Nghiên cứu quy luật chuyển động của cơ hệ quay quét trong hệ thống ổn định bệ phóng trên tàu biển

Trương Tất Thuấn, Lê Việt Hồng, Vũ Quốc Huy*

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: maihuyvu@gmail.com
Nhận bài: 11/01/2024; Hoàn thiện: 13/3/2024; Chấp nhận đăng: 14/3/2024; Xuất bản: 01/4/2024.
DOI: https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.CAPITI.2024.49-55

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu quy luật chuyển động của khối tầm, hướng thuộc cơ hệ quay quét sử dụng trong hệ thống ổn định bệ phóng trên tàu biển. Nhờ sử dụng các hệ tọa độ trực giao, véc tơ đường ngắm gắn với khối tầm được định vị thông qua các phép quay Euler. Khi bệ phóng được ổn định, góc và tốc độ góc của cơ hệ quay quét dưới tác động của chuyển động lắc của tàu theo cấp sóng sẽ chuyển động theo một quy luật nào đó. Kết quả nghiên cứu đóng góp cơ sở khoa học để tính toán và thiết kế bộ điều khiển truyền động điện cho hệ thống ổn định bệ phóng trên tàu biển.

Từ khoá: Ổn định bệ phóng; Cơ hệ quay/quét; Quy luật chuyển động; Phép quay Euler; Cấp sóng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các hệ thống ổn định đường ngắm hoặc ổn định bệ phóng trên tàu biển thường sử dụng cơ hệ quay quét, trong đó, khối tầm thực hiện chuyển động quét trong mặt phẳng đứng, khối hướng thực hiện chuyển động quay trong mặt phẳng ngang. Phần tử bám được hệ thống quang điện tử xác định, sau đó đưa sang hệ thống ổn định bệ phóng. Động lực học của cơ hệ quay quét sử dụng để ổn định đường ngắm trong hệ thống quang điện tử đã được nghiên cứu trong [1]. Theo đó, nghiên cứu [2, 3] đã xác định tọa độ đường ngắm và tính toán góc trục của cơ hệ quay quét cho hệ thống ổn định đối với phương tiện cơ giới quân sự, trên cơ sở khảo sát đặc tính dao động bằng cảm biến đo lường quán tính trên một số tuyến đường đặc trưng. Tuy nhiên, [2, 3] chưa đề cập và làm rõ giới hạn tốc độ và góc quay đối với các tuyến đường đặc trưng đó. Công trình [4], nghiên cứu dao động của tàu Hải quân HQ-331 khi lắp đặt dàn phóng tên lửa rải nhiễu PK16 có kể đến ảnh hưởng của sóng biển. Kết quả tính toán trong [4] có ý nghĩa trong việc tính toán cụ thể hơn hiện tượng lắc của tàu, áp dụng trong bài toán ổn định khi đóng mới hoặc lắp đặt các loại vũ khí lên tàu. Mặc dù vậy, chuyển động lắc của tàu HQ-331 chưa đưa vào một bệ ổn định nào để đánh giá. Có thể thấy, trong hệ thống ổn định nói chung, chuyển động của cơ hệ quay quét trên phương tiện cơ giới và trên tàu biển có tính tương đồng. Tuy nhiên, khi nghiên cứu hệ thống ổn định bệ phóng trên tàu biển, trong điều kiện góc tầm và góc hướng được ổn định, dưới các tác động lắc của sóng biển, chuyển động của cơ hệ quay quét sẽ có những đặc điểm riêng, cụ thể hơn. Với cách tiếp cận như vậy, bài báo nghiên cứu quy luật chuyển động của cơ hệ quay quét dùng để ổn định bệ phóng trên tàu biển ứng với cấp sóng 3 [5-7], từ đó phân tích mang tính định lượng trong việc thiết kế và điều khiển cơ hệ quay quét sử dụng trong hệ thống ổn định bệ phóng dạng này.

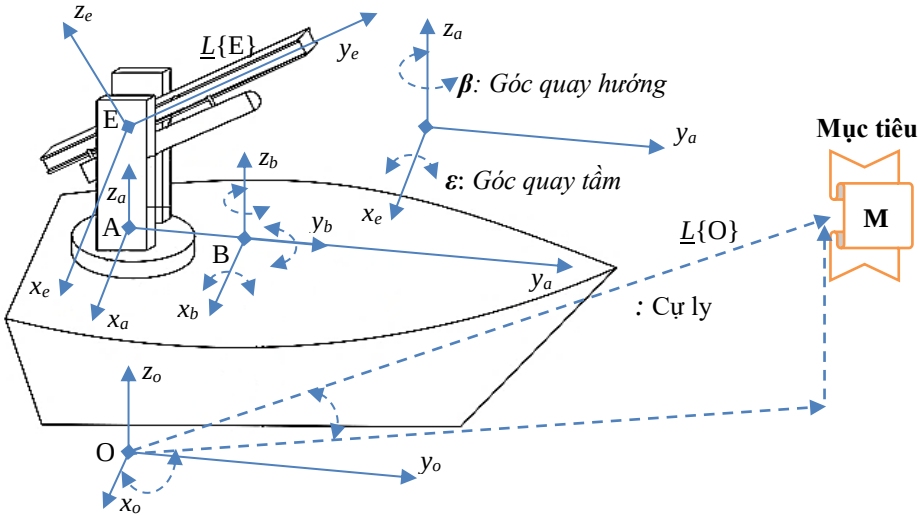
Về mặt phương pháp, bài báo sử dụng các hệ tọa độ trực giao, véc tơ đường ngắm gắn với khối tầm được định vị thông qua các phép quay Euler. Thông số của cấp sóng được chuyển hóa thành các dao động lắc của loại tàu tương ứng. Khi đường ngắm được ổn định, góc và tốc độ góc của cơ hệ quay quét được mô phỏng trực quan với chuyển động lắc của tàu theo cấp sóng.

2. CƠ HỆ QUAY QUÉT TRÊN TÀU BIỂN VÀ CÁC HỆ TỌA ĐỘ SỬ DỤNG

Các hệ tọa độ gắn với cơ hệ quay quét được biểu diễn trên hình 1. Gọi O là gốc hệ tọa độ (HTĐ) chuẩn. Gọi B là gốc hệ tọa độ gắn liền với tàu biển, có trục Bx_b trùng với trục dọc của tàu và hướng về phía trước tàu; By_b vuông góc với Bx_b và nằm trên mặt phẳng song song với sàn tàu; trục Bz_b

hướng lên trên và hợp với Bx_b, By_b tạo thành một tam diện thuận. Gọi A là gốc hệ tọa độ chuyển động gắn với khối quay, có Az_a trùng với trục quay và hướng lên trên; Ay_a hướng về phía mục tiêu, vuông góc với Az_a trên mặt phẳng đối xứng của cơ hệ; Ax_a nằm trên mặt phẳng khối quay và tạo với các trục Az_a, Ay_a thành một tam diện thuận. Gọi E là gốc hệ tọa độ chuyển động gắn với khối quét, có Ey_e trùng với véc-tơ đường ngắm của hệ quan sát; Ez_e hướng lên trên, vuông góc với Ey_e trong mặt phẳng đối xứng của đài; Ex_e trùng với trục quay tà và có chiều sao cho chính nó hợp với các trục Ez_e, Ey_e tạo thành một tam diện thuận.

Sau đây, gọi tắt các HTĐ là O, B, A và E. Như vậy, góc trục hướng β là góc quay của HTĐ A so với HTĐ B quanh trục Az_a; góc trục tầm ε là góc quay của HTĐ E so với HTĐ A quanh trục Ex_e. Các góc tầm ε và hướng β hoàn toàn đo được trong HTĐ liên kết gắn liền với phương tiện mang.



Hình 1. *Cơ hệ quay quét và các hệ tọa độ sử dụng.*

3. GIẢI BÀI TOÁN ĐỘNG HỌC THUẬN XÁC ĐỊNH GÓC ỔN ĐỊNH BỆ PHÓNG

Gọi cự ly D là khoảng cách từ tâm bệ phóng đến mục tiêu M. Trên thực tế, cự ly đến mục tiêu lớn hơn rất nhiều lần so với khoảng cách giữa các gốc tọa độ trên tàu, do đó, có thể xem các hệ tọa độ O, A, B, E có cùng điểm gốc.

Từ hình 1, véc tơ đường ngắm $\underline{L}\{E\}$ trong HTĐ gắn với khối tầm:

$$\underline{L}\{E\} = [0 \;\; D \;\; 0]^T \tag{1}$$

Không mất tính tổng quát, ta chọn $D = 1$. Khi đó, véc tơ đường ngắm $\underline{L}\{O\}$ trong HTĐ chuẩn:

$$\underline{L}\{O\} = [cos\lambda_2 cos\lambda_1 \;\; cos\lambda_2 sin\lambda_1 \;\; sin\lambda_2]^T \tag{2}$$

Vì $\underline{L}\{E\}$ nhận được từ các phép biến đổi góc quay Euler (theo thứ tự Roll, Pitch, Yaw) $R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)$ và các phép quay $R_z(\beta)$, $R_x(\varepsilon)$ nên:

$$\underline{L}\{E\} = R_x(\varepsilon)R_z(\beta)R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)\underline{L}\{O\} \tag{3}$$

$$\underline{L}\{O\} = \left[R_x(\varepsilon)R_z(\beta)R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)\right]^{-1}\underline{L}\{E\} \tag{4}$$

$$\underline{L}\{O\} = \left[R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)\right]^{-1}[R_z(\beta)]^{-1}[R_x(\varepsilon)]^{-1}\underline{L}\{E\} \tag{5}$$

Vì các HTĐ trực giao nên ma trận của phép biến đổi tọa độ trực giao có nghịch đảo bằng chuyển vị của chính ma trận đó. Do đó:

$$\underline{L}\{O\} = \left[R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)\right]^T[R_z(\beta)]^T[R_x(\varepsilon)]^T\underline{L}\{E\} \tag{6}$$

Đặt R_{LOS} là phép biến đổi tổng quát:

$$R_{LOS} = \left[R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)\right]^T [R_z(\beta)]^T [R_x(\varepsilon)]^T \overset{\text{def}}{=} [r_{11}\ r_{21}\ r_{31}\ \ r_{12}\ r_{22}\ r_{32}\ \ r_{13}\ r_{23}\ r_{33}\ ] \quad (7)$$

Đối với các phần tử của các ma trận trong R_{LOS}, viết tắt $sin \overset{\text{def}}{=} s;\ cos \overset{\text{def}}{=} c$, và ký hiệu các đối số $\phi, \theta, \psi, \beta, \varepsilon$ tương ứng với các chỉ số dưới theo thứ tự là 1, 2, 3, 4, 5. Theo đó, nhận được các ma trận (9), (10) và (11) như sau:

$$R_{xyz}(\phi,\theta,\psi) = [1\ 0\ 0\ \ 0\ c_1\ -s_1\ \ 0\ s_1\ c_1\ ][c_2\ 0\ s_2\ \ 0\ 1\ 0\ \ -s_2\ 0\ c_2\ ][c_3\ -s_3\ 0\ \ s_3\ c_3\ 0\ \ 0\ 0\ 1\ ] \quad (8)$$

$$R_{xyz}(\phi,\theta,\psi) = R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\psi) = [c_2c_3\ s_1s_2c_3 - c_1s_3\ \ c_1s_2c_3 + s_1s_3\ \ c_2s_3\ s_1s_2s_3 + c_1c_3\ \ c_1s_2s_3 - s_1c_3\ \ -s_2\ c_2s_1\ \ c_2c_1\ ] \quad (9)$$

$$\left[R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)\right]^T = [c_2c_3\ c_2s_3\ -s_2\ \ s_1s_2c_3 - c_1s_3\ s_1s_2s_3 + c_1c_3\ \ c_2s_1\ \ c_1s_2c_3 + s_1s_3\ c_1s_2s_3 - s_1c_3\ \ c_2c_1\ ] \quad (10)$$

$$[R_z(\beta)]^T = [c_4\ s_4\ 0\ \ -s_4\ c_4\ 0\ \ 0\ 0\ 1\ ];\quad [R_x(\varepsilon)]^T = [1\ 0\ 0\ \ 0\ c_5\ s_5\ \ 0\ -s_5\ c_5\ ] \quad (11)$$

Vì $\underline{L}\{E\}$ gắn với trục *Ey* nên $\underline{L}\{O\}$ chỉ phụ thuộc vào các phần tử ở cột thứ 2 của ma trận R_{LOS}. Cụ thể:

$$\underline{L}\{O\} = [c_2c_3\ c_2s_3\ -s_2\ \ s_1s_2c_3 - c_1s_3\ s_1s_2s_3 + c_1c_3\ \ c_2s_1\ \ c_1s_2c_3 + s_1s_3\ c_1s_2s_3 - s_1c_3\ \ c_2c_1\ ][c_4\ s_4\ 0\ \ -s_4\ c_4\ 0\ \ 0\ 0\ 1\ ][1\ 0\ 0\ \ 0\ c_5\ s_5\ \ 0\ -s_5\ c_5\ ][0\ 1\ 0\ ] \quad (12)$$

$$\underline{L}\{O\} \overset{\text{def}}{=} [r_{11}\ r_{21}\ r_{31}\ \ r_{12}\ r_{22}\ r_{32}\ \ r_{13}\ r_{23}\ r_{33}\ ][0\ 1\ 0\ ] = [r_{12}\ \ r_{22}\ \ r_{32}]^T \quad (13)$$

Với: $r_{12} = -c_2c_3s_4c_5 + (s_1s_2c_3 - c_1s_3)c_4c_5$ (14)

$r_{22} = -c_2s_3s_4c_5 + (s_1s_2s_3 + c_1c_3)c_4c_5 + (c_1s_2s_3 - s_1c_3)s_5$ (15)

$r_{32} = s_2s_4c_5 + s_1c_2c_4c_5 + c_1c_2s_5$ (16)

Đồng nhất (2) và (13):

$$\lambda_1 = \{arctg\left(\frac{r_{22}}{r_{12}}\right): r_{12} \neq 0 \qquad \frac{\pi}{2}: r_{12} = 0,\ r_{22} < 0\ ;\ -\frac{\pi}{2}: r_{12} = 0,\ r_{22} > 0\ \lambda_2 = arcsin(r_{32}) \quad (17)$$

4. QUY LUẬT CHUYỂN ĐỘNG CỦA CƠ HỆ QUAY QUÉT TRÊN TÀU BIỂN

Bản chất của việc ổn định bệ phóng là phải giữ cho được góc của bệ phóng trong HTĐ chuẩn không thay đổi dưới tác động của sóng biển. Vì cơ cấu chấp hành được gắn với cơ hệ trong HTĐ liên kết nên cần xác định góc ổn định của bệ phóng trong HTĐ liên kết.

Từ phương trình (6):

$$\underline{L}\{O\} = \left[R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)\right]^T [R_z(\beta)]^T [R_x(\varepsilon)]^T \underline{L}\{E\}$$

Do đó:

$$\left[\left[R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)\right]^T\right]^{-1} \underline{L}\{O\} = [R_z(\beta)]^T [R_x(\varepsilon)]^T \underline{L}\{E\} \quad (18)$$

$$\left[R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)\right]\underline{L}\{O\} = [R_z(\beta)]^T [R_x(\varepsilon)]^T \underline{L}\{E\} \quad (19)$$

Thay (1), (2), (9), (11) vào (19):

$$[c_2c_3\ s_1s_2c_3 - c_1s_3\ \ c_1s_2c_3 + s_1s_3\ \ c_2s_3\ s_1s_2s_3 + c_1c_3\ \ c_1s_2s_3 - s_1c_3\ \ -s_2\ c_2s_1\ \ c_2c_1\ ][cos\lambda_2 cos\lambda_1\ cos\lambda_2 sin\lambda_1\ sin\lambda_2\ \ ] = [c_4\ s_4\ 0\ \ -s_4\ c_4\ 0\ \ 0\ 0\ 1\ ][1\ 0\ 0\ \ 0\ c_5\ s_5\ \ 0\ -s_5\ c_5\ ][0\ 1\ 0\ ] \quad (20)$$

Vế trái *VT* và vế phải *VP* của (20):

Đặt:

$$\{m_{11} = c_2c_3cos\lambda_2cos\lambda_1 + c_2s_3cos\lambda_2sin\lambda_1 - s_2sin\lambda_2 \quad m_{21} = (s_1s_2c_3 - c_1s_3)cos\lambda_2cos\lambda_1 + (s_1s_2s_3 + c_1c_3)cos\lambda_2sin\lambda_1 + c_2s_1sin\lambda_2 \; m_{31} = (c_1s_2c_3 + s_1s_3)cos\lambda_2cos\lambda_1 + (c_1s_2s_3 - s_1c_3)cos\lambda_2sin\lambda_1 + c_2c_1sin\lambda_2 \quad (21)$$

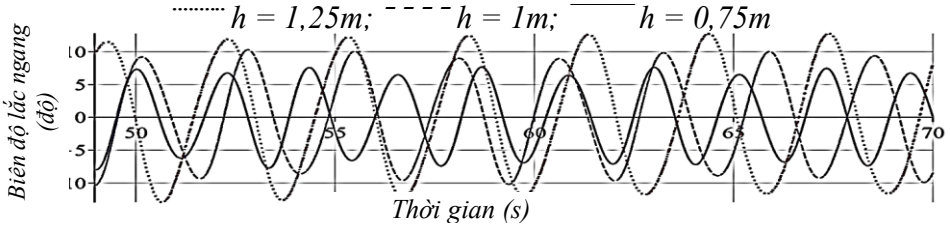
Cân bằng 2 vế của (20):

$$\beta = \{arctg\left(-\frac{m_{11}}{m_{21}}\right): m_{21} \neq 0 \qquad \frac{\pi}{2}: m_{21} = 0, m_{11} < 0 \; ; \; -\frac{\pi}{2}: m_{21} = 0, m_{11} > 0 \; \varepsilon = arcsin(m_{31}) \quad (22)$$

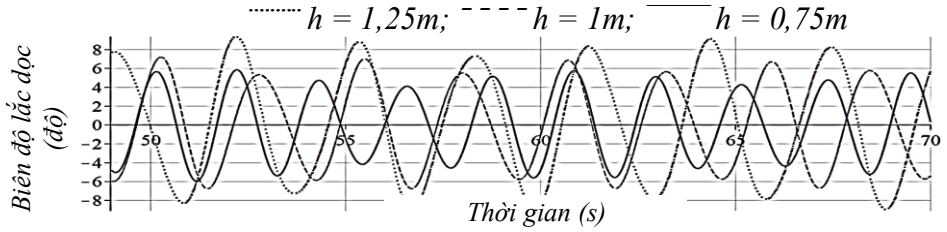
Như vậy, dưới tác động của sóng biển, để đảm bảo cho góc của bệ phóng trong HTĐ chuẩn không thay đổi thì các góc trục tầm, hướng của cơ hệ quay quét trong HTĐ liên kết phải có quy luật chuyển động theo (22).

5. NGHIÊN CỨU CHUYỂN ĐỘNG LẮC CỦA TÀU CV-01 VỚI SÓNG CẤP 3

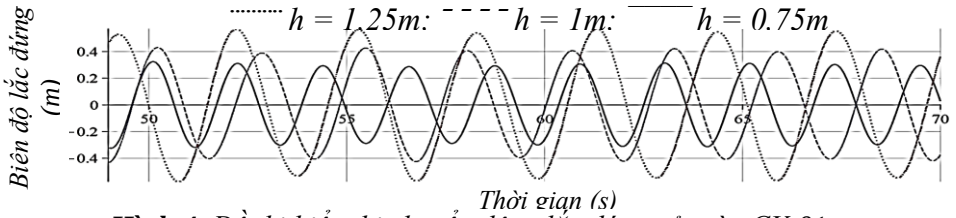
Tàu CV-01 là một loại xuồng cao tốc, tốc độ trên 40 hải lý/giờ. Mẫu CV-01 có chiều dài hơn 12m, rộng hơn 3m, cao 1,5m; chịu được sóng cấp 5, gió cấp 6 – cấp 7. Mô hình sóng biển cấp 3 có chiều cao sóng trung bình h = 1,25 m; bước sóng trung bình 15,24 m; chu kỳ sóng trung bình 4,25 s [5, 7]. Nghiên cứu [6] đưa ra các quy luật chuyển động lắc của tàu CV-01 sóng cấp 1, 2, 3 như hình 2, 3 và 4.



Hình 2. *Đồ thị biểu thị chuyển động lắc ngang của tàu CV-01.*



Hình 3. *Đồ thị biểu thị chuyển động lắc dọc của tàu CV-01.*



Hình 4. *Đồ thị biểu thị chuyển động lắc đứng của tàu CV-01.*

Nhận xét: Quy luật dao động lắc của tàu CV-01 cũng có dạng hình sin tương tự với quy luật dao động của sóng biển; a thấy rằng có thể biểu diễn các chuyển động lắc của tàu bằng các dao động hình sin. Thêm nữa, khi nghiên cứu quy luật chuyển động của cơ hệ quay quét ta có thể bỏ qua chuyển động lắc đứng của tàu vì lắc đứng ảnh hưởng đến bệ phóng được bù bằng hệ thống xử lý ảnh. Trên thực tế, khi cần phải giữ hướng thẳng với mục tiêu thì lái tàu phải liên tục thay đổi

góc lái (ψ) để điều khiển góc hướng ổn định. Trong quá trình hoạt động bám mục tiêu trên biển, chuyển động đảo mũi lái tàu có cùng chu kỳ với chuyển động lắc ngang, lắc dọc. Các thông số dao động của tàu CV-01 trên sóng cấp 3 được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. *Các thông số dao động của tàu CV-01 trên sóng cấp 3.*

	Lắc ngang(Φ)	Lắc dọc (θ)	Lắc đứng	Đảo mũi lái
Chu kỳ lắc trung bình	3,1 s	3,1 s	2,2 s	5,2 s
Biên độ lắc lớn nhất	$12{,}3^0$	$9{,}3^0$	0,56 m	$0 \div 5^0$

6. MÔ PHỎNG QUY LUẬT CHUYỂN ĐỘNG CỦA CƠ HỆ QUAY QUÉT

Giả sử cần giữ ổn định góc tầm λ_2 ở một góc phóng nào đó (ví dụ 50^0), còn hướng bệ phóng λ_1 được giữ thẳng với trục dọc của tàu và hướng thẳng đến mục tiêu. Khi đó, ta có các góc cần ổn định như sau:

$$\lambda_1 = 0^0;\ \lambda_2 = 50^0 \tag{23}$$

Sau đây, ta sẽ mô phỏng quy luật hoạt động của cơ hệ quay quét để ổn định được góc của đường ngắm như trên với 2 trường hợp ở cận trên và cận dưới của góc đảo lái.

$$\Phi = \left(9{,}3^0 \frac{\pi}{180^0}\right) sin\ sin\ \left(\frac{2\pi}{3{,}1}t\right) \tag{24}$$

$$\theta = \left(12{,}3^0 \frac{\pi}{180^0}\right) sin\left(\frac{2\pi}{3{,}1}t\right) \tag{25}$$

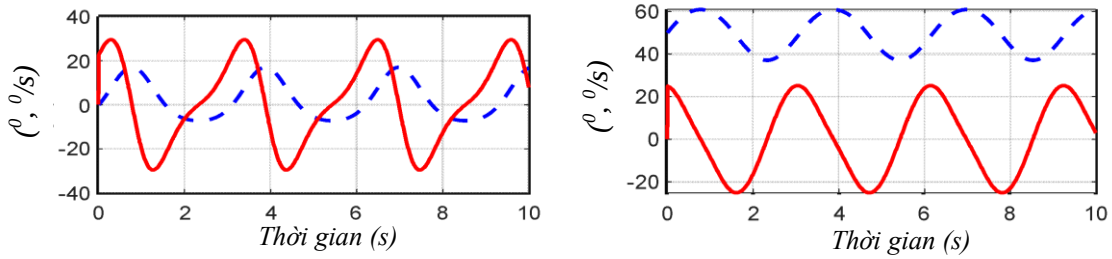
$$\psi = \left(\psi_m \frac{\pi}{180^0}\right) sin\left(\frac{2\pi}{5{,}2}t\right) \tag{26}$$

Nhận xét: Biên độ góc lắc nhỏ, để đơn giản ta có thể lấy gần đúng: $sin\ sin\,(x) = x$; $cos\ cos\,(x) = 1$. Khi đó, từ (21) và (22), quy luật chuyển động của cơ hệ quay quét được viết lại như (27) và (28):

$$\{m_{11} = cos\lambda_2 cos\lambda_1 + \psi cos\lambda_2 sin\lambda_1 - \theta sin\lambda_2 \qquad m_{21} = (\Phi\theta - \psi)cos\lambda_2 cos\lambda_1 + (\Phi\theta\psi + 1)cos\lambda_2 sin\lambda_1 + \Phi sin\lambda_2\ m_{31} = (\theta + \Phi\psi)cos\lambda_2 cos\lambda_1 + (\theta\psi - \Phi)cos\lambda_2 sin\lambda_1 + sin\lambda_2 \tag{27}$$

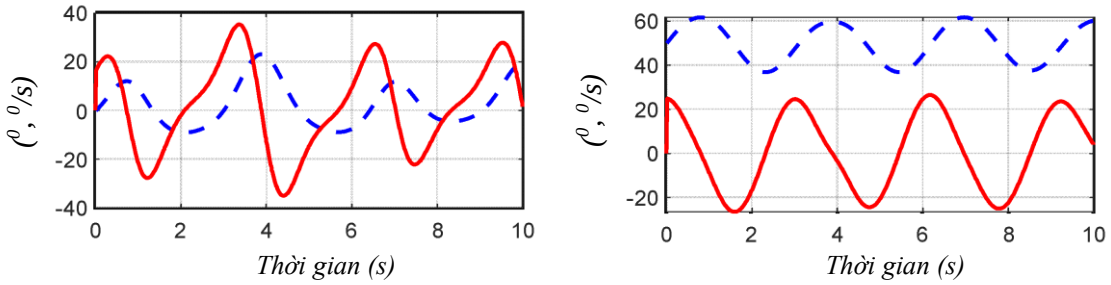
$$\beta = \{arctg\left(-\frac{m_{11}}{m_{21}}\right): m_{21} \neq 0 \qquad \frac{\pi}{2}: m_{21} = 0, m_{11} < 0\ ; -\frac{\pi}{2}: m_{21} = 0, m_{11} > 0\ \varepsilon = arcsin(m_{31}) \tag{28}$$

6.1. Mô phỏng với biên độ góc đảo lái $\psi_m = 0^0, \psi_m = 5^0$



Hình 5. *Góc và tốc độ góc của cơ hệ quay quét trên sóng cấp 3, góc đảo lái 0^0.*

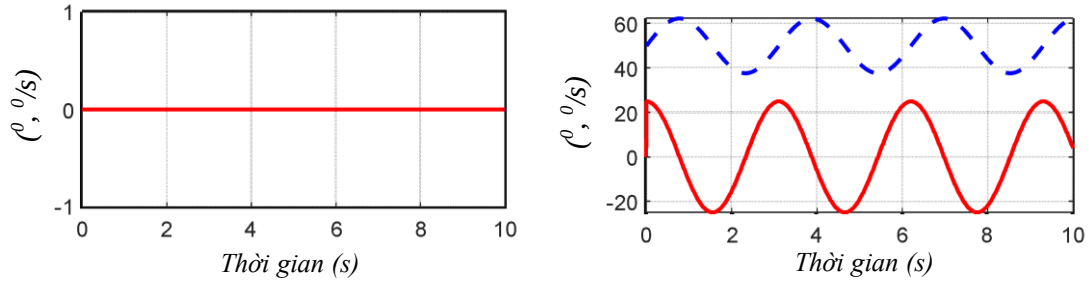
Nhận xét: Kết quả mô phỏng trên hình 5 cho thấy, khi tàu CV-01 hoạt động trong điều kiện sóng cấp 3, góc hướng dao động trong dải biên độ $-7{,}11^0 \div 17{,}11^0$, tốc độ góc hướng thay đổi trong dải biên độ $-29{,}56^0$/s ÷ $29{,}56^0$/s; góc tầm dao động trong dải biên độ $37{,}2^0 \div 60{,}89^0$, tốc độ góc tầm thay đổi trong dải biên độ -24,89 ^{0}/s ÷ 25,14 ^{0}/s.



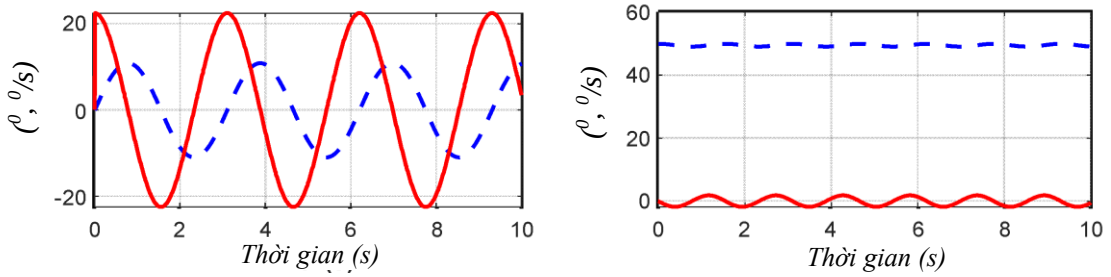
Hình 6. *Góc và tốc độ góc của cơ hệ quay quét trên sóng cấp 3, góc đảo lái 5^0.*

Nhận xét: Kết quả mô phỏng trên hình 6 cho thấy, tàu CV-01 hoạt động trong điều kiện sóng cấp 3, góc hướng dao động trong dải biên độ $-11^0 \div 23{,}31^0$, tốc độ góc hướng thay đổi trong dải biên độ $-36{,}59\ ^0/s \div 35{,}92\ ^0/s$; góc tầm dao động trong dải biên độ $36{,}54^0 \div 61{,}84^0$, tốc độ góc tầm thay đổi trong dải biên độ $-26{,}55\ ^0/s \div 26{,}35\ ^0/s$. Các chuyển động tầm, hướng có thể xem là các chuyển động trơn. Các thông số góc và tốc độ góc như trên cho thấy, khối hướng của bệ phóng có xu thế bù chuyển động sang bên phải hướng đến mục tiêu nhiều hơn. Cần thiết kế cơ hệ có dải góc hướng không nhỏ hơn $\pm 25^0$, tốc độ quay góc hướng không nhỏ hơn $40\ ^0/s$. Ngược lại, góc tầm có dải hoạt động tương đối cân xứng đối với chiều đi lên và đi xuống (trong khoảng 15^0). Ta có thể chọn dải hoạt động góc tầm $35^0 \div 65^0$, tốc độ quay góc tầm không nhỏ hơn $30\ ^0/s$.

6.2. Mô phỏng trong trường hợp tàu chỉ góc lắc dọc hoặc lắc ngang



Hình 7. *Góc và tốc độ góc của bệ phóng khi tàu chỉ chịu lắc dọc.*



Hình 8. *Góc và tốc độ góc của bệ phóng khi tàu chỉ chịu lắc ngang.*

Nhận xét: Kết quả mô phỏng trên hình 7, 8 cho thấy, khi tàu chỉ bị lắc dọc, khối hướng hoàn toàn được ổn định, bệ chủ yếu bù cho khối tầm, với dao động ngược pha với chuyển động lắc dọc (hình 7). Tương tự, khi tàu chỉ bị lắc ngang, khối tầm của bệ ổn định chỉ dao động rất ít (không quá 1 độ), hoạt động bù chuyển động ổn định chủ yếu tập trung vào khối hướng (hình 8).

7. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu quy luật chuyển động của cơ hệ quay quét 2 bậc tự do, sử dụng trong hệ thống ổn định bệ phóng trên tàu biển. Dưới tác động của sóng cấp 3, tàu CV-01 tương ứng có

những chuyển động lắc và đảo mũi lái trong quá trình bám sát mục tiêu. Góc và tốc độ góc tầm, hướng của cơ hệ quay quét được mô tả bằng giải tích toán học và mô phỏng trực quan; các giá trị tới hạn về tốc độ góc và phạm vi hoạt động của góc quay được xác định, làm đầu vào cho bài toán thiết kế, lắp đặt và điều khiển hệ truyền động điện cho cơ cấu chấp hành dạng này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Vũ Quốc Huy, "*Phương trình Euler-Lagrange của đài quan sát quang điện tử trên phương tiện cơ động*", Tạp chí Nghiên cứu KH-CN quân sự, Số Đặc san TĐH, tr. 70 – 78, (2019).

[2]. Vũ Quốc Huy, Chu Đức Chình, Lê Văn Phúc, "*Thuật toán xác định tọa độ đường ngắm của đài quan sát và tháp pháo trong tổ hợp ZSU-23-4 cải tiến*", Tạp chí Nghiên cứu KH-CN quân sự, Số 71, tr. 25-31, (2021).

[3]. Vũ Quốc Huy, Trần Ngọc Bình, Đỗ Quảng Đại, "*Thuật toán tính góc trục và góc bệ thiết lập cho đài quan sát phòng không cơ động*", Tạp chí Nghiên cứu KH-CN quân sự, Số Kỷ niệm 55 năm Viện KH-CNQS, tr. 217-224, (2015).

[4]. Nguyễn Lạc Hồng, *"Khảo sát dao động lắc của tàu hải quân khi bắn tên lửa rải nhiễu PK-16",* Tạp chí Nghiên cứu KH-CN quân sự, Số 52, tr. 247-255, (2014).

[5]. Bảng gió và cấp sóng , *Quyết định số 03/2020/QĐ-TTg ngày 13/1/2020 của Thủ tướng Chính phủ,* (2020).

[6]. Tăng Xuân Long, *"Về một giải pháp xác định nội lực liên kết các khâu của bệ phóng vũ khí phá vật cản FMV-T2-HQ đặt trên xuồng CV-01",* Tạp chí Nghiên cứu KH-CN quân sự, Số Đặc san Cơ học và Điều khiển thiết bị bay, tr. 184-190, (2021).

[7]. Yanpeng Dong, "*Dynamic simulation of shipborne vertical Launching System*", International Conference on Eduction, Management and Computing Technology, pp. 22-426, (2018).

ABSTRACT

Research on the motion rules of the pan-tilt electromechanical system in the launch platform stabilization system on ships

This paper has researched the motion rules of elevation and the azimuth of a pan-tilt electromechanical system used in the launch platform stabilized system attached to a ship. By using orthogonal coordinate systems, the line of sight vector associated with the elevation is located through Euler rotations. When the launch platform is stabilized, the angle and angular speed of the pan-tilt electromechanical are operated via a rule under the influence of the ship's sharking motion according to the wave level. The research results contribute to the scientific basis for calculating electric motor capacity and designing electric drive controllers for launch platform stabilization systems on ships.

Từ khoá: Launch platform stabilization; Pan tilt electromechaical system; Motion rule; EULER rotation; Wave level.