

Giải pháp tạo góc nâng và góc đón cho pháo phòng không khi đài quan sát đặt trên kênh tâm của pháo

Lê Danh Tuấn*, Phạm Thị Phương Anh

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: ledanhtuan@gmail.com

Nhận bài: 29/12/2023; Hoàn thiện: 06/3/2024; Chấp nhận đăng: 14/3/2024; Xuất bản: 01/4/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.CAPITI.2024.133-139>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày giải pháp thực thi phần tử bắn cho hệ thống điều khiển hỏa lực khi bộ phận pan-tilt của đài quan sát được bố trí trực tiếp trên kênh tâm của pháo và bộ phận đặt trên phương tiện cơ động. Ở trường hợp này góc lệch giữa đường ngắm và đường bắn chính là góc nâng và góc đón trong phần tử bắn trong hệ tọa độ thành phần cố định mặt đất. Bài báo đã xây dựng cơ sở toán học để tính toán góc quay của hệ pan-tilt sao cho thỏa mãn góc nâng và góc đón cho trước. Các kết quả của bài báo được chứng minh toán học chặt chẽ và được thể hiện trên một số ví dụ và sẽ được ứng dụng trong các hệ thống điều khiển hỏa lực có hệ pan-tilt đặt trên kênh tâm của pháo.

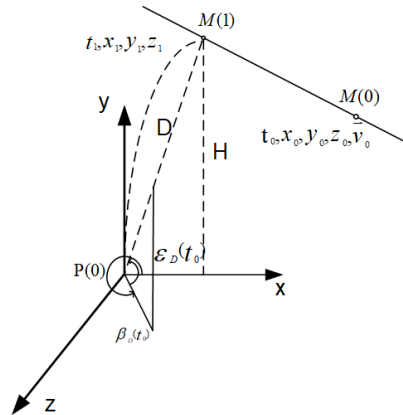
Từ khóa: Góc O le; Hệ thống điều khiển hỏa lực; Tham số bắn.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các hệ thống điều khiển hỏa lực sử dụng trình sát quang điện tử (QĐT) thường có một số cấu hình như: đài quan sát (ĐQS) bố trí độc lập như các hệ thống điều khiển trận địa PPK 37 mm và 57 mm [1]; ĐQS bố trí trên tháp pháo như các loại kính ngắm trên xe tăng [2]; hệ QĐT bố trí gắn chặt trên nòng pháo như pháo phòng không (PPK) Zu23-2N ML do Israel cung cấp hiện đang được trang bị trên tàu của lực lượng cảnh sát biển [3]. Dù được bố trí như thế nào thì nhiệm vụ của ĐQS là xác định các tham số mục tiêu để tính toán phần tử bắn đón. Phần tử bắn (PTB) được xác định bao gồm hai thành phần: góc hướng và góc tầm mong muốn của pháo. PTB theo hướng được xác định bằng góc hướng tới mục tiêu và góc đón, PTB theo tầm được xác định bằng góc tầm của mục tiêu và góc nâng. Trong trường hợp ĐQS gắn liền với nòng pháo, khối tính toán phần tử bắn chỉ cần tính toán góc đón và góc nâng cho pháo, còn góc hướng và góc tầm của mục tiêu chính là góc hướng và góc tầm của ĐQS. Đó chính là một ưu điểm của cấu hình này. Như vậy, để pháo có góc hướng và góc tầm như mong muốn, chỉ cần luôn điều khiển sao cho chữ thập ngắm của hệ quang điện tử luôn bám sát mục tiêu, còn trục của nòng pháo lệch với trục của chữ thập ngắm một góc bằng góc đón và góc nâng theo chiều ngang và chiều thẳng đứng. Tuy nhiên điều này chỉ đúng với điều kiện pháo luôn ở trạng thái thẳng bằng. Trong trường hợp pháo đặt trên các phương tiện cơ động, do ảnh hưởng của độ nghiêng của phương tiện, độ lệch theo kênh tâm và kênh hướng giữa chữ thập ngắm với nòng pháo chỉ thể hiện góc lệch trong hệ tọa độ nòng pháo mà sẽ khác với góc lệch trong hệ tọa độ cố định mặt đất. Điều này dẫn đến sai số của góc bắn, làm giảm hiệu quả tiêu diệt mục tiêu. Ngoài ra, trong trường hợp mục tiêu bay với vận tốc lớn, góc đón và góc nâng sẽ lớn và có thể nằm ngoài trường nhìn của hệ QĐT. Để khắc phục nhược điểm này, hệ QĐT cần được gắn lên một ĐQS với chữ thập ngắm cố định theo trục quang của hệ QĐT, còn góc tầm và góc hướng của bộ sẽ là góc lệch giữa đường ngắm và góc trục nòng pháo trong hệ tọa độ nòng pháo. Để đảm bảo điều này cần xây dựng cơ sở lý luận để đưa lượng bù phần tử bắn vào tạo góc lệch giữa ĐQS và nòng pháo. Báo cáo này sẽ giải quyết vấn đề này, tập trung vào việc tính toán góc lệch giữa trục nòng pháo với trục của hệ QĐT sao cho thỏa mãn góc nâng và góc đón do khối tính toán PTB đưa ra.

2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

2.1. Sơ lược về phương pháp tính toán PTB



Hình 1. Sơ đồ tính toán phân tử bắn (PTB).

Phân tử bắn tại thời điểm t_0 được xác định sao cho thoả mãn điều kiện nếu phát bắn được thực hiện tại thời điểm t_0 thì đến thời điểm t_1 đạn pháo sẽ bay tới vị trí M_1 trong không gian, trong khi đó tại thời điểm t_0 mục tiêu nằm ở vị trí $M_0(x_0, y_0, z_0)$ với vận tốc v_x, v_y, v_z thì đến thời điểm t_1 mục tiêu cũng sẽ bay tới vị trí M_1 . Nói cách khác, mục tiêu và đạn pháo gặp nhau tại điểm M_1 vào thời điểm t_1 . Điểm M_1 và t_1 đều là ẩn số. Bảng bắn cung cấp các thông tin cơ bản như sau:

- Đầu vào: Khoảng cách và độ cao của điểm đạn đi qua (điểm M_1) so với điểm đặt pháo P_0 ký hiệu là D và H .

- Đầu ra: Độ lệch góc của nòng pháo so với góc của đường $P_0 M_1$ trong hệ tọa độ mặt đất; khoảng thời gian đạn bay từ điểm P_0 đến điểm M_1 (t_d).

Với những thông tin từ bảng bắn, ta có thể sử dụng phương pháp nhích dần để xác định phân tử bắn cho thời điểm t_0 theo thuật toán sau:

1/ Đọc thông số đầu vào: $M_0(x_0, y_0, z_0)$; v_x, v_y, v_z với giả thiết v_x, v_y, v_z là hằng số

2/ Chọn một thời điểm t_1 bất kỳ xác định $\Delta t = t_1 - t_0$

+ Xác định tọa độ mục tiêu tại thời điểm t_1 :

$$x_1 = x_0 + v_x(t_1 - t_0)$$

$$y_1 = y_0 + v_y(t_1 - t_0)$$

$$z_1 = z_0 + v_z(t_1 - t_0)$$

+ Xác định D và H :

$$D = \sqrt{(x_1 - x_p)^2 + (y_1 - y_p)^2 + (z_1 - z_p)^2}$$

$$H = y_1 - y_p$$

3/ Từ D và H ta xác định được thời gian đạn bay theo bảng bắn t_d . So sánh t_d với Δt để thay đổi t_1

$|t_d - \Delta t| \leq \sigma$ Điểm đạn gặp mục tiêu là điểm M_1 , dừng tính toán và chuyển sang bước 4;

$|t_d - \Delta t| > \sigma$ Chọn thời điểm $t_1 = t_0 + t_d$ và quay lại thực hiện bước 2.

4/ Tính toán góc pháo

- Xác định độ lệch của nòng pháo so với đường $P_0 M_1$ β_y và ϵ_y .

- Tính toán góc của đường $P_0 M_1$:

$$\varepsilon = \arcsin \frac{H}{D}$$

$$\beta = \arctan 2 \left[(z_p - z_1), (x_1 - x_p) \right]$$

- Tính toán phần tử bắn:

$$\beta_{ptb} = \beta + \beta_y; \quad \varepsilon_{ptb} = \varepsilon + \varepsilon_y$$

Giá trị σ được chọn sao cho thỏa mãn điều kiện:

$$\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} * \sigma \leq \frac{1}{2} L, \quad L \text{ là độ dài mục tiêu}$$

Trong trường hợp pháo di động, phần tử bắn cũng được tính toán tương tự với tọa độ pháo x_p, y_p, z_p được xác định theo từng thời điểm tính toán. Việc đảm bảo góc pháo hướng theo PTB trong trường hợp đài quan sát đặt trên kênh tâm của pháo sẽ được trình bày dưới đây.

2.2. Tính toán các góc mong muốn của ĐQS đặt trên nòng pháo

Như đã trình bày ở mục trên, để đảm bảo khả năng bắn mục tiêu di động, trục quang của hệ QĐT phải luôn hướng vào mục tiêu, trong lúc đó trục của nòng pháo phải luôn lệch với trục quang của hệ QĐT một góc đón và góc nâng do hệ thống tính toán phần tử bắn đưa ra. Tuy nhiên, các góc này được tính trong hệ tọa độ mặt đất cố định, trong khi đó các góc của ĐQS mà hệ QĐT được gắn lên lại nằm trong hệ tọa độ nòng pháo, do đó, các góc tâm và góc hướng của ĐQS không phản ánh đúng góc nâng và góc đón mong muốn.

Gọi β_q, ε_q thứ tự là góc phương vị và góc tâm của bệ pan-tilt của ĐQS, β_y, ε_y thứ tự là đón và góc nâng của phần tử bắn. Khi đó, trong điều kiện pháo ở trạng thái thăng bằng, chúng thỏa mãn đẳng thức sau:

$$\begin{aligned} \beta_q &= -\beta_y \\ \varepsilon_q &= -\varepsilon_y \end{aligned} \quad (1)$$

Tuy nhiên, trong trường hợp bệ pháo không thăng bằng, do ảnh hưởng của các góc O le giữa bệ pháo và hệ tọa độ cố định mặt đất, góc lệch giữa trục quang của hệ QĐT so với góc của trục nòng pháo trong hệ tọa độ cố định mặt đất sẽ khác với các giá trị góc phương vị và tâm của bệ pan-tilt. Như vậy, cần xác định các góc β_q, ε_q của bệ pan-tilt sao cho góc lệch giữa trục quang của hệ QĐT so với góc của trục nòng pháo trong hệ tọa độ cố định mặt đất sẽ là β_y, ε_y . Để xác định được các góc này, xem xét trong các hệ tọa độ sau:

Hệ tọa độ cố định mặt đất $O_i X_i Y_i Z_i$ là hệ tọa độ gắn với tâm pháo, có trục $O_i X_i$ hướng về phía Đông, trục $O_i Y_i$ hướng về phía Bắc, trục $O_i Z_i$ hướng lên trên.

Hệ tọa độ bệ pháo $O_b X_b Y_b Z_b$ là hệ tọa độ nhận được từ hệ tọa độ cố định mặt đất sau khi quay theo các góc O le $(\phi_b \quad \theta_b \quad \psi_b)^T$.

Hệ tọa độ phương vị pháo $O_p X_p Y_p Z_p$ là hệ tọa độ nhận được từ hệ tọa độ bệ pháo sau khi quay theo các góc O le $(0 \quad 0 \quad \psi_p)^T$.

Hệ tọa độ tà pháo $O_t X_t Y_t Z_t$ là hệ tọa độ nhận được từ hệ tọa độ phương vị pháo sau khi quay theo các góc O le $(0 \quad \theta_t \quad 0)^T$.

Hệ tọa độ phương vị bệ pan-tilt $O_a X_a Y_a Z_a$ là hệ tọa độ nhận được từ hệ tọa độ tà pháo sau khi quay theo các góc O le $(0 \quad 0 \quad \beta_q)^T$.

Hệ tọa độ tà bệ pan-tilt $O_e X_e Y_e Z_e$ là hệ tọa độ nhận được từ hệ tọa độ phương vị bệ pan-tilt sau khi quay theo các góc Ô le $(0 \ \varepsilon_q \ 0)^T$.

β_t, θ_t thứ tự là góc phương vị và góc tầm của mục tiêu trong hệ tọa độ cố định mặt đất, phần tử bắn được xác định là β_y, ε_y . Vậy cần phải xác định các góc β_q, ε_q sao cho khi trục quang của hệ QĐT hướng vào mục tiêu thì trục của nòng pháo sẽ lệch so với trục quang các góc β_y, ε_y trong hệ tọa độ cố định mặt đất, sử dụng các véc tơ đơn vị sau:

η_t là véc tơ đơn vị của đường nối trục tọa độ với mục tiêu, trong hệ tọa độ tà bệ pan-tilt nó có giá trị như sau:

$$\eta_t^e = (1 \ 0 \ 0)^T \quad (2)$$

Đồng thời trong hệ tọa độ mặt đất nó có giá trị như sau:

$$\eta_t^i = (\cos \theta_t \cos \beta_t \quad \cos \theta_t \sin \beta_t \quad -\sin \theta_t)^T \quad (3)$$

η_{ptb} là véc tơ đơn vị của trục nòng pháo khi trùng với phần tử bắn, trong hệ tọa độ mặt đất nó có giá trị như sau:

$$\eta_{ptb}^i = (\cos(\theta_t + \varepsilon_y) \cos(\beta_t + \beta_y) \quad \cos(\theta_t + \varepsilon_y) \sin(\beta_t + \beta_y) \quad -\sin(\theta_t + \varepsilon_y))^T \quad (4)$$

Đồng thời, trong hệ tọa độ tà nó có giá trị như sau:

$$\eta_{ptb}^t = (1 \ 0 \ 0)^T \quad (5)$$

Góc quay của hệ truyền động phương vị và hệ truyền động tầm sao cho góc của nòng pháo trong hệ tọa độ cố định mặt đất trùng với góc bắn đón, thực hiện các bước tiếp theo.

Xác định giá trị véc tơ η_{ptb} trong hệ tọa độ bệ pháo. Vì hệ tọa độ bệ pháo có các góc Ô le so với hệ tọa độ cố định mặt đất thứ tự là ψ_b, θ_b và ϕ_b nên ta nhận được phương trình sau:

$$\eta_{ptb}^b = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_b & \sin \phi_b \\ 0 & -\sin \phi_b & \cos \phi_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_b & 0 & -\sin \theta_b \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_b & 0 & \cos \theta_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi_b & \sin \psi_b & 0 \\ -\sin \psi_b & \cos \psi_b & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \eta_{ptb}^t \quad (6)$$

Với η_{ptb}^t xác định theo (4).

Trong phương trình (6), tất cả các biến đều xác định nên η_{ptb}^b cũng hoàn toàn xác định. Để tiện trình bày, đặt các thành phần của η_{ptb}^b là $x_\eta^b, y_\eta^b, z_\eta^b$:

$$\eta_{ptb}^b = (x_\eta^b \ y_\eta^b \ z_\eta^b)^T \quad (7)$$

Giá trị véc tơ η_{ptb} trong hệ tọa độ tà được trình bày trong công thức (5). Vì hệ tọa độ tà có các góc Ô le tương đối với hệ tọa độ bệ pháo là ψ_p và θ_t nên tương tự như (6) ta có phương trình sau:

$$\eta_{ptb}^t = \begin{bmatrix} \cos \theta_t & 0 & -\sin \theta_t \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_t & 0 & \cos \theta_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi_p & \sin \psi_p & 0 \\ -\sin \psi_p & \cos \psi_p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \eta_{ptb}^b \quad (8)$$

Triển khai (8) nhận được:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_t \cos \psi_p & \cos \theta_t \sin \psi_p & -\sin \theta_t \\ -\sin \psi_p & \cos \psi_p & 0 \\ \sin \theta_t \cos \psi_p & \sin \theta_t \sin \psi_p & \cos \theta_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\eta^b \\ y_\eta^b \\ z_\eta^b \end{bmatrix} \quad (9)$$

Phương trình (9) có hai ẩn. Tiếp tục biến đổi ta nhận được hai phương trình sau:

$$-\sin \psi_p x_\eta^b + \cos \psi_p y_\eta^b = 0 \quad (10)$$

$$\sin \theta_t \cos \psi_p x_\eta^b + \sin \theta_t \sin \psi_p y_\eta^b + \cos \theta_t z_\eta^b = 0 \quad (11)$$

Từ phương trình (10) xác định được góc phương vị của pháo ψ_p :

$$\operatorname{tg} \psi_p = \frac{y_\eta^b}{x_\eta^b} \text{ hay } \psi_p = \operatorname{arctg} \frac{y_\eta^b}{x_\eta^b} \quad (12)$$

Sau một số phép biến đổi (11) có tính đến (12) nhận được:

$$\sin \theta_t x_\eta^b + \cos \theta_t \cos \psi_p z_\eta^b = 0 \quad (13)$$

Từ (13) xác định θ_t :

$$\operatorname{tg} \theta_t = -\frac{z_\eta^b}{x_\eta^b} \cos \left(\operatorname{arctg} \frac{y_\eta^b}{x_\eta^b} \right) \text{ hay } \theta_t = \operatorname{arctg} \left(-\frac{z_\eta^b}{x_\eta^b} \cos \left(\operatorname{arctg} \frac{y_\eta^b}{x_\eta^b} \right) \right) \quad (14)$$

Như vậy, góc tâm và góc hướng của pháo hoàn toàn xác định bằng các công thức (4), (6), (7), (12) và (14), nó phụ thuộc vào phân tử bắn và các góc O le của bộ pháo so với hệ tọa độ cố định mặt đất.

Vấn đề tiếp theo là xác định các góc hướng và góc tâm của bộ pan-tilt. Để xác định các góc này ta coi trục quang của hệ QĐT trùng với đường ngắm tới mục tiêu. Tương tự như xác định góc của pháo, các bước sau sẽ được thực hiện để xác định các góc quay của bộ pan-tilt. Trước tiên xác định các thành phần của véc tơ η_t trong hệ tọa độ bộ pháo:

$$\eta_t^b = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_b & \sin \phi_b \\ 0 & -\sin \phi_b & \cos \phi_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_b & 0 & -\sin \theta_b \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_b & 0 & \cos \theta_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi_b & \sin \psi_b & 0 \\ -\sin \psi_b & \cos \psi_b & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \eta_t^i \quad (15)$$

Vì hệ tọa độ ta có các góc O le tương đối với hệ tọa độ bộ pháo là ψ_p và θ_t nên tương tự như (15) ta có phương trình sau:

$$\eta_t^t = \begin{bmatrix} \cos \theta_t & 0 & -\sin \theta_t \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_t & 0 & \cos \theta_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi_p & \sin \psi_p & 0 \\ -\sin \psi_p & \cos \psi_p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \eta_t^b = \begin{bmatrix} x_\eta^t \\ y_\eta^t \\ z_\eta^t \end{bmatrix} \quad (16)$$

Các góc O le của các ma trận cosin định hướng trong (16) đã được xác định trong (12) và (14) nên các thành phần của véc tơ η_t^t hoàn toàn xác định.

Vì hệ tọa độ ta bộ pan-tilt có các góc O le tương đối với hệ tọa độ ta pháo là β_q và ε_q nên tương tự như (6) ta có phương trình sau:

$$\eta_t^e = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_q & 0 & -\sin \varepsilon_q \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varepsilon_q & 0 & \cos \varepsilon_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta_q & \sin \beta_q & 0 \\ -\sin \beta_q & \cos \beta_q & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \eta_t^t \quad (17)$$

Triển khai (17) nhận được:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_q \cos \beta_q & \cos \varepsilon_q \sin \beta_q & -\sin \varepsilon_q \\ -\sin \beta_q & \cos \beta_q & 0 \\ \sin \varepsilon_q \cos \beta_q & \sin \varepsilon_q \sin \beta_q & \cos \varepsilon_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\eta^b \\ y_\eta^b \\ z_\eta^b \end{bmatrix} \quad (18)$$

Phương trình (18) có hai ẩn. Tiếp tục biến đổi ta nhận được hai phương trình sau:

$$-\sin \beta_q x_\eta^t + \cos \beta_q y_\eta^t = 0 \quad (19)$$

$$\sin \varepsilon_q \cos \beta_q x_\eta^t + \sin \varepsilon_q \sin \beta_q y_\eta^t + \cos \varepsilon_q z_\eta^t = 0 \quad (20)$$

Từ phương trình (19) xác định được góc phương vị của bộ pan-tilt β_q :

$$\operatorname{tg} \beta_q = \frac{y_\eta^t}{x_\eta^t} \text{ hay } \beta_q = \operatorname{arctg} \frac{y_\eta^t}{x_\eta^t} \quad (21)$$

Sau một số phép biến đổi (20) có tính đến (21) nhận được:

$$\sin \varepsilon_q x_\eta^t + \cos \varepsilon_q \cos \beta_q z_\eta^t = 0 \quad (22)$$

Từ (22) xác định ε_q :

$$\operatorname{tg} \varepsilon_q = -\frac{z_\eta^t}{x_\eta^t} \cos \left(\operatorname{arctg} \frac{y_\eta^t}{x_\eta^t} \right) \text{ hay } \varepsilon_q = \operatorname{arctg} \left(-\frac{z_\eta^t}{x_\eta^t} \cos \left(\operatorname{arctg} \frac{y_\eta^t}{x_\eta^t} \right) \right) \quad (23)$$

Như vậy, góc tầm và góc hướng của bộ pan-tilt của ĐQS hoàn toàn được xác định theo các công thức (21) và (23). Khi trục của hệ QĐT hướng tới mục tiêu với các góc hướng và góc tầm xác định theo (21) và (23) thì nòng pháo sẽ hướng đúng theo phần tử bắn mong muốn. Tổng hợp các nội dung trên thành các bước xác định các giá trị β_q và ε_q như sau:

Nạp các tham số đầu vào từ hệ thống đo lường và tính toán phần tử bắn theo các công thức ở trên: $\beta_t, \theta_t, \phi_b, \theta_b, \psi_b, \beta_y, \varepsilon_y$. Các tham số được tính toán theo các công thức, η_t^i và η_{ptb}^i theo (3), (4), η_{ptb}^b và η_t^b theo (6), (15), ψ_p và θ_t theo (12), (14), η_t^t theo (16), β_q và ε_q theo (21), (23). Đưa β_q và ε_q ra, kết thúc một chu kỳ tính.

2.3. Một số ví dụ

Dưới đây sẽ trình bày một số kết quả tính toán xác định β_q và ε_q theo các giá trị đầu vào: $\beta_t, \theta_t, \phi_b, \theta_b, \psi_b, \beta_y, \varepsilon_y$. Kết quả tính được thể hiện trên bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Kết quả tính toán β_q và ε_q .

STT	β_y	ε_y	β_t	θ_t	ϕ_b	θ_b	ψ_b	β_q	ε_q	$\Delta\beta$	$\Delta\varepsilon$
1	0.262	-0.157	0	-0.523	0.349	-0.174	0	-0.259	0.061	-0.003	-0.096
2	0.262	-0.157	0	-0.523	-0.349	0.174	0	-0.141	0.227	-0.121	0.070
3	0.262	-0.157	0	-0.523	-0.349	-0.174	0	-0.145	0.224	-0.117	0.040
4	0.262	-0.157	0	-0.523	0.349	0.174	0	-0.266	0.013	0.004	-0.144
5	0.262	-0.157	0	-0.523	0.349	0.174	1.047	-0.255	0.078	-0.007	-0.079
6	0.262	-0.157	0	-0.523	0.349	-0.174	-1.047	-0.218	0.154	-0.044	-0.003
7	0.262	-0.157	1.047	-0.523	0.349	0.174	0	-0.256	0.074	-0.006	-0.083
8	0.262	-0.157	0	-0.785	0.349	-0.174	0	-0.222	0.067	-0.040	-0.090
9	0.262	-0.157	0	-0.523	0.349	0	0	-0.263	0.040	0.001	-0.117
10	0.262	-0.157	0	-0.523	0	-0.174	0	-0.221	0.150	-0.041	-0.007
11	0.262	-0.157	0	-0.523	0	0	0	-0.228	0.138	-0.034	-0.019

Kết quả tính toán bảng 1 cho thấy, với cùng một góc đón và góc nâng, với cùng một tọa độ mục tiêu, đối với các góc O le của hệ tọa độ bộ pháo khác nhau, các góc lệch cần có giữa trục quang của hệ QĐT với góc của nòng pháo để đảm bảo cho nòng pháo có góc đúng bằng góc bắn đón cũng khác nhau, độ khác nhau nằm trong dải từ vài đơn vị cho đến hàng trăm phần nghìn radian, tương đương từ vài li góc tới hàng trăm li góc theo cả kênh hướng và kênh tầm của bộ pan-tilt. Nếu không tính tới sai lệch này thì độ tản mát của đạn khi bắn sẽ rất lớn, hiệu quả tiêu diệt mục tiêu sẽ không cao.

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã giải quyết vấn đề tính toán góc của bộ pan-tilt ĐQS khi đặt trên kênh tầm của pháo. Kết quả đã được chứng minh toán học chặt chẽ và đã được kiểm chứng bằng một số ví dụ mô phỏng. Các kết quả này sẽ là cơ sở để cải tiến các hệ thống điều khiển hỏa lực PPK Zu23-2N đặt trên tàu cảnh sát biển, khi chúng phải hoạt động trong điều kiện sóng gió, bộ pháo lắc lư theo dao động của sà lan.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. “Đại đội PPK 37 mm-2N tác chiến ngày và đêm”, Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự, (2005).
- [2]. “Solutions for MBT and Armored Vehicles Fire Control Systems”. <http://www.Indracompany.com>.
- [3]. Tài liệu pháo 23 mm-2M và 23 mm- 2M1 lắp trên tàu CSB, Tập 1&2, Cục KT, BTL CSB, (2017).
- [4]. “37 mm Light anti-aircraft weapon study”. [http:// apps.dtic.mil](http://apps.dtic.mil).

ABSTRACT

Solution to create elevation and reception angles for anti-aircraft defenses when the observatory is placed on the gun's range channel

The article presents a solution for implementing the firing part for the fire control system when the observation post's pan-tilt platform is arranged directly on the artillery's range channel and the artillery platform is placed on a mobile vehicle. In this case, the angle of deviation between the line of sight and the line of fire is the elevation angle and pickup angle in the firing element in the ground fixed component coordinate system. The article has built a mathematical basis to calculate the rotation angle of the pan-tilt system to satisfy the given elevation and pickup angles. The results of the article are rigorously mathematically proven and shown on a number of examples and will be applied in fire control systems with pan-tilt systems placed on the gun's range channel.

Keywords: Euler angles; Fire control systems; Firing parameters.