \times \Delta t \end{cases} \quad (7)$$

Với các điều kiện ban đầu là: $V_0 = 930$ m/s (Tốc độ đầu nòng của đạn ZU-23); θ_0 góc bắn ban đầu; và các tọa độ vị trí ban đầu $X_0 = 0$; $Y_0 = 0$.

Như vậy, các đại lượng trong công thức (6) hay dạng số là công thức (7) ngoại trừ giá trị J , các giá trị khác đều đã biết trước. Giá trị J được xác định nhờ vào công thức $J = R/q$. Trong đó, R là lực cản không khí phụ thuộc vào các yếu tố vận tốc, cao độ và hệ số hình dạng của viên đạn và được cho bởi công thức:

$$R = C.F(V).H(Y)$$

Trong đó:

- $F(V)$ là thành phần chính của lực cản không khí, phụ thuộc vào vận tốc của đạn, sẽ được trình bày trong mục tiếp theo;

- C là hệ số hình dạng của viên đạn, được lựa chọn dựa vào các giá trị biên và giá trị đỉnh của đồ thị quỹ đạo đường đạn được cho trong tài liệu. Phương pháp cụ thể để xác định “ C ” sẽ được trình bày trong mục (2.3);

- $H(y)$ được đưa ra bởi thực nghiệm và được xác định gần đúng với các công thức khác nhau qua từng thời kỳ. Trong nội dung bài báo này, hàm $H(y)$ được sử dụng với công thức mới nhất về áp suất không khí theo chuẩn 4401-81:

$$H(y) = (1 - 0,00002256 \times y)^{4.256}$$

2.2. Các công thức về lực cản không khí

2.2.1. Công thức Siacci

Trên cơ sở những nghiên cứu của Maievsky-Zabudsky và bằng thực nghiệm vào cuối thế kỷ XIX, một nhà nghiên cứu người Ý Francesco Siacci đã đưa ra một hàm lực cản mới $F(V)$ mang tên mình. Với hàm lực cản này Siacci đã làm mịn được các điểm nhọn trên đồ thị, đồng thời công hiến to lớn hơn của Siacci là đã đưa ra được một hàm xấp xỉ gần đúng về lực cản của không khí theo như công thức (8).

$$F(V) = 0,2002V - 48,05 + \sqrt{(0,1648V - 47,95)^2 + 9,6} + \frac{0,0442V(V - 300)}{371 + \left(\frac{V}{200}\right)^{10}} \quad (8)$$

Công thức này đã được thử nghiệm nhiều lần trong thực tế và được sử dụng rộng rãi trong việc tính toán quỹ đạo, với các giá trị tương ứng của các loại đạn có hình dạng khác nhau. Ở tốc độ thấp, công thức Siacci gần với hàm bậc hai và ở tốc độ cao, nó gần với tuyến tính.

2.2.2. Công thức 1943

Trong cuộc chiến tranh thế giới thứ 2, do yêu cầu của việc sử dụng các loại pháo tầm xa nhiều hơn. Ở Liên Xô đã bắt đầu công việc thiết lập một phương trình mới về lực cản không khí dựa trên việc xử lý kết quả bắn bằng đạn pháo tầm xa hiện đại. Công trình này do học viện pháo binh của Nga xây dựng và được hoàn thành vào năm 1943 được đặt theo tên của F.E. Dzerzhinsky hoặc đơn giản là “Công thức 1943”. Nó được thể hiện dưới dạng bảng dựa trên các nghiên cứu và cải tiến từ công thức Siacci và công thức 1930. Trong công thức 1943 $F(V)$ được tính là:

$$F(V) = \frac{\rho_0 V^2}{2} s C_x(M) \quad (9)$$

Trong đó:

- ρ_0 là khối lượng riêng của không khí ở điều kiện tiêu chuẩn;

- s là diện tích mặt cắt của viên đạn.

Giá trị $C_x(M)$ được tính theo công thức (10):

$$C_x = \begin{cases} 0,157 : M < 0,73 \\ 0,033M + 0,133 : 0,73 \leq M < 0,82 \\ 0,161 + 3,9(M - 0,823)^2 : 0,82 \leq M < 0,91 \\ 1,5 \cdot M - 1,176 : 0,91 \leq M < 1,00 \\ 0,384 - 1,6(M - 1,176)^2 : 1,00 \leq M < 1,18 \\ 0,384 \sin\left(\frac{1,85}{M}\right) : 1,18 \leq M < 1,62 \\ \frac{0,29}{M} + 1,72 : 1,62 \leq M < 3,06 \\ 0,316 - 0,016M : 3,06 \leq M < 3,53 \\ 0,259 : M \geq 3,53 \end{cases} \quad (10)$$

Như vậy, trong công thức 1943 được chia thành 9 đoạn với các hàm số khác nhau phụ thuộc vào giá trị M là tỷ lệ giữa vận tốc của đạn và vận tốc âm thanh: $M = V/a$.

2.2.3. Công thức 1956

Sau chiến tranh thế giới thứ 2, một thử nghiệm mới được đưa ra và một công thức mới về lực cản không khí được xác lập vào năm 1956, và được gọi ngắn gọn là “Công thức 1956”.

Cũng giống như công thức 1943, công thức 1956 cũng được chia làm các đoạn với các hàm số khác nhau phụ thuộc vào giá trị tỷ lệ giữa vận tốc của đạn và vận tốc âm thanh ($M = V/a$).

Trong đó, giá trị $C_x(M)$ được tính theo công thức (11) dưới đây:

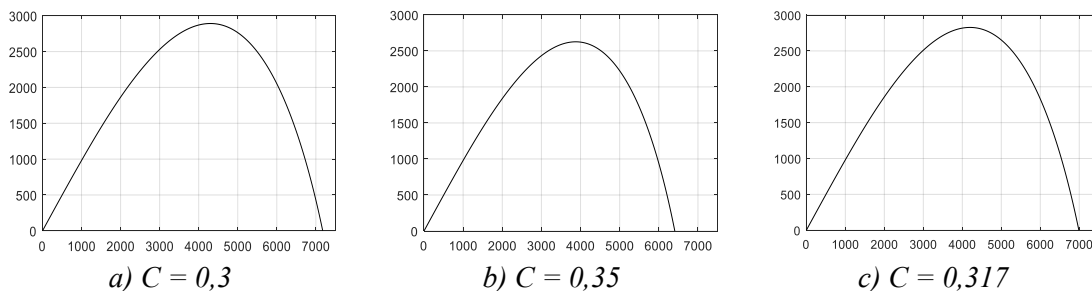
$$C_x = \begin{cases} 0,308 : M < 0,61 \\ 0,505(M - 0,61)^{2,31} + 0,308 : 0,61 \leq M < 1,00 \\ 0,4485(M - 1)^{0,505} e^{-5,68(M-1)} + 0,551 : 1 \leq M < 1,4 \\ \frac{M}{0,356 \cdot M^2 + 2,247 \cdot M - 1,4} : 1,4 \leq M < 4,0 \\ 0,302 : M \geq 4 \end{cases} \quad (11)$$

2.3. Quỹ đạo bay của đạn ZU23 xây dựng từ các công thức lực cản

Như vậy, ta đã có các phương trình vi phân dạng số để có thể xây dựng được quỹ đạo chuyển động của viên đạn. Tuy nhiên, giá trị “C” trong công thức $R = CF(V)H(y)$ vẫn chưa được xác định. Giá trị “C” sẽ được xác định dựa vào các giá trị biên và đỉnh của đồ thị so với đồ thị mẫu có trong tài liệu. Các bước để thực hiện như sau.

Chọn góc quỹ đạo chuẩn. Trong đồ thị mẫu ta thấy ở góc bắn 45° , cự ly đạn đạt xa nhất và góc bắn từ 30° đến 60° cũng là góc bắn thông dụng nhất với các loại vũ khí phòng không tầm thấp. nên ta chọn góc 45° làm góc chuẩn.

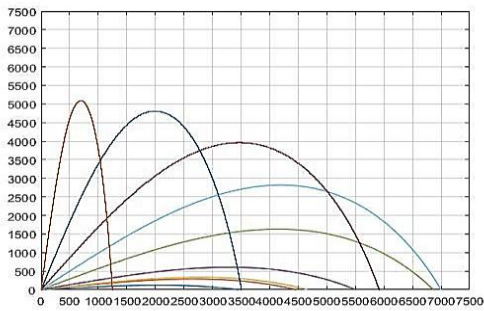
Chọn một giá trị “C” bất kỳ và vẽ quỹ đạo của đạn. Tăng hoặc giảm giá trị “C” sao cho quỹ đạo có được sát với quỹ đạo mẫu. Sau khi xác định được giá trị “C” phù hợp ta thực hiện xây dựng quỹ đạo với các góc khác.



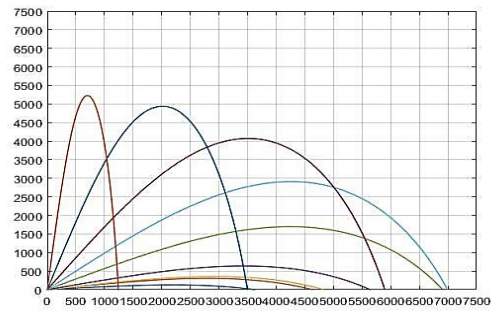
Hình 2. Quỹ đạo ở góc bắn 45 độ với các hệ số “C” khác nhau.

Trong hình 2 mô tả quỹ đạo của đạn ZU23-2N ở góc bắn 45° bằng công thức lực cản Siacci với các hệ số “C” khác nhau. Trong hình 2a với hệ số $C = 0,3$ ta thấy cự ly đạn rơi lớn hơn 7 km (lớn hơn so với quỹ đạo mẫu). Như vậy, với giá trị “C” này lực cản không khí là nhỏ, bởi vậy cần phải tăng hệ số “C”. Trong hình 2b với hệ số $C = 0,35$ cự ly đạn rơi ở khoảng cách 6,5 km và nhỏ hơn so với giá trị trong quỹ đạo mẫu cho thấy với giá trị này lực cản không khí là lớn và ta cần phải giảm hệ số “C”. Hình 2c với giá trị $C = 0,317$ là giá trị được chọn vì đồ thị với giá trị này sát với quỹ đạo mẫu.

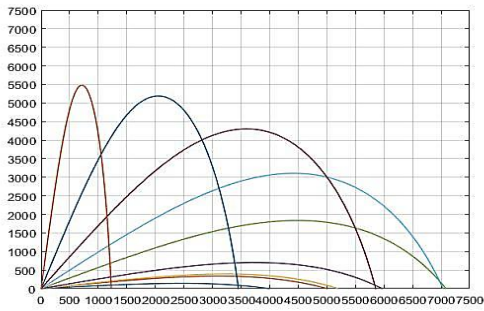
Sau khi đã xác định được hệ số hình dạng “C” ta sẽ xây dựng quỹ đạo của đạn với các góc khác. Chương trình được xây dựng bởi phần mềm Matlab, kết quả quỹ đạo được thể hiện qua hình 3 bằng công thức Siacci, hình 4 bằng công thức 1943, hình 5 bằng công thức 1956 và hình 6 là quỹ đạo của đạn ZU-23 trong tài liệu đi kèm vũ khí, khí tài.



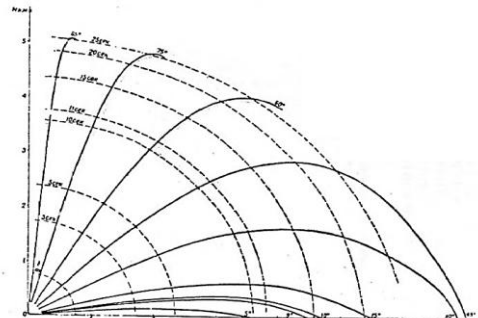
Hình 3. Quỹ đạo xây dựng bởi Siacci.



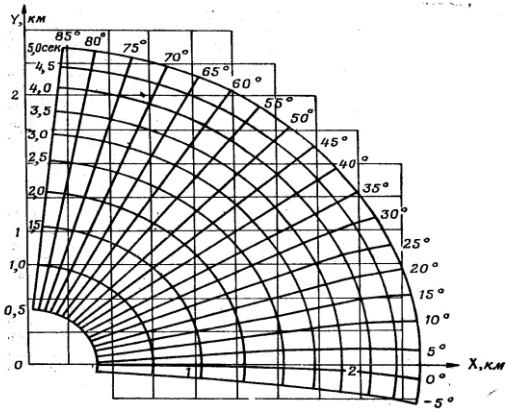
Hình 4. Quỹ đạo xây dựng bởi công thức 1943.



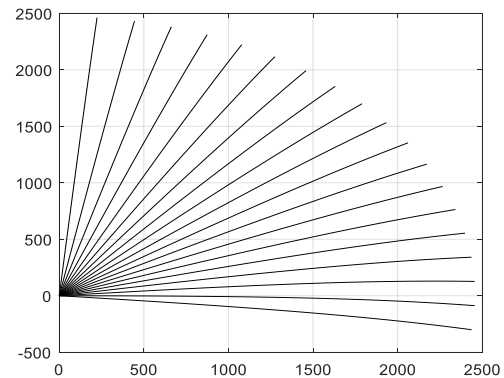
Hình 5. Quỹ đạo xây dựng bởi 1956.



Hình 6. Quỹ đạo trong tài liệu.



a) Quỹ đạo trong tài liệu.



b) Quỹ đạo xây dựng.

Hình 7. Quỹ đạo đạn ZU-23 ở 5 giây đầu tiên.

Hình 7 mô tả quỹ đạo của ZU23-2 ở 5 giây đầu tiên. Hình 7a là quỹ đạo có trong tài liệu và hình 7b là quỹ đạo xây dựng bởi công thức Siacci với các góc được xây dựng từ -5° đến 85° .

Qua đồ thị ta thấy, quỹ đạo được xây dựng bằng công thức Siacci sát với quỹ đạo có trong tài liệu nhất, đặc biệt ở 5 giây đầu tiên tương ứng với cự ly khoảng 2500 m gần như không có sai số.

Như vậy, do đạn ZU-23 có vận tốc nhỏ, nên trong 3 công thức được sử dụng, ta thấy công thức Siacci cho kết quả giống với kết quả thực nghiệm trong tài liệu hơn. Do đó, công thức Siacci sẽ được chọn để xây dựng bảng bắn phòng không cho pháo ZU-23.

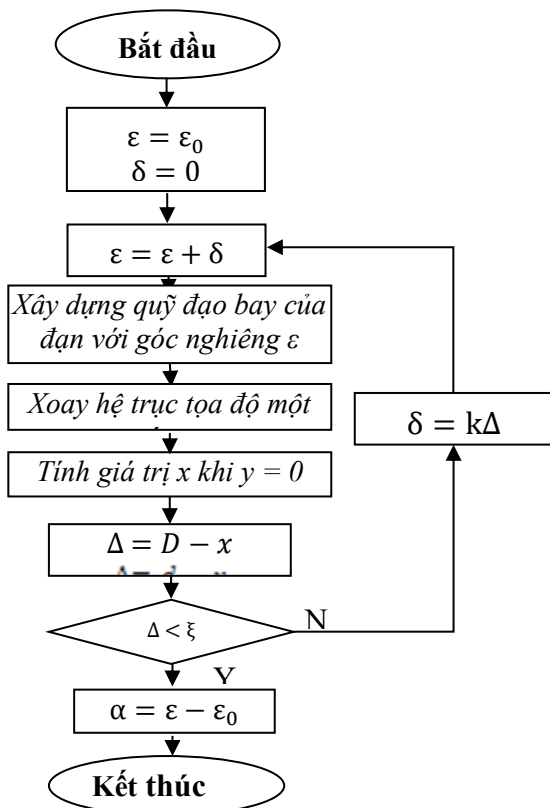
2.4. Xây dựng bảng bắn phòng không cho pháo ZU23

Việc thiết lập bảng bắn là tìm ra góc nâng α cần thiết để quỹ đạo của đạn rơi trúng mục tiêu. Trong bảng bắn của ZU23 được thiết lập với hệ trục tọa độ cầu, bao gồm góc tạt mục tiêu và cự ly.

Trong nội dung trước, chúng ta đã xây dựng được quỹ đạo của đạn là đồ thị của đạn theo 2 trục X, và Y. Trong đó, trục Y là trục thẳng đứng và trục X trùng với hướng bắn. Như vậy, với mỗi góc nâng α , ta sẽ tìm được điểm rơi của đạn trên mặt đất. Khi đó, góc α chính là góc bắn đón với mục tiêu mặt đất. Đối với bảng bắn phòng không, để thuận lợi cho việc xây dựng ta chỉ việc quay hệ trục tọa độ một góc $-\varepsilon$. Khi đó, bài toán tính toán bảng bắn phòng không trở về tương tự như bài toán bảng bắn mặt đất. Công thức chuyển hệ trục tọa độ với phép quay một góc $-\varepsilon$ là:

$$\begin{cases} X' = X \cos(-\varepsilon) - Y \sin(-\varepsilon) \\ Y' = X \sin(-\varepsilon) + Y \cos(-\varepsilon) \end{cases} \quad (12)$$

Bài toán thiết lập bảng bắn là bài toán ngược lại với bài toán xây dựng quỹ đạo, khi biết trước vị trí mục tiêu và phải xác định góc bắn đón. Lưu đồ thuật toán thiết lập bảng bắn mặt đất được thể hiện trong hình 8.



Hình 8. Lưu đồ thuật toán xây dựng bảng bắn.

Giả sử cần xây tính toán góc bắn cho mục tiêu với góc tạt là ε_0 và cự ly là D. Lần đầu tiên của vòng lặp ta bắt đầu xây dựng quỹ đạo của đạn với góc bắn là ε_0 , sau đó, xoay hệ trục tọa độ một góc cũng là ε_0 và tìm giao điểm của đồ thị với trục hoành (tức là tính giá trị x khi $y = 0$). Lúc này, kết quả nhận được là $x = 0$; và sai số $\Delta = D$ là rất lớn. Trong các lần tiếp theo của vòng lặp giá trị góc ε sẽ được tăng hoặc giảm tùy thuộc vào sai số của Δ của cự ly yêu cầu và cự ly tính toán hiện có. Nếu sai số Δ càng lớn thì bước tăng cho góc ε càng cao để đảm bảo cho bài toán nhanh được hội tụ. Khi sai số nhỏ hơn giá trị ξ đặt ra, vòng lặp được kết thúc. Để bảo đảm tính chính xác của bảng bắn, giá trị ξ ở đây được chọn là 0,1 m. Sau khi vòng lặp kết thúc, giá trị trả về là góc bắn đón $\alpha = \varepsilon - \varepsilon_0$.

Bảng bắn phòng không cho pháo ZU23-2N được xây dựng với các góc bắn từ -5° đến 85° với độ giãn cách là 5° tương ứng với mỗi góc bắn là các cự ly từ 100 m đến 2000 m và độ dẫn cách là 100 m. Bảng bắn cũng mở rộng với các cự ly lớn hơn để thuận tiện cho việc bám bắt từ xa.

Trong bảng 1 dưới đây mô tả một phần của bảng bắn ZU23 với các góc bắn 0 độ, 30 độ và 60 độ với đơn vị của góc bắn được tính là ly giác, thời gian đạn bay là giây.

Bảng 1. Bảng bắn ở góc bắn 0 độ, 30 độ, 60 độ.

D	0°		30°		60°	
	α	t	α	t	α	T
100	0.60	0.11	0.50	0.11	0.30	0.11
200	1.20	0.23	1.00	0.23	0.60	0.23
300	1.80	0.35	1.60	0.35	0.90	0.35
400	2.50	0.48	2.10	0.48	1.20	0.48
500	3.20	0.61	2.80	0.61	1.60	0.61
600	4.00	0.75	3.50	0.75	2.00	0.75
700	4.90	0.90	4.20	0.90	2.40	0.90
800	5.80	1.06	5.00	1.06	2.90	1.06
900	6.80	1.23	5.90	1.23	3.40	1.23
1000	7.90	1.41	6.80	1.41	3.90	1.41
1100	9.00	1.60	7.80	1.60	4.50	1.60
1200	10.30	1.80	8.90	1.80	5.10	1.80
1300	11.70	2.02	10.10	2.01	5.80	2.01
1400	13.20	2.24	11.40	2.23	6.60	2.23
1500	14.80	2.48	12.80	2.47	7.30	2.46
1600	16.60	2.73	14.30	2.72	8.20	2.71
1700	18.60	3.00	15.90	2.98	9.20	2.97
1800	20.70	3.28	17.80	3.25	10.20	3.24
1900	23.00	3.57	19.70	3.54	11.30	3.53
2000	25.50	3.87	21.80	3.85	12.50	3.83

3. KẾT LUẬN

Từ những nghiên cứu các phương trình về lực cản không khí, kết hợp cùng bảng bắn và đồ thị quỹ đạo có trong các tài liệu, bài báo đã đưa ra phương pháp xây dựng bảng bắn phòng không tính sẵn cho pháo phòng không 23 mm. Các kết quả tính toán được so sánh với đồ thị và bảng bắn mặt đất có trong tài liệu. Kết quả so sánh bảng bắn mặt đất được tính toán với bảng bắn mặt đất có trong tài liệu cho thấy sai số về góc bắn nhỏ hơn 1,2 độ phút, và sai số về thời gian đạn bay là nhỏ hơn 0,01 s. Ngoài ra, để kiểm chứng kết quả, nhóm tác giả đã thử nghiệm với các bảng bắn có sẵn như 37 mm, 57 mm và đều cho kết quả tương đồng với bảng bắn có sẵn trong tài liệu. Kết quả của nghiên cứu đã được ứng dụng trong các phần mềm bắn đón sử dụng loại đạn 23 mm của Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Вентцель Д.А., Шапиро Я.М. “Внешняя баллистика”, В 3-х ч. Ч. 1. М.; Л.: Оборонгиз. 210 с, (1939).
- [2]. Шапиро Я.М. “Внешняя баллистика”. М.: Оборонгиз. 408 с, (1946).
- [3]. Коновалов А.А. Николаев Ю.В. “Внешняя баллистика”. М.: ЦНИИ информации. 228 с, (1979).
- [4]. Левашов В.Ф. “Внешняя баллистика и теория стрельбы комплексов РАВ”. Ч.2. Осново- вы стрельбы и управления огнем ствольной артиллерии. Пенза: ПАИИ. 376 с, (2004).
- [5]. “Таблицы стрельбы по наземным целям из стрелкового оружия калибра 5,45 и 7,62мм (ТС ГРАУ №61)”, 2-е изд., доп. М.: Воениздат. 263 с, (1977).
- [6]. “Таблицы стрельбы по наземным целям из стрелкового оружия под винтовочный патрон (ТС ГАУ №55)”, М.: Воениздат. 76 с, (1948).
- [7]. “Пособие по изучению правил стрельбы батареи, взвода, установки ЗСУ-23-4” Москва, (1969).
- [8]. “Тяо tác pháo cao xạ 23mm hai nòng”, Bộ Tư lệnh Phòng không – Không quân, (1973).

- [9]. “Единые таблицы стрельбы по наземным и воздушным целям из 14,5-мм одиночных, спаренных и счетверенных зенитных пулеметных установок (ЗПУ-1, ЗПУ-2, ЗУ-1, ЗПУ-4) и по наземным целям из 14,5-мм пулеметов пкп и скп” Москва, (1957).
- [10]. “Таблицы стрельбы 23-мм спаренной установки ЗУ-23 по наземным целям” Москва, (1957).
- [11]. “Lotablazat AZ 57 mm-es SZ-60 típusu konnyu legvedelmi agyuhoz” (tiếng Hungary), (1962).
- [12]. Lê Quốc Bình, Nguyễn Hồng Sơn, Nguyễn Quý Khang, “Một giải pháp tự động tính toán phân tử bắn cho vũ khí - đạn không điều khiển”, Tuyển tập các báo cáo khoa học hội nghị khoa học ngành vũ khí, Trung tâm KH&CNQS, p.p 145-152, (2007).
- [13]. Nguyễn Vũ, Vũ Minh Khiêm, Nguyễn Hồng Sơn, “Giải pháp cho hệ thống 12,7mm tác chiến ngày và đêm”, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự, (2009).
- [14]. “Lý thuyết kích xạ pháo cao xạ”, Bộ Tư lệnh Phòng không – Không quân, (1975).

ABSTRACT

Building a pre-calculated parameters table for 23 mm air defense artilleries based on the equations of air resistance

This article researches, calculates, selects, and builds a pre-calculated anti-aircraft firing parameters table for 23 mm anti-aircraft guns based on the laws of warhead movement in the air environment under standard conditions by comparing research results with graphs and ground firing parameters tables available in the literature. Research results are calculated, simulated on MATLAB, and deployed on improved ZU23 systems.

Keywords: Anti-aircraft artillery; ZSU23; Firing parameters tables.