

Giải pháp tích hợp hệ thống tự động ổn định với hệ thống điều khiển hỏa lực nguyên bản trên pháo phòng không gắn trên phương tiện mang hoạt động trên mặt nước

Trương Tất Thuận*, Lê Việt Hồng, Vũ Hải Hà

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: thuan.truongtat@gmail.com

Nhận bài: 12/01/2024; 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.2024.19-25>

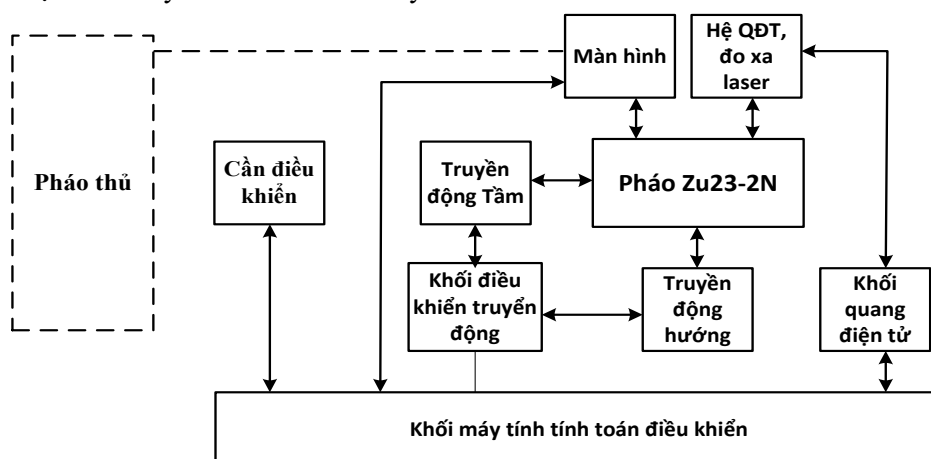
TÓM TẮT

Bài báo trình bày giải pháp nâng cấp hệ thống điều khiển hỏa lực của pháo phòng không (PPK) được nước ngoài nâng cấp từ hệ thống PPK cũ hiện đang được trang bị cho tàu cảnh sát biển trên cơ sở tích hợp hệ thống tự động ổn định với hệ thống điều khiển bám hiện có. Bằng cách tính toán gián tiếp lượng bù vận tốc theo các kênh truyền động hướng và tầm qua các tham số góc O le của sàn tàu và các góc của hệ truyền động pháo, bài báo đề xuất giải pháp giữ nguyên hệ thống điều khiển hỏa lực hiện có kết hợp với bổ sung lượng bù ngay tại đầu ra của cần điều khiển. Giải pháp đã được chứng minh toán học chặt chẽ.

Từ khóa: Góc O le; Hệ thống điều khiển hỏa lực; Ổn định đường ngắm.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Pháo phòng không là một trong các loại vũ khí phòng không tầm thấp hiệu quả trong nhiều cuộc chiến tranh và hiện nay vẫn được nhiều nước trên thế giới sử dụng và nghiên cứu cải tiến, nâng cấp [1]. Các phiên bản nâng cấp đều hướng tới trang bị hệ thống quan sát ngày-đêm, đo xa la-de (hệ thống quang điện tử-QĐT) và hệ thống truyền động điện điều khiển tại chỗ hoặc từ xa [2]. Trong đó có những phiên bản nâng cấp do nước ngoài chuyển giao cho lực lượng cảnh sát biển (CSB) Việt Nam và hiện đang được trang bị trên một số loại tàu CSB [3]. PPK nâng cấp được trang bị hệ thống camera ngày-đêm và đo xa la-de, hệ thống máy tính tính toán phần tử bắn cùng màn hình điều khiển, hệ thống truyền động điện điều khiển trực tiếp theo kênh tầm và kênh hướng, hệ thống phát hỏa sử dụng cơ và cơ điện. Trên màn hình hình ảnh mục tiêu cùng chữ thập ngắm và các tham số hệ thống được hiển thị, giúp cho pháo thủ có thể điều khiển bám bắt mục tiêu, xác định cự ly mục tiêu và khai hỏa tiêu diệt mục tiêu. Hệ thống điều khiển PPK nâng cấp có sơ đồ cấu trúc được trình bày trên hình 1 dưới đây.



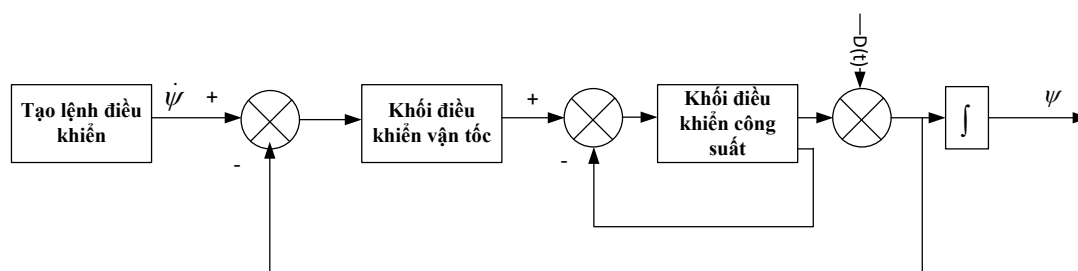
Hình 1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển PPK nâng cấp.

Hệ thống điều khiển PPK nâng cấp có đặc điểm là khối QĐT được gắn chặt trực tiếp lên kênh tầm của pháo, sao cho trục quang học của hệ QĐT song song với trục cơ của nòng pháo. Pháo thủ dùng cần điều khiển để sục sạo phát hiện mục tiêu. Khi chưa có tham số phân tử bắn, chữ thập ngắm nằm ở trọng tâm của màn hình, có nghĩa là nằm ở tâm trục quang học của hệ QĐT. Khi phát hiện mục tiêu, pháo thủ dùng cần điều khiển để điều khiển đồng thời cả kênh tầm và hướng sao cho mục tiêu nằm ở tâm màn hình, chữ thập ngắm sẽ nằm đè lên mục tiêu. Khi đó, vì mục tiêu nằm trên trục quang của hệ QĐT nên có thể dùng đo xa la-de để xác định cự ly mục tiêu. Sau khi có cự ly của mục tiêu, khối tính toán điều khiển sẽ tính toán phân tử bắn, điều khiển chữ thập ngắm lệch khỏi tâm màn hình một khoảng tương đương với góc nâng và góc đón, nhưng theo chiều ngược lại, có nghĩa là tâm màn hình hay trục của nòng pháo sẽ lệch khỏi mục tiêu một khoảng bằng góc nâng và góc đón của phân tử bắn. Khi đó, nếu mục tiêu nằm trên chữ thập ngắm, pháo thủ có thể kích hoạt cò điện để khai hỏa tiêu diệt mục tiêu. Tuy nhiên, nếu mục tiêu chuyển động, để xác định cự ly mục tiêu ta cần điều khiển sao cho mục tiêu rời khỏi chữ thập ngắm về tâm màn hình. Sau khi lấy được cự ly mục tiêu, lại tiếp tục điều khiển để mục tiêu nằm trùng lên chữ thập ngắm. Quá trình này lặp đi lặp lại, gây khó khăn cho việc bám sát mục tiêu, đặc biệt khi mục tiêu cơ động nhanh. Do đó, PPK nâng cấp chỉ thích hợp bắn mục tiêu cố định, khi mục tiêu di động thì hiệu quả bắn thấp. Ngoài ra, khi đặt trên tàu biển, do tác động của sóng, gió, góc của nòng pháo, và vì vậy, góc của trục quang của hệ QĐT luôn dao động theo độ lắc của tàu, do đó, việc điều khiển pháo theo đúng hướng mong muốn để xác định cự ly mục tiêu cũng như tiến hành xạ kích hết sức phức tạp, nhiều khi không thể thực hiện được. Do đó, việc nâng cấp nâng cấp hệ thống điều khiển nâng cấp là hết sức cần thiết và là đòi hỏi của thực tế. Báo cáo này không có tham vọng giải quyết hết các vấn đề đặt ra mà chỉ giải quyết vấn đề ổn định nòng pháo để có thể xạ kích trong điều kiện cơ động và chịu ảnh hưởng của sóng gió. Báo cáo sẽ trình bày việc tích hợp hệ thống điều khiển với hệ thống tự động ổn định để đảm bảo khả năng tác chiến trong điều kiện bộ pháo dao động.

2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

2.1. Hệ thống điều khiển hiện tại

Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển PPK nâng cấp được trình bày trên hình 1, sau khi khảo sát cụ thể chức năng của các khối, hệ thống điều khiển được cụ thể hóa theo từng kênh với sơ đồ nguyên lý như trên hình 2 dưới đây.

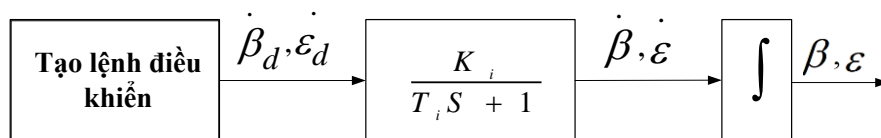


Hình 2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển PPK nâng cấp.

Trong sơ đồ nguyên lý trên hình 2, hệ thống điều khiển vị trí của nòng pháo là vòng điều khiển hở, sử dụng phản hồi là pháo thủ để đưa chữ thập ngắm hoặc điểm tâm màn hình trùng với hình ảnh mục tiêu. Pháo thủ bằng quan sát mắt trên màn hình xác định sai lệch giữa mục tiêu và chữ thập ngắm để đưa ra lệnh điều khiển dưới dạng điện áp đầu ra của cần điều khiển, mà ý nghĩa vật lý của nó là vận tốc của hệ truyền động tương ứng. Mỗi giá trị điện áp sẽ tương đương với một vận tốc của cơ cấu chấp hành, và cuối cùng là vận tốc của pháo theo kênh tầm và kênh hướng của nó. Mạch điều khiển bám vận tốc của PPK nâng cấp được tích hợp trong hệ thống nhưng và khó can thiệp để thay đổi. Tuy nhiên, kết quả khảo sát cho thấy, đây là một hệ thống điều khiển bám vận tốc có chất lượng cao, và có thể coi vòng điều khiển vận tốc là một khâu quán tính bậc nhất với

hằng số thời gian là $T=0.05s$, vận tốc tối đa theo kênh tâm là $60^0/s$, vận tốc tối đa theo kênh hướng là $90^0/s$, điện áp điều khiển tỷ lệ với vận tốc đầu ra, điện áp tối đa là 5VDC.

Như vậy, có thể vẽ lại sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển đơn giản hơn theo hình 3 dưới đây.



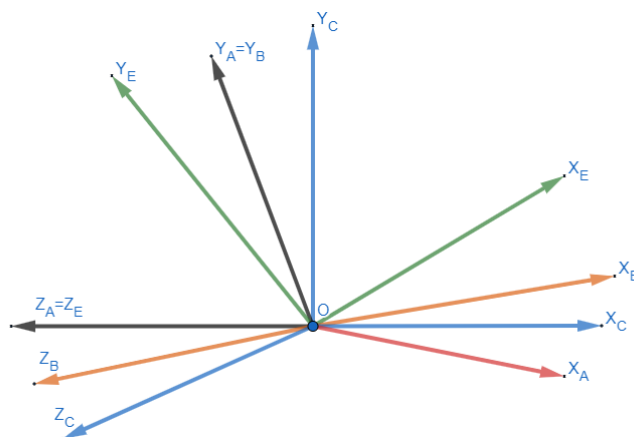
Hình 3. Sơ đồ nguyên lý tương đương của hệ thống điều khiển.

Các biến $\dot{\beta}_d$ và $\dot{\epsilon}_d$ là giá trị đặt của vận tốc kênh hướng và kênh tâm của hệ truyền động, $\dot{\beta}_s^b$ và $\dot{\epsilon}_s^b$ là vận tốc của các kênh tương ứng, β_p^b và ϵ_p^b là góc tâm và góc hướng của pháo trong hệ tọa độ bệ pháo. Khi pháo đặt trên phương tiện cơ động, do ảnh hưởng của dao động của bệ đặt pháo, các góc β_p^b và ϵ_p^b không phải là góc tâm và góc hướng trong hệ tọa độ cố định mặt đất. Để có thể ổn định được góc hướng và góc tâm của pháo trong hệ tọa độ mặt đất cần tích hợp hệ thống ổn định vào hệ thống điều khiển có sẵn. Vấn đề này sẽ được trình bày dưới đây.

2.2. Tích hợp hệ thống ổn định pháo vào hệ thống điều khiển sẵn có

2.2.1. Động hình học của hệ thống ổn định trục nòng pháo

Giả sử cảm biến quán tính được đặt trên phương tiện di động, tức là đặt trên đế của pháo, hay đặt trên sàn tàu, nòng pháo được điều khiển bởi hệ truyền động phương vị và hệ truyền động tâm. Để xây dựng động hình học của hệ thống ta sử dụng các hệ tọa độ sau: Hệ tọa độ quán tính I, hệ tọa độ quán tính di động hay hệ tọa độ chuẩn C, hệ tọa độ đế hay hệ tọa độ gắn liền B, hệ tọa độ kênh phương vị pháo A, hệ tọa độ kênh tâm pháo E như trên hình 4 dưới đây.



Hình 4. Các hệ tọa độ được sử dụng.

Hệ tọa độ chuẩn là hệ tọa độ có tâm trùng với trọng tâm của phương tiện mang, có trục OX_C song song với đường vĩ tuyến, hướng về phía đông, trục OZ_C song song với đường kinh tuyến, hướng theo hướng nam, trục OY_C hướng lên trên kết hợp cùng các trục OX_C và OZ_C tạo thành một tam diện thuận.

Hệ tọa độ gắn liền là hệ tọa độ có tâm trùng với trọng tâm của phương tiện mang, có trục OX_B nằm trong mặt phẳng đối xứng của phương tiện mang, vuông góc với mặt phẳng cắt ngang và hướng về phía trước, trục OY_B nằm trong giao của mặt phẳng đối xứng và mặt phẳng cắt ngang của phương tiện mang và hướng lên phía trên, trục OZ_B kết hợp cùng các trục OX_B và OZ_B tạo thành một tam diện thuận.

Hệ tọa độ phương vị là hệ tọa độ có tâm nằm trên trục quay hướng của pháo, có trục $O_A X_A$ nằm trong mặt phẳng đối xứng của pháo, vuông góc với trục quay hướng và hướng về phía trước, trục $O_A Y_A$ trùng với trục quay hướng và hướng lên phía trên, trục $O_A Z_A$ kết hợp cùng các trục $O_A X_A$ và $O_A Y_A$ tạo thành một tam diện thuận.

Hệ tọa độ tầm là hệ tọa độ có tâm nằm trên trục quay tâm của pháo, có trục $O_E X_E$ nằm trong mặt phẳng đối xứng của pháo, vuông góc với trục quay tâm và hướng về phía trước theo hướng của nòng pháo, trục $O_E Y_E$ vuông góc với trục quay tâm và trục $O_E X_E$ và hướng lên phía trên, trục $O_E Z_E$ kết hợp cùng các trục $O_E X_E$ và $O_E Y_E$ tạo thành một tam diện thuận.

Mặc dù nhìn chung các hệ tọa độ có tâm không trùng nhau, tuy nhiên, vì bài toán ổn định không quan tâm đến tọa độ dài nên để tiện trình bày đồng thời không mất tính tổng quát, có thể coi các tâm này trùng nhau. Ký hiệu chung tâm của các hệ tọa độ là điểm O .

Các góc O -le liên kết các hệ tọa độ với nhau theo thứ tự quay theo trục Y , quay theo trục Z và quay theo trục X là:

$$\theta_{YC}^B, \theta_{ZC}^B, \theta_{XC}^B, \theta_{YB}^A, \theta_{ZA}^E \text{ các góc } O\text{-le khác bằng } 0 \text{ (} \theta_{ZB}^A = \theta_{XB}^A = \theta_{YA}^E = \theta_{XA}^E = 0 \text{)}.$$

Giả sử cảm biến quán tính đặt trên phương tiện mang, đo được tốc độ góc của hệ tọa độ gắn liền trong hệ tọa độ chuẩn. Tốc độ góc của các hệ tọa độ so với hệ tọa độ chuẩn được ký hiệu như sau:

$$\omega_B = (\omega_{BX} \quad \omega_{BY} \quad \omega_{BZ})^T : \text{Tốc độ góc của hệ tọa độ gắn liền.}$$

$$\omega_A = (\omega_{AX} \quad \omega_{AY} \quad \omega_{AZ})^T : \text{Tốc độ góc của hệ tọa độ phương vị.}$$

$$\omega_E = (\omega_{EX} \quad \omega_{EY} \quad \omega_{EZ})^T : \text{Tốc độ góc của hệ tọa độ tầm.}$$

Góc O le giữa hệ tọa độ phương vị với hệ tọa độ gắn liền là $\theta_{YB}^A, \theta_{YB}^A$ được thay đổi nhờ hệ truyền động phương vị. Góc O le giữa hệ tọa độ tầm với hệ tọa độ phương vị là $\theta_{ZA}^E, \theta_{ZA}^E$ được thay đổi nhờ hệ truyền động tầm. Như vậy, tốc độ góc của hệ tọa độ phương vị và hệ tọa độ tầm được xác định từ tốc độ góc của hệ tọa độ gắn liền, các góc O le và tốc độ góc của hệ truyền động tầm và hướng:

$$\omega_A = T_B^A (\theta_{YB}^A) \omega_B + \dot{\Theta}_B^A, \quad \Theta_B^A = (0 \quad \theta_{YB}^A \quad 0)^T \quad (1)$$

$$\omega_E = T_A^E (\theta_{ZA}^E) \omega_A + \dot{\Theta}_A^E, \quad \Theta_A^E = (0 \quad 0 \quad \theta_{ZA}^E)^T \quad (2)$$

Với
$$T_B^A = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

Và
$$T_A^E = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon & \sin \varepsilon & 0 \\ -\sin \varepsilon & \cos \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Trong (3) và (4) sử dụng các ký hiệu: $\beta = \theta_{YB}^A$ và $\varepsilon = \theta_{ZA}^E$.

Để tiện trình bày, sử dụng các ký hiệu sau: $\theta_2 = \theta_{YC}^B, \theta_3 = \theta_{ZC}^B, \theta_1 = \theta_{XC}^B$.

Triển khai biểu thức (1) có tính đến (3) nhận được:

$$\begin{cases} \omega_{AX} = \omega_{BX} \cos \beta - \omega_{BZ} \sin \beta \\ \omega_{AY} = \omega_{BY} + \dot{\beta} \\ \omega_{AZ} = \omega_{BX} \sin \beta + \omega_{BZ} \cos \beta \end{cases} \quad (5)$$

Triển khai biểu thức (2) có tính đến (4) và (5) nhận được:

$$\begin{cases} \omega_{EX} = (\omega_{BX} \cos \beta - \omega_{BZ} \sin \beta) \cos \varepsilon + (\omega_{BY} + \dot{\beta}) \sin \varepsilon \\ \omega_{EY} = -(\omega_{BX} \cos \beta - \omega_{BZ} \sin \beta) \sin \varepsilon + (\omega_{BY} + \dot{\beta}) \cos \varepsilon \\ \omega_{EZ} = \omega_{BX} \sin \beta + \omega_{BZ} \cos \beta + \dot{\varepsilon} \end{cases} \quad (6)$$

Phương trình (6) là cơ sở để xác định các giá trị đầu vào cho các hệ truyền động để điều khiển các góc phương vị và góc tầm trong không gian quán tính. Trong chế độ ổn định, tốc độ góc của hệ tọa độ tầm trong không gian quán tính thỏa mãn:

$$\omega_{EY} = 0, \omega_{EZ} = 0. \quad (7)$$

Để thỏa mãn điều kiện (7), giá trị tốc độ góc của các hệ truyền động được xác định như sau:

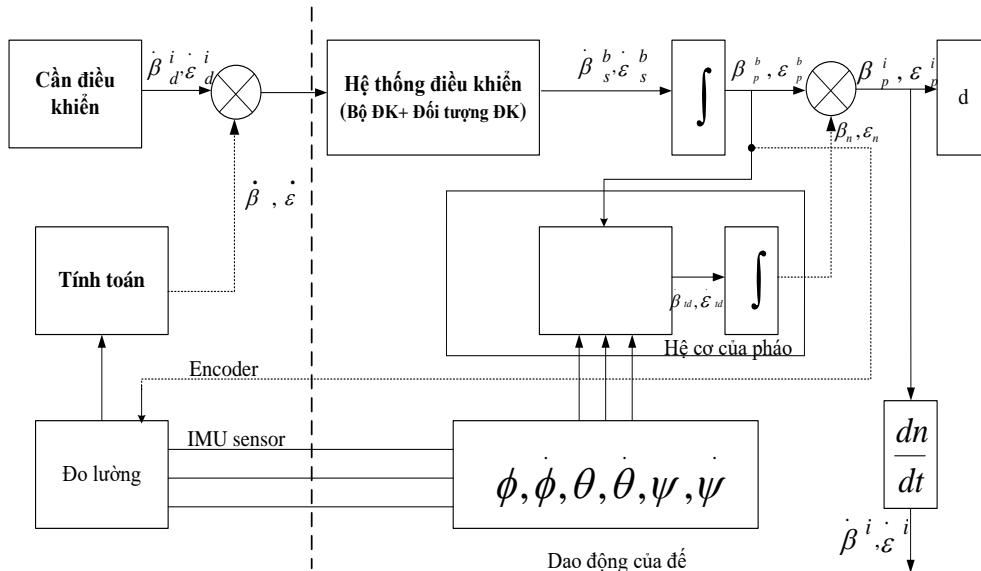
$$\dot{\beta} = \text{tg} \varepsilon (\omega_{BX} \cos \beta - \omega_{BZ} \sin \beta) - \omega_{BY} \quad (8)$$

$$\dot{\varepsilon} = -(\omega_{BX} \sin \beta + \omega_{BZ} \cos \beta) \quad (9)$$

Từ (8) ÷ (9) nhận thấy vận tốc góc mong muốn nhằm ổn định trục của nòng pháo phụ thuộc vào vận tốc góc của phương tiện mang và các góc O-le của các hệ tọa độ và đạo hàm của nó. Đây là các tham số cần đo trong hệ thống để có thể tích hợp hệ thống ổn định pháo vào hệ thống điều khiển sẵn có.

2.2.2. Tích hợp chức năng ổn định vào hệ thống điều khiển hiện có

Như phân tích ở trên, hệ thống điều khiển hiện có là hệ thống điều khiển bám vận tốc, mà vận tốc đặt chính là giá trị điện áp của cần điều khiển, phản hồi vị trí được thực hiện qua người điều khiển. Trong điều kiện đặt trên mặt đất, giá trị điện áp cần điều khiển đưa ra chính là vận tốc góc của nòng pháo theo các kênh phương vị và kênh tầm trong không gian quán tính. Khi chưa có chức năng ổn định, vận tốc góc của nòng pháo theo các kênh phương vị và kênh tầm trong không gian quán tính sẽ là tổng vận tốc mong muốn (vận tốc tạo ra bởi cần điều khiển) và vận tốc không mong muốn, hay nhiễu đầu ra, tạo ra bởi sự quay của hệ tọa độ gắn liền so với hệ tọa độ quán tính. Như vậy, để bù nhiễu đầu ra, cần đưa giá trị vận tốc được tính toán trong (8) và (9) cộng với giá trị điện áp cần điều khiển để đưa vào đầu vào của hệ thống điều khiển. Như vậy, hệ thống điều khiển sẽ có sơ đồ cấu trúc như trong hình 5.



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển và ổn định.

Hoạt động của sơ đồ trên được mô tả cụ thể như sau:

Đầu ra của cần điều khiển là β_d^i và ε_d^i là vận tốc góc mong muốn theo kênh phương vị và kênh tầm trong không gian quán tính, chúng được cộng với các giá trị bù dao động của bộ được đưa ra từ khối tính toán lượng bù là β và ε , đó là vận tốc cần thiết để đảm bảo cho nòng pháo ổn định trong hệ tọa độ chuẩn.

Tổng giá trị vận tốc mong muốn được đưa vào hệ thống điều khiển sẵn có, hệ thống này đảm bảo đầu ra là vận tốc các hệ truyền động theo kênh phương vị β_s^b và tầm ε_s^b bám theo giá trị đầu vào $\beta_s^b \rightarrow \beta_d^i + \beta$ và $\varepsilon_s^b \rightarrow \varepsilon_d^i + \varepsilon$, qua khâu tích phân sẽ là giá trị góc của bộ truyền động phương vị β_p^b và tầm ε_p^b , các góc này cộng với thành phần nhiễu đầu ra do các góc Ổ le của bộ gây ra là β_n và ε_n tạo thành các góc của nòng pháo trong không gian quán tính β_p^i và ε_p^i . Khối đo lường sẽ đo các tham số quán tính của bộ ω_B và đo góc của các kênh truyền động β_p^b và ε_p^b , qua khối tính toán để xác định lượng bù là β và ε , $\beta = -\beta_n$ và $\varepsilon = -\varepsilon_n$.

Đối với kênh phương vị, vận tốc góc của nòng pháo trong không gian quán tính được xác định như sau:

$$\dot{\beta}_r^i = \dot{\beta}_s^b + \dot{\beta}_n \quad (10)$$

Trong khi đó, hệ thống điều khiển đang sử dụng đảm bảo điều kiện hội tụ với chất lượng đảm bảo phục vụ tác chiến:

$$\dot{\beta}_s^b \rightarrow \dot{\beta}_d^i + \dot{\beta} \quad (11)$$

Đồng thời, vận tốc tính toán để bù cho góc phương vị được xác định như sau:

$$\dot{\beta} = -\dot{\beta}_n \quad (12)$$

Kết hợp (10) với (11) và (12) nhận được:

$$\dot{\beta}_r^i \rightarrow \dot{\beta}_d^i \quad (13)$$

Điều kiện (13) chứng tỏ nòng pháo sẽ chuyển động trong không gian quán tính với vận tốc tiệm cận đến vận tốc mong muốn do cần điều khiển tạo ra với chất lượng của hệ điều khiển ban đầu. Như vậy, sơ đồ cấu trúc trên với thuật toán xác định các lượng bù vận tốc góc trong (8) và (9) đảm bảo hệ thống vừa có khả năng ổn định, vừa có khả năng điều khiển theo mong muốn của người điều khiển.

3. KẾT LUẬN

Bằng cách tính toán lượng bù dao động của bộ mang và đưa vào kênh điều khiển tốc độ góc, hệ thống điều khiển truyền động PPK trên phương tiện mang hoạt động trên mặt nước có thể được ổn định, khắc phục được ảnh hưởng của dao động bộ. Các kết quả này không chỉ có giá trị trong việc nâng cấp nâng cấp các hệ thống điều khiển sẵn có mà còn có giá trị cao trong việc nghiên cứu, thiết kế, chế tạo mới các hệ thống điều khiển và tự động ổn định hỏa lực đặt trên phương tiện cơ động, cũng như ứng dụng vào các bài toán ổn định bộ cho các ứng dụng dân sự trong thực tế đời sống hàng ngày.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tài liệu pháo 23mm - 2M và 23mm -2 ML lắp trên tàu cảnh sát biển. Tập 1&2, Cục Kỹ Thuật, BTL Cảnh Sát Biển (2017).
- [2]. Báo cáo tổng hợp đề tài “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống tự động ổn định đường ngắm và đường bắn cho pháo cao xạ Zu23-2N trên cơ sở tích hợp hệ thống tự động điều khiển hỏa lực đã có để lắp trên tàu cảnh sát biển”, Viện Tự Động Hóa KTQS (2022).
- [3]. Tài liệu tổng hợp “Đại đội PPK 37mm – 2N tác chiến ngày và đêm”, Viện Tự động hóa KTQS (2005).

- [4]. Sofia Syngaivska. “Russia Revived Zu23-2 system, making it remotely controlled platform: Upgrades and Applications”, Defence Express, (2003).
- [5]. CZE/SVK – Zu23-2M2, <http://www.armedconflick.com>.
- [6]. Trần Ngọc Bình, Nguyễn Vũ, “Thuật toán xử lý số liệu phục vụ tích hợp hệ thống điều khiển hỏa lực cho CPPK 37mm-2N bắn trong hành quân”, Tạp chí Nghiên cứu KH-CNQS, Số 31, tr 100-103, (2014).

ABSTRACT

The solution integrates the automatic stabilization system with the original fire control system on the anti-aircraft gun on the coast guard ship

This article presents a solution to improve the fire control system of the 23mm-2ML anti-aircraft gun currently equipped on coast guard ships based on the integration of an automatic stabilization system with a available tracking control system. By indirectly calculating the amount of velocity compensation in the direction and range transmission channels through the relay angle parameters of the ship deck and the angles of the gun transmission system, the article proposes a solution to keep the fire control system intact existing force combined with additional compensation right at the joystick output. The solution has been rigorously mathematically proven.

Keywords: Euler angles; Fire control systems; Gun stabilization.