

MÔ HÌNH TOÁN VÀ PHƯƠNG PHÁP GIẢI BÀI TOÁN BẮN ĐÓN TRONG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN HỎA LỰC SÚNG MÁY PHÒNG KHÔNG TRÊN XE CHIẾN ĐẤU

MATHEMATICAL MODEL AND METHOD OF SOLVING THE PROBLEM OF INTERCEPTION IN THE FIRE CONTROL SYSTEM OF ANTI-AIR MACHINE GUNS ON COMBAT VEHICLES

ThS. Hoàng Văn Đáng, TS. Nguyễn Nam Quý, ThS. Nguyễn Vũ Hoài Nam

Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự

Email: nnq26021983@gmail.com

TÓM TẮT

Trong quá trình điều khiển hỏa lực súng máy phòng không trên xe chiến đấu cần giải quyết hai bài toán quan trọng, một trong số đó là xác định các góc dẫn hướng đảm bảo cho đạn chuyển động theo đúng quỹ đạo cần thiết để bắn trúng mục tiêu, bài toán còn lại là tìm kiếm thuật toán điều khiển để đưa súng tại thời điểm đạn ra khỏi nòng về đúng vị trí tương ứng với các góc dẫn hướng đã được xác định. Bài toán đầu tiên chỉ được giải quyết khi xác định được chính xác tọa độ trong không gian của điểm bắn đón. Bài báo này đề cập cách thiết lập mô hình toán và đưa ra phương pháp giải bài toán bắn đón áp dụng trong hệ thống điều khiển hỏa lực cho súng máy phòng không lắp đặt trên xe chiến đấu trong cả hai trường hợp khi xe chiến đấu đứng yên và khi đang hành tiến.

Từ khóa: Điểm bắn đón; Hệ thống điều khiển hỏa lực; Súng máy phòng không.

ABSTRACT

In the process of controlling the fire of an anti-aircraft machine gun mounted on a combat vehicle, two critical problems must be addressed. One is determining the lead angles to ensure that the projectile follows the correct trajectory to hit the target. The other is developing a control algorithm to move the gun, at the moment the bullet leaves the barrel, to the exact position corresponding to the previously determined lead angles. The first problem can only be solved once the coordinates of the aiming point in space are accurately determined. This paper discusses the formulation of a mathematical model and presents a method for solving the aiming problem, applicable to the fire control system of anti-aircraft machine guns mounted on combat vehicles, in both stationary and moving conditions.

Keywords: Interception point; Fire control system; Anti-aircraft machine gun.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình điều khiển hỏa lực cần giải quyết hai bài toán quan trọng, một trong số đó là xác định các góc dẫn hướng đảm bảo cho đạn chuyển động theo đúng quỹ đạo cần thiết để bắn trúng mục tiêu, bài toán còn lại là tìm kiếm thuật toán điều khiển để đưa súng tại thời điểm đạn ra khỏi nòng về đúng vị trí tương ứng với các góc dẫn hướng đã được xác định. Bài toán đầu tiên được gọi là bài toán bắn đón, còn bài toán thứ hai được gọi là bài toán dẫn hướng [1-3].

Việc giải quyết bài toán đầu tiên bao gồm các bước sau đây:

- Tính toán các tọa độ điểm bắn đón trong không gian theo các tọa độ hiện thời của mục tiêu và quy luật thay đổi của chúng, đây là điểm mà đạn và mục tiêu gặp nhau sau khi kết thúc thời gian bay của đạn (thời gian bắn đón);

- Xác định các góc dẫn hướng cho súng trên cơ sở các tọa độ bắn đón nhận được ở trên.

Trong phạm vi của bài báo này, chúng ta sẽ tiến hành thiết lập mô hình toán của bài toán bắn đón trong hệ thống điều khiển hỏa lực súng máy phòng không trên xe chiến đấu, phân tích và đưa ra phương pháp giải bài toán này trong các trường hợp khác nhau khi xe chiến đấu đứng yên, khi hành tiến và khi mục tiêu di động với tốc độ thay đổi.

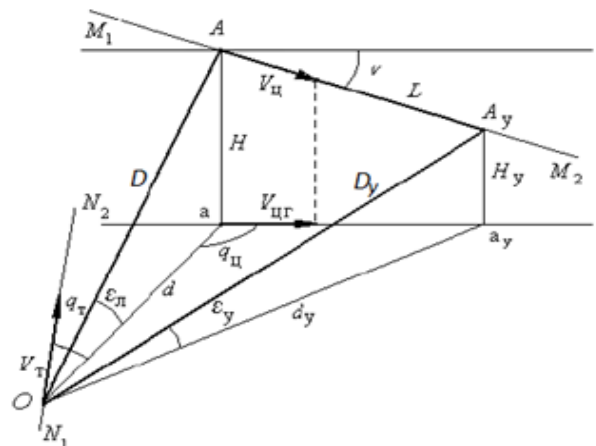
2. MÔ HÌNH TOÁN VÀ PHƯƠNG PHÁP GIẢI BÀI TOÁN BẮN ĐÓN TRONG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN HỎA LỰC SÚNG MÁY PHÒNG KHÔNG TRÊN XE CHIẾN ĐẤU

2.1. Thiết lập mô hình toán của bài toán bắn đón trong quá trình điều khiển hỏa lực súng máy phòng không trên xe chiến đấu

Nếu biết khoảng cách hiện thời tới mục tiêu $\bar{D}$ thì để tính toán các tọa độ điểm bắn đón, ta cần giải tam giác không gian OAA_y (Hình 1):

$$\bar{D} + \bar{L} = \bar{D}_y, \quad (1)$$

Trong đó, $\bar{L}$ là véc-tơ ngắm đón (quãng đường mục tiêu đi được trong thời gian đạn bay tới điểm bắn đón); $\bar{D}_y$ là véc-tơ khoảng cách ngắm đón.



Hình 1. Các tham số về vị trí tương đối giữa mục tiêu và xe chiến đấu:

M_1M_2 - Đường chuyển động của mục tiêu; N_1N_2 - Đường chuyển động của xe chiến đấu; OA - Đường ngắm; $O A_y$ - Đường bắn; D - Khoảng cách tới mục tiêu; D_y - Khoảng cách bắn đón; H - Độ cao của mục tiêu; H_y - Độ cao bắn đón mục tiêu.

Trong trường hợp chung, trị số của $\bar{L}$ được xác định theo công thức sau:

$$L = \int_0^{\tau_b} V_u(t) dt, \quad (2)$$

Trong đó, V_u là trị số hình chiếu véc-tơ tốc độ của mục tiêu trên hướng AA_y ; τ_b là thời gian bắn đón.

Để đảm bảo cho đạn gặp mục tiêu thì thời gian chuyển động của đạn và mục tiêu tới điểm bắn đón phải bằng nhau, do đó:

$$\tau_b = F_\tau(\bar{D}_y, f_{w,\varepsilon}), \quad (3)$$

Trong đó, F_τ là hàm thuật phóng xác định sự phụ thuộc của thời gian bắn τ_b vào khoảng cách bắn đón, các yếu tố khí tượng và địa hình ảnh hưởng tới quỹ đạo bay của đạn; $f_{w,\varepsilon}$ - Hệ số đặc trưng cho ảnh hưởng của các yếu tố địa hình, khí tượng và thuật phóng tới quỹ đạo bay của đạn.

Suy ra, để xác định các tọa độ của điểm bắn đón cần giải đồng thời các phương trình (1), (2), (3) đối với véc-tơ $\bar{D}_y$, tức là trên cơ sở giải phương trình:

$$\bar{D} + V_{y,\phi}(t)F_\tau(\bar{D}_y, f_{w,\varepsilon}) - \bar{D}_y = \bar{0} \quad (4)$$

Như vậy, quá trình xây dựng thuật toán giải bài toán bắn đón đòi hỏi phải thiết lập được các phương trình động học liên hệ các tọa độ bắn đón mục tiêu với các tham số chuyển động của xe chiến đấu và mục tiêu, cũng như các phương trình thuật phóng liên hệ các đại lượng thuật phóng với các tham số bắn đón. Việc giải các phương trình trên cho phép nhận được các mối liên hệ hình thức xác định các góc dẫn hướng của súng dưới dạng hàm của các đại lượng ảnh hưởng tới quỹ đạo chuyển động của đạn và của các tham số chuyển động của xe chiến đấu và mục tiêu.

2.2. Phương pháp giải bài toán bắn đón trong quá trình điều khiển hỏa lực súng máy phòng không trên xe chiến đấu

Việc xác định tọa độ bắn đón mục tiêu được thực hiện trên cơ sở giải phương trình véc-tơ (4). Để giải phương trình này, ta sử dụng phương pháp chiếu các phương trình lên các trục của một hệ tọa độ nào đó cho phép chuyển phương trình (4) thành hệ phương trình vô hướng.

Sử dụng các hệ tọa độ sau (Hình 2):

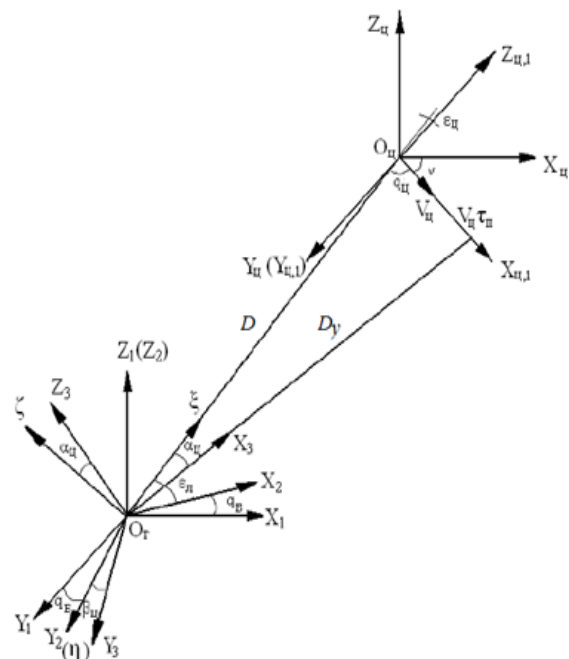
$O_T X_1 Y_1 Z_1$ - Hệ tọa độ vuông góc di động gắn với xe chiến đấu có các trục tạo thành hệ tọa độ trái (hệ tọa độ trái đất);

$O_T X_2 Y_2 Z_2$ - Hệ tọa độ vuông góc gắn với tháp pháo của xe chiến đấu và quay so với hệ $O_T X_1 Y_1 Z_1$ một góc q_B quanh trục $O_T Z_1$;

$O_T \xi \eta \zeta$ - Hệ tọa độ vuông góc gắn với đường ngắm và quay so với hệ $O_T X_2 Y_2 Z_2$ một góc $\varepsilon_{\mathcal{A}}$ quanh trục $O_T \eta$;

$O_T X_3 Y_3 Z_3$ - Hệ tọa độ vuông góc gắn với súng và quay so với hệ tọa độ $O_T \xi \eta \zeta$ một góc β_q quanh trục $O_T \zeta$ và góc α_q quanh trục $O_T Y_3$;

$O_u X_u Y_u Z_u$ - Hệ tọa độ vuông góc liên kết với mục tiêu.



Hình 2. Các hệ tọa độ được dùng để thiết lập hệ phương trình động học của bài toán bắn đón



2.2.1. Trường hợp xe chiến đấu đứng yên

Chúng ta sẽ tìm khoảng cách bắn đón và các phương trình động học đối với mục tiêu đang chuyển động với những giả thiết sau: mục tiêu chuyển động thẳng đều, các tham số chuyển động giữ nguyên trong thời gian bay của đạn; tốc độ chuyển động của xe $V_T = 0$.

Với những giả thiết trên thì phương trình véc-tơ (4) có thể được viết dưới dạng:

$$\bar{D} + \bar{V}_y(t)\tau_b - \bar{D}_y = 0, \quad (5)$$

Trong đó, $\bar{D} = D\bar{e}_\xi$; $\bar{D}_y = D_y\bar{e}_{X_3}$;

$\bar{V}_y = V_{y,\xi}\bar{e}_\xi + V_{y,\eta}\bar{e}_\eta + V_{y,\zeta}\bar{e}_\zeta$; $\bar{V}_{y,i}$ là các thành phần của véc-tơ tốc độ của mục tiêu; $\bar{e}_i$ - Véc-tơ đơn vị của trục i nào đó.

Khi xác định dấu của các góc ε_{JL} và α_y , chúng ta coi rằng chúng dương khi nâng đường ngắm (là âm khi hạ đường ngắm). Các góc q_b và β_y được coi là dương khi quay đường ngắm sang phải (là âm khi quay đường ngắm sang trái).

Chiếu phương trình (5) lên các trục của hệ tọa độ $O_T\xi\eta\zeta$, ta nhận được ba phương trình vô hướng sau:

$$\begin{aligned} D_y e_{X_3} e_\xi &= D e_\xi e_\xi + \tau_b (V_{y,\xi} e_\xi e_\xi + V_{y,\eta} e_\eta e_\xi + V_{y,\zeta} e_\zeta e_\xi), \\ D_y e_{X_3} e_\eta &= D e_\xi e_\eta + \tau_b (V_{y,\xi} e_\xi e_\eta + V_{y,\eta} e_\eta e_\eta + V_{y,\zeta} e_\zeta e_\eta), \\ D_y e_{X_3} e_\zeta &= D e_\xi e_\zeta + \tau_b (V_{y,\xi} e_\xi e_\zeta + V_{y,\eta} e_\eta e_\zeta + V_{y,\zeta} e_\zeta e_\zeta). \end{aligned}$$

Gọi A_1 là ma trận chuyển từ hệ tọa độ $O_T\xi\eta\zeta$ sang hệ tọa độ $O_T X_3 Y_3 Z_3$. A_1 là tích của hai ma trận A_α và A_β :

$$\begin{aligned} A_1 = A_\alpha \cdot A_\beta &= \begin{vmatrix} \cos\alpha_y & 0 & \sin\alpha_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\alpha_y & 0 & \cos\alpha_y \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\beta_y & \sin\beta_y & 0 \\ -\sin\beta_y & \cos\beta_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} \cos\alpha_y \cos\beta_y & \cos\alpha_y \sin\beta_y & 0 \\ -\sin\beta_y & \cos\beta_y & 0 \\ -\sin\alpha_y \cos\beta_y & -\sin\alpha_y \sin\beta_y & \cos\alpha_y \end{vmatrix} \end{aligned}$$

Và chú ý rằng $e_i e_j = 1$ khi $i = j$ và $e_i e_j = 0$ khi $i \neq j$, ta nhận được:

$$\begin{aligned} D_y \cos\alpha_y \cos\beta_y &= D + \tau_b V_{y,\xi}, \\ D_y \cos\alpha_y \sin\beta_y &= \tau_b V_{y,\eta}, \\ D_y \sin\alpha_y &= \tau_b V_{y,\zeta}. \end{aligned} \quad (6)$$

Giải hệ (6) đối với các biến là D_y , α_y và β_y , ta nhận được:

$$\begin{aligned} \tan\beta_y &= \frac{\tau_b V_{y,\eta}}{D + \tau_b V_{y,\xi}}; \\ \tan\alpha_y &= \frac{\tau_b V_{y,\zeta}}{D + \tau_b V_{y,\xi}} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_b V_{y,\eta}}{D + \tau_b V_{y,\xi}} \right)^2}}; \\ D_y &= (D + \tau_b V_{y,\xi}) \sqrt{\left(1 + \tan^2\alpha_y \right) \left(1 + \tan^2\beta_y \right)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Tiếp theo, chúng ta sẽ tìm biểu thức các thành phần tốc độ của mục tiêu qua các tham số xác định vị trí của véc-tơ tốc độ V_y trong hệ tọa độ gắn với đường ngắm.

Hình 2 thể hiện vị trí véc-tơ tốc độ V_y của mục tiêu so với các hệ tọa độ $O_T\xi\eta\zeta$ và $O_y X_y Y_y Z_y$, các trục của hệ này giữ nguyên không đổi trên mặt đất, ngoài ra, các trục $O_y X_y$ và $O_y Y_y$ trùng với mặt phẳng nằm ngang.

Trên Hình 2, hệ tọa độ $O_y X_{y1} Y_{y1} Z_{y1}$ gắn với mục tiêu và quay so với hệ $O_y X_y Y_y Z_y$ một góc ν (góc tạo bởi véc-tơ tốc độ với mặt phẳng ngang của Trái đất) quanh trục $O_y Y_{y1}$, quay so với hệ $O_T\xi\eta\zeta$ góc q_y quanh trục $O_y Z_{y1}$ và góc ε_y quanh trục $O_y Y_{y1}$.

Phương trình ma trận để xác định các thành phần của vec-tơ V_u có thể được viết dưới dạng:

$$\begin{bmatrix} V_{u,\xi} \\ V_{u,\eta} \\ V_{u,\zeta} \end{bmatrix} = A_\varepsilon A_q A_v \begin{bmatrix} V_{u,X} \\ V_{u,Y} \\ V_{u,Z} \end{bmatrix},$$

Trong đó, A_v - Ma trận chuyển từ hệ sang hệ $O_u X_u Y_u Z_u$ sang hệ $O_u X_{u1} Y_{u1} Z_{u1}$; A_ε, A_q - Các ma trận chuyển từ hệ $O_u X_{u1} Y_{u1} Z_{u1}$ sang hệ $O_T \xi \eta \zeta$.

Sử dụng quy ước xác định dấu các góc như trên cũng như các quy tắc biến đổi ma trận, ta xác định được tích các ma trận $A = A_\varepsilon A_q A_v$ như sau:

$$A = A_\varepsilon A_q A_v = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_y & 0 & \sin \varepsilon_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varepsilon_y & 0 & \cos \varepsilon_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos q_y & \sin q_y & 0 \\ -\sin q_y & \cos q_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos v & 0 & -\sin v \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varepsilon_y & 0 & \cos \varepsilon_y \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_y \cos q_y \cos v + \sin \varepsilon_y \sin v & \cos \varepsilon_y \sin q_y & -\cos \varepsilon_y \cos q_y \sin v + \sin \varepsilon_y \cos v \\ -\sin q_y \cos v & \cos q_y & \sin q_y \sin v \\ -\sin \varepsilon_y \cos q_y \cos v + \cos \varepsilon_y \sin v & -\sin \varepsilon_y \sin q_y & \sin \varepsilon_y \cos q_y \sin v + \cos \varepsilon_y \cos v \end{bmatrix}$$

Vì $V_{u,X} = V_u$, còn $V_{u,Y} = V_{u,Z} = 0$, nên biểu thức các thành phần tốc độ của mục tiêu có thể được viết dưới dạng:

$$\begin{aligned} V_{u,\xi} &= V_u (\cos \varepsilon_y \cos q_y \cos v + \sin \varepsilon_y \sin v); \\ V_{u,\eta} &= V_u \sin q_y \sin v; \\ V_{u,\zeta} &= V_u (\cos \varepsilon_y \sin v - \sin \varepsilon_y \cos q_y \cos v). \end{aligned} \quad (8)$$

2.2.2. Trường hợp xe chiến đấu hành tiến

Các phương trình (7) đúng đối với xe chiến đấu đứng yên. Trong trường hợp bắn khi hành tiến để khử ảnh hưởng của tốc độ chuyển động của chính xe chiến đấu tới tốc độ đầu nòng của đạn, cũng có nghĩa là tới sự thay đổi quỹ đạo của đạn, thì cần đưa vào các lượng hiệu chỉnh động học.

Để tìm các lượng hiệu chỉnh này, ta sử dụng phương trình véc-tơ:

$$\bar{V}_c = \bar{V}_0 + \bar{V}_T, \quad (9)$$

Trong đó, $\bar{V}_0 = V_0 \bar{e}_{X3}$; $\bar{V}_T = V_T \bar{e}_{X1}$; $\bar{V}_c$ - Véc-tơ tốc độ đầu nòng của đạn.

Chiếu phương trình (9) lên các trục của hệ tọa độ $O_T X_3 Y_3 Z_3$, ta nhận được:

$$\begin{aligned} V_{c,X3} &= V_0 e_{X3} e_{X3} + V_T e_{X1} e_{X3}, \\ V_{c,Y3} &= V_0 e_{X3} e_{Y3} + V_T e_{X1} e_{Y3}, \\ V_{c,Z3} &= V_0 e_{X3} e_{Z3} + V_T e_{X1} e_{Z3}. \end{aligned} \quad (10)$$

Ma trận chuyển từ hệ tọa độ $O_T X_1 Y_1 Z_1$ sang hệ tọa độ $O_T X_3 Y_3 Z_3$ được xác định như sau: $A_2 = A_1 A_{\varepsilon_\pi} A_{q_B}$, trong đó:

$$A_{\varepsilon_\pi} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_\pi & 0 & \sin \varepsilon_\pi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varepsilon_\pi & 0 & \cos \varepsilon_\pi \end{bmatrix};$$

$$A_{q_B} = \begin{bmatrix} \cos q_B & \sin q_B & 0 \\ -\sin q_B & \cos q_B & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

ε_π - Góc nâng của đường ngắm so với trục dọc của tháp pháo; q_B - Góc hướng của xe chiến đấu (góc quay của tháp pháo).

Sử dụng các quy tắc biến đổi ma trận và kết hợp với (10), ta nhận được:

$$\begin{aligned} V_{c,X3} &= V_0 + V_T (\cos \alpha_y \cos \beta_y \cos \varepsilon_\pi \cos q_B - \cos \alpha_y \sin \beta_y \sin q_B - \sin \alpha_y \sin \varepsilon_\pi \cos q_B), \\ V_{c,Y3} &= -V_T (\cos \beta_y \sin q_B + \sin \beta_y \cos \varepsilon_\pi \cos q_B), \\ V_{c,Z3} &= -V_T (\sin \alpha_y \cos \beta_y \cos \varepsilon_\pi \cos q_B + \cos \alpha_y \sin \varepsilon_\pi \sin q_B - \sin \alpha_y \sin \beta_y \sin q_B). \end{aligned} \quad (11)$$

Biểu thức nhận được cho phép xác định sự thay đổi tốc độ đầu nòng của đạn trong mặt phẳng ngang và mặt phẳng thẳng đứng. Ảnh

hường của các thay đổi này tới độ chính xác bắn có thể được tính tới bằng cách đưa lượng hiệu chỉnh tương ứng vào các góc ngắm động học, các lượng hiệu chỉnh được xác định theo các công thức sau:

$$\alpha_c = -\arctan \frac{V_{c,Z3}}{V_{c,X3}}; \beta_c = -\arctan \frac{V_{c,Y3}}{V_{c,X3}},$$

Trong đó α_c và β_c là lượng hiệu chỉnh tương ứng đối với góc α_u và β_u .

Ngoài ra, tốc độ V_T của xe chiến đấu đang chuyển động cũng ảnh hưởng tới sự thay đổi tốc độ đầu nòng của đạn, đại lượng này có thể được xác định từ biểu thức: $\delta V_0 = V_{c,X3} - V_0$, trong đó V_0 là tốc độ đầu nòng của đạn khi $V_T = 0$.

Do các đại lượng α_u và α_c , β_c và β_u từng cặp không phụ thuộc lẫn nhau nên các phương trình động học của bài toán bắn đón trong trường hợp chung là xe chiến đấu chuyển động có thể được viết dưới dạng:

$$\alpha_k = \alpha_u + \alpha_c;$$

$$\beta_k = \beta_u + \beta_c;$$

$$D_y = (D + V_{u,\xi} \tau_b) \sqrt{(1 + \tan^2 \alpha_k)(1 + \tan^2 \beta_k)}. \quad (12)$$

2.2.3. Trường hợp tốc độ mục tiêu thay đổi

Tiếp theo, chúng ta sẽ thiết lập các phương trình động học của bài toán bắn đón trong trường hợp tốc độ của mục tiêu thay đổi theo thời gian.

Giả thiết rằng tốc độ của mục tiêu, ví dụ, trong mặt phẳng ngang, được mô tả bởi đa thức bậc n như sau:

$$V_y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n,$$

Trong đó, a_i - Các hệ số cố định là các tham số của quy luật chuyển động, giá trị của chúng được xác định trên cơ sở đo đạc tọa độ hiện thời của mục tiêu trong quá trình bám.

Giả sử rằng trong trường hợp này quỹ đạo chuyển động của mục tiêu là một đường thẳng. Khi đó, bằng cách sử dụng sơ đồ tính toán tọa độ điểm ngắm được trình bày ở trên, ta nhận được biểu thức để tính toán các góc ngắm như sau:

$$\alpha_u = \frac{\int_0^{\tau_b} V_{y,\xi}(t) dt}{D(t_B) + \int_0^{\tau_b} V_{y,\xi}(t) dt};$$

$$\beta_u = \frac{\int_0^{\tau_b} V_{y,\eta}(t) dt}{D(t_B) + \int_0^{\tau_b} V_{y,\xi}(t) dt},$$

Trong đó, $D(t_b)$ là khoảng cách từ xe tới mục tiêu tại thời điểm bắn.

Việc sử dụng các công thức trên để xây dựng thuật toán ngoại suy có nhiều đặc điểm liên quan tới tính chất thay đổi tọa độ hiện thời của mục tiêu.

Trong các hệ thống điều khiển tổ hợp pháo trên xe chiến đấu hiện đại thì việc bám mục tiêu được thực hiện theo góc bởi vì các đại lượng đo đạc được không phải là các tham số tuyến tính của mục tiêu, mà là các tham số góc.

Sử dụng phương trình liên kết cơ bản giữa tốc độ góc và tốc độ tuyến tính có thể viết:

$$\omega_\eta(t) = \frac{V_{y,\eta}(t)}{D(t)} = \frac{a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n}{D(t)}. \quad (13)$$

Ta sẽ sử dụng các ký hiệu sau:

$$\omega_0 = \frac{a_0}{D(t)}; \omega^{(1)} = \frac{a_1}{D(t)}; \omega^{(2)} = \frac{a_2}{D(t)}; \dots; \omega^{(n)} = \frac{a_n}{D(t)},$$

Khi đó:

$$\omega_\eta(t) = \omega_0 + \omega^{(1)}t + \omega^{(2)}t^2 + \dots + \omega^{(n)}t^n.$$

Để nhận thấy rằng, khác với các tham số chuyển động tuyến tính, các tham số chuyển động góc của mục tiêu không phải là các đại lượng cố định mà là các hàm của thời gian.

Thế (13) vào công thức tính góc β_q và thực hiện tích phân, ta nhận được:

$$\beta_q = \left(\omega_0 \tau_b + \omega^{(1)} \frac{\tau_b^2}{2} + \omega^{(2)} \frac{\tau_b^3}{3!} + \dots + \omega^{(n)} \frac{\tau_b^{n+1}}{(n+1)!} \right) \frac{D(t_B)}{D_y}, \quad (14)$$

$$\text{Trong đó, } D_y = D(t_B) + \int_0^{\tau_b} V_{y,\xi}(t) dt.$$

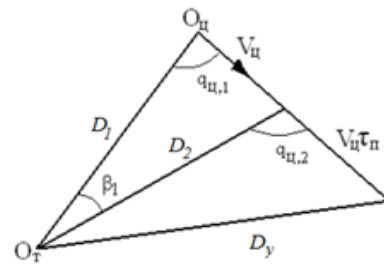
Vì các phương pháp xác định các tham số chuyển động của mục tiêu đều được xây dựng trên cơ sở vi phân nhiều lần tọa độ hiện thời của mục tiêu nên việc tính góc β_q theo công thức (14) luôn kèm theo sai số phương pháp do sự phụ thuộc của các tham số chuyển động góc của mục tiêu vào thời gian. Ngoài ra, trị số của các sai số này phụ thuộc đáng kể vào khoảng tốc độ chuyển động của mục tiêu và giả thiết được chấp nhận. Thực vậy, giả sử, ví dụ mục tiêu chuyển động với gia tốc không đổi, nghĩa là $V(t) = a_0 + a_1 t$. Khi đó, áp dụng phép vi phân đối với (13) có thể dễ dàng thấy rằng sai số phương pháp trong xác định gia tốc góc a_1 sẽ là:

$$\delta_M = \omega_\eta(t) \frac{1}{D(t)} \left(\frac{dD}{dt} \right)_\xi,$$

Trong đó, $\left(\frac{dD}{dt} \right)_\xi$ là tốc độ thay đổi khoảng cách từ xe tới mục tiêu trên hướng ngắm.

Tiếp theo, chúng ta sẽ xem xét một cách tiếp cận khác để xây dựng thuật toán ngoại suy các quy luật chuyển động của mục tiêu trên cơ sở tính toán các tham số tuyến tính của nó tại những thời điểm rời rạc.

Giả sử rằng mục tiêu chuyển động với gia tốc không đổi với góc hướng như minh họa trên Hình 3.



Hình 3. Cách thiết lập thuật toán bắn đón khi mục tiêu chuyển động thẳng với gia tốc không đổi

Trong trường hợp này $V_{u,\eta} = V_u \sin q_u$, $V_{u,\xi} = V_u \cos q_u$ và $V_{u,\zeta} = 0$. Suy ra, phương trình góc ngắm đón β_q có dạng:

$$\beta_q = \frac{V_u \tau_b \sin q_2 + a \frac{\tau_b^2}{2} \sin q_2}{D_2 - \left(V_2 \tau_b \cos q_2 + a \frac{\tau_b^2}{2} \cos q_2 \right)}, \quad (15)$$

Trong đó, chỉ số “2” tương ứng với giá trị các đại lượng $V_u(t)$, $D(t)$, và $q_u(t)$ tại thời điểm tiến hành phát bắn t_B .

Nhận thấy rằng, trong trường hợp $V_{u,\zeta} \neq 0$ thì có thể nhận được công thức tính β_q từ (15) bằng cách thay thế $V_{u,\eta}$ bởi $V_{u,\zeta}$.

Giả thiết rằng, để xác định các đại lượng chưa biết trong biểu thức (15), chúng ta có thông tin về giá trị của tốc độ góc ω_q (ω_1, ω_2)

và khoảng cách D (D_1, D_2) tại hai thời điểm liên tiếp t_1 và $t_2 = t_B$ ($t_2 > t_1$).

Theo sơ đồ chuyển động của mục tiêu được minh họa trên Hình 3, ta có hai đẳng thức hiển nhiên sau:

$$\omega_1 D_1 = V_1 \sin q_1; \quad (16)$$

$$\omega_2 D_2 = V_2 \sin q_2, \quad (17)$$

Trong đó, $q_2 = q_1 + \beta_1$; $V_2 = V_1 + at_{2-1}$; $t_{2-1} = t_2 - t_1$.

Kết hợp với các biểu thức đã được trình bày ở trên, ta có thể biến đổi (17) về dạng:

$$\omega_2 D_2 = V_1 \sin(q_1 + \beta_1) + at_{2-1} \sin q_2.$$

Do $q \gg \beta_1$ nên có thể coi rằng $\beta_1 = 0$, từ biểu thức trên nhận được:

$$a \sin q_2 = \frac{\omega_2 D_2 - \omega_1 D_1}{t_{2-1}}. \quad (18)$$

Thế (18) vào (15), ta tìm được:

$$\beta_y = \frac{\omega_2 D_2 \tau_b}{D_y} + \frac{\omega_2 D_2 - \omega_1 D_1}{D_y t_{2-1}} \frac{\tau_b^2}{2}, \quad (19)$$

Trong đó, D_y là mẫu số của (15), nghĩa là:

$$D_y = D_2 - \left(V_2 \tau_b \cos q_2 + a \frac{\tau_b^2}{2} \cos q_2 \right).$$

Trong phương trình trên tiến hành thay thế $V_2 = V_1 + at_{2-1}$ và cũng coi rằng $\beta_1 = 0$, khi đó ta nhận được:

$$D_y = D_2 - \left(V_1 \tau_b \cos q_1 + a \cos q_1 t_{2-1} \tau_b + a \frac{\tau_b^2}{2} \cos q_1 \right). \quad (20)$$

Ta sẽ biểu diễn $V_1 \cos q_1$ và $a \cos q_1$ qua

các đại lượng đo đạc được là $\omega_1, \omega_2, D_1, D_2$. Để làm điều này thì cùng với việc chấp nhận giả thiết rằng $q_1 = q_2$, ta cần sử dụng hệ gồm 4 phương trình sau:

$$\omega_2 D_2 = V_1 \sin q_1 + at_{2-1} \sin q_1;$$

$$\omega_1 D_1 = V_1 \sin q_1;$$

$$a \sin q_1 = \frac{\omega_2 D_2 - \omega_1 D_1}{t_{2-1}}; \quad (21)$$

$$D_2 - D_1 = V_1 \cos q_1 + a \frac{\tau_{2-1}^2}{2} \cos q_1.$$

Giải hệ (21) với đối số là các đại lượng cần tìm, ta nhận được:

$$V_1 \cos q_1 = \frac{2(D_2 - D_1)\omega_1 D_1}{t_{2-1}(\omega_2 D_2 + \omega_1 D_1)}; \quad a \cos q_1 = \frac{2(D_1 - D_2)(\omega_2 D_2 - \omega_1 D_1)}{(t_{2-1})^2(\omega_2 D_2 + \omega_1 D_1)}.$$

Sau khi thế các biểu thức tìm được của $V_1 \cos q_1$ và $a \cos q_1$ vào công thức tính D_y , ta nhận được:

$$D_y = D_2 - \frac{D_1 - D_2}{t_{2-1}} \left(\frac{2\omega_2 D_2 \tau_b}{\omega_2 D_2 + \omega_1 D_1} + \frac{\omega_2 D_2 - \omega_1 D_1}{\omega_2 D_2 + \omega_1 D_1} \frac{\tau_b^2}{t_{2-1}} \right) \quad (22)$$

Bằng cách so sánh thuật toán vừa nhận được để xác định tọa độ bắn đón của mục tiêu là (19) và (22) với thuật toán sử dụng các tham số chuyển động góc của mục tiêu, mà đối với quy luật chuyển động đang được xem xét thì các tham số này có dạng:

$$D_y = D_2 - \frac{D_1 - D_2}{t_{2-1}} \tau_b; \quad \beta_y = \left(\omega_2 \tau_b + \omega^{(1)} \frac{\tau_b^2}{2} \right) \frac{D_2}{D_y}, \quad (23)$$

trong đó, $\omega^{(1)} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_{2-1}}$.

3. KẾT LUẬN

Việc sử dụng các giả thiết phức tạp hơn về quy luật chuyển động của mục tiêu, và cùng với đó là phải vi phân nhiều lần để xác định các tham số của nó, dẫn tới tăng rất mạnh các sai số phương pháp. Vì vậy, biểu thức (14) chỉ được

sử dụng một cách hạn chế để ngoại suy các quy luật chuyển động phức tạp.

Việc sử dụng các tham số chuyển động tuyến tính của mục tiêu để xác định β_u và D_y cho phép giảm sai số tính toán tọa độ bắn đón do xác định chính xác hơn gia tốc chuyển động của mục tiêu, cũng như do giảm được sai số tính tới sự thay đổi của khoảng cách tới mục tiêu trong thời gian ngắm đón.

Bài báo đã đưa ra mô hình toán của bài toán bắn đón trong quá trình điều khiển hỏa lực súng máy phòng không trên xe chiến đấu và phân tích phương pháp giải bài toán này nhằm xác định tọa độ trong không gian của điểm bắn đón trong những trường hợp cụ thể khi xe chiến đấu đứng yên, xe chiến đấu hành tiến và khi tốc độ mục tiêu thay đổi.

Kết quả của bài báo đã được áp dụng trong quá trình lập trình phần mềm xác định phần tử bắn của hệ thống điều khiển hỏa lực cho súng máy phòng không 12,7mm đặt trên xe chiến đấu. Kết quả bài báo là một phần nội dung của đề tài mã số 24.TXM.04 do Học viện Kỹ thuật quân sự quản lý. ❖

Ngày nhận bài: **16/7/2025**

Ngày phản biện: **06/8/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trịnh Trung Hiếu, Hoàng Văn Đáng, Nguyễn Nam Quý, Đoàn Văn Dũng (2020), “*Giáo trình cơ sở điều khiển hỏa lực*”. NXB. Quân đội nhân dân.
- [2]. Nguyễn Hải Minh, Lê Minh Thái, Nguyễn Quang Tuấn (2019), “*Mô tả toán học quá trình điều khiển súng pháo của xe chiến đấu*”. NXB. Quân đội nhân dân.
- [3]. Захаров Д. Н. Погодаев Д. В. (2010), “*Автоматические системы управления вооружениями*”. Омск.

