

## **Nghiên cứu, khảo sát đặc trưng nhiễu tác động lên hệ thống điều khiển truyền động vũ khí trên phương tiện cơ động bánh xích**

Lê Trần Thắng, Chu Đức Chinh\*, Lê Bá Yển, Phùng Chí Kiên

Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

\*Email: [ducchinhepx@gmail.com](mailto:ducchinhepx@gmail.com)

Nhận bài: 13/9/2023; Hoàn thiện: 10/11/2023; Chấp nhận đăng: 15/11/2023; Xuất bản: 10/12/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2023.71-77>

### **TÓM TẮT**

*Do đặc trưng cấu tạo, hệ thống truyền động cho vũ khí trên phương tiện chiến đấu cơ động bánh xích chịu nhiều tác động của nhiễu phi tuyến trong quá trình hoạt động. Bên cạnh nhiễu nội bộ, hệ thống còn chịu tác động của các thành phần nhiễu từ bên ngoài bao gồm: rung động từ động cơ xe khi nổ máy, dao động trong quá trình xe cơ động trên địa hình, ảnh hưởng bởi thao tác lái, bởi phát bắn,... Bài báo thực hiện nghiên cứu mô hình động học mô tả chuyển động của phương tiện cơ động bánh xích và tiến hành thực nghiệm, khảo sát đặc trưng của một số nhiễu chính do ngoại lực tác động tới hệ thống điều khiển truyền động cho vũ khí trên xe trong quá trình vận hành, tác chiến nhằm làm cơ sở đánh giá hiệu quả của các thuật toán điều khiển ổn định đường ngắm cho hỏa lực (đường bắn) trên loại phương tiện này.*

**Từ khóa:** Hệ thống ổn định; Đặc trưng nhiễu; Phương tiện cơ động bánh xích.

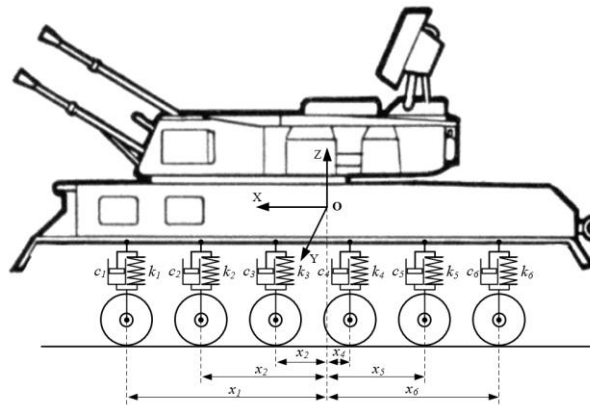
### **1. MỞ ĐẦU**

Các phương tiện cơ động dân dụng cũng như chuyên dụng trên xe bánh lốp được thiết kế để mang lại sự tiện nghi cho người sử dụng. Tuy nhiên, với các phương tiện chiến đấu cơ động bánh xích, việc đảm bảo tối đa tính cơ động trên địa hình phức tạp, hỏa lực mạnh, khả năng chống chịu tốt là ưu tiên hàng đầu và hầu như bỏ qua các yêu cầu về tính tiện nghi [1]. Chính đặc điểm này đã tác động đáng kể tới thiết kế của phương tiện [2], mà điển hình là xe thường có trọng lượng lớn, hệ thống treo có hiệu quả giảm chấn hạn chế, cơ cấu lái kém linh hoạt, động cơ có công suất và độ rung lớn,... Kết quả là, rung động trong các bộ phận cấu thành của xe trở nên đa dạng, có tính đột biến cao và ảnh hưởng lớn đến hoạt động của hệ thống vũ khí. Các rung động này xảy ra khi xe vận hành, cơ động trên địa hình phức tạp, khi khai hỏa,... và trực tiếp tác động tới vũ khí cũng như các khí tài trên xe, gây khó khăn cho thao tác của trác thủ và làm suy giảm hiệu quả tác chiến. Chính vì vậy, việc nghiên cứu, khảo sát tác động của các nhiễu ngoại lực tới hệ thống truyền động vũ khí trên phương tiện cơ động bánh xích có ý nghĩa rất thiết thực trong quá trình thiết kế, chế tạo, nâng cấp hệ thống ổn định đường ngắm nói riêng và hệ thống điều khiển hỏa lực nói chung. Tuy nhiên, do tính đặc thù của đối tượng cũng như việc triển khai thực nghiệm trên thực địa khó khăn nên có rất ít nghiên cứu liên quan được thực hiện. Một số nghiên cứu đã triển khai chủ yếu tập trung vào đối tượng dễ tiếp cận hơn là hệ thống truyền động đai quan sát trên các phương tiện cơ động bánh lốp [3-5]. Bên cạnh đó, các công trình [6, 7] mặc dù đã tiến hành nghiên cứu, phân tích các dao động của pháo trên xe tăng chủ lực trong quá trình cơ động nhưng mới chỉ dừng lại ở mức độ mô phỏng dựa trên mô hình đối tượng và sử dụng một số biên dạng đường tiêu chuẩn như đường mấp mô kiểu APG (APG road profile), đường dốc hình thang và đường vòng hình sin. Do đó, các nghiên cứu này chưa đánh giá được đầy đủ đặc trưng của các loại nhiễu khác nhau tác động tới hệ thống vũ khí trên xe trong điều kiện hoạt động thực tế.

Chính vì vậy, trên cơ sở nghiên cứu mô hình động học mô tả chuyển động, kết hợp với phương pháp thực nghiệm trên thực địa và phân tích, mô phỏng dữ liệu trên máy tính, bài báo đã tiến hành khảo sát, nghiên cứu các đặc trưng của một số loại nhiễu chính tác động lên hệ thống điều khiển truyền động vũ khí trên phương tiện cơ động bánh xích.

## 2. MÔ TẢ ĐỘNG HỌC CỦA ĐỐI TƯỢNG

Hệ thống treo của phương tiện cơ động bánh xích có 2 nhiệm vụ chính. Nhiệm vụ “tĩnh” là phân phối trọng lượng của toàn phương tiện lên các bánh xích. Nhiệm vụ “động” là giảm thiểu các rung động, hiện tượng xóc, nảy tác động lên xe trong quá trình cơ động. Hệ thống treo cho phép các bánh lăn chịu tải (road wheels) có thể dịch chuyển theo chiều thẳng đứng mà không gây ảnh hưởng đến chuyển động chính của thân xe, từ đó giảm thiểu dao động của thân xe khi cơ động qua các địa hình gồ ghề. Đây là hệ thống có cấu trúc phức tạp, gồm các bộ giảm chấn, các bộ hấp thụ xung động cho phép bù lại những yếu tố bất thường của địa hình cũng như đảm bảo cho dải xích không văng khỏi các bánh lăn. Tuy nhiên, để có thể mô tả được mô hình toán học của phương tiện, hệ thống treo được lý tưởng hóa theo cấu trúc như hình 1, gồm các bộ giảm chấn và các lò xo tuyến tính [9].



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống treo.

Phương trình chuyển động của phương tiện có thể được mô tả trên cơ sở áp dụng hệ phương trình Lagrange [9, 10]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\delta E_k}{\delta \dot{q}} \right) - \frac{\delta E_k}{\delta q} + \frac{\delta E_d}{\delta \dot{q}} + \frac{\delta E_p}{\delta q} = F(t) \quad (1)$$

Trong đó,  $E_k$  là tổng động năng,  $E_p$  là tổng thế năng,  $E_d$  là tổng năng lượng tiêu tán,  $q$  là tọa độ tổng quát hóa và  $F(t)$  là lực tổng quát hóa phụ thuộc thời gian.

Gắn hệ tọa độ liên kết OXYZ lên xe với gốc O đặt tại trọng tâm của xe, trục OX nằm trong mặt phẳng song song với mặt ngang chuẩn và hướng về phía trước của xe, trục OZ hướng lên trên, trục OY vuông góc với mặt phẳng OXZ sao cho OXYZ là một tam diện thuận.

Chuyển động của thân xe dưới tác động của địa hình có thể được mô tả trong hệ tọa độ OXYZ thông qua 3 chuyển động: quay quanh trục OX với góc  $\gamma$  (Roll), quay quanh trục OY với góc  $\varphi$  (Pitch) và chuyển động xóc nảy theo trục OZ với độ dịch chuyển  $z$ .

Khi đó, các thành phần năng lượng trong hệ thống được biểu diễn theo các biểu thức sau:

$$E_k = \frac{1}{2} [m\dot{z}^2 + J_{yk}\dot{\varphi}^2 + J_{xk}\dot{\gamma}^2 - 2J_{xy}\dot{\varphi}\dot{\gamma}], \quad E_p = \frac{1}{2} \sum_1^n k_i (z - x_i\varphi + y_i\gamma - z_i)^2, \quad (2)$$

$$E_d = \frac{1}{2} \sum_1^n c_i (\dot{z} - x_i\dot{\varphi} + y_i\dot{\gamma} - \dot{z}_i)^2.$$

Từ (2), có thể biểu diễn phương trình chuyển động tổng quát của thân xe theo trục Z như sau:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\mathbf{q} = \mathbf{F} \quad (3)$$

Với  $\mathbf{M}$  là ma trận quán tính,  $\mathbf{C}$  là ma trận giảm nhớt,  $\mathbf{K}$  là ma trận độ cứng,  $\mathbf{F}$  là ma trận tổng

lực tác dụng,  $\mathbf{q}$  là vector dịch chuyển tổng quát hóa của thân xe và được xác định bởi:

$$\mathbf{q} = \begin{pmatrix} z \\ \varphi \\ \gamma \end{pmatrix}, \quad \dot{\mathbf{q}} = \begin{pmatrix} \dot{z} \\ \dot{\varphi} \\ \dot{\gamma} \end{pmatrix}, \quad \ddot{\mathbf{q}} = \begin{pmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{\varphi} \\ \ddot{\gamma} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{w} = \begin{pmatrix} \ddot{z}_i \\ \dot{z}_i \\ z_i \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & J_{yy} & J_{xy} \\ 0 & -J_{xy} & J_{xx} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{pmatrix} \sum_1^n c_i & -\sum_1^n c_i x_i & \sum_1^n c_i y_i \\ -\sum_1^n c_i x_i & \sum_1^n c_i (x_i)^2 & -\sum_1^n c_i x_i y_i \\ \sum_1^n c_i y_i & -\sum_1^n c_i x_i y_i & \sum_1^n c_i (y_i)^2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} \sum_1^n k_i & -\sum_1^n k_i x_i & \sum_1^n k_i y_i \\ -\sum_1^n k_i x_i & \sum_1^n k_i (x_i)^2 & -\sum_1^n k_i x_i y_i \\ \sum_1^n k_i y_i & -\sum_1^n k_i x_i y_i & \sum_1^n k_i (y_i)^2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} 0 & -\sum_1^n c_i & \sum_1^n k_i \\ 0 & \sum_1^n k_i x_i & -\sum_1^n k_i x_i \\ 0 & -\sum_1^n c_i y_i & \sum_1^n k_i y_i \end{pmatrix} \quad (6)$$

Trong đó,  $x_i, y_i, z_i$  là tọa độ của bánh lăn chịu lực trong hệ tọa độ OXYZ;  $m$  là tổng khối lượng của phương tiện;  $c_i, k_i$  là tham số của các bộ giảm chấn và lò xo trong hệ thống treo.

Giả sử trong hệ thống treo, các bộ giảm chấn đều có cùng hệ số giảm chấn  $c_i = c_d$ , các lò xo đều có cùng độ cứng  $k_i = k_d$ . Sau khi biến đổi, thu được hệ phương trình biểu diễn chuyển động của xe như sau:

$$\begin{cases} m\ddot{z} = \sum_1^n k_d(-z + z_i + x_i\varphi - y_i\gamma) + \sum_1^n c_d(-\dot{z} + \dot{z}_i + x_i\dot{\varphi} - y_i\dot{\gamma}) \\ J_{yy}\ddot{\varphi} = \sum_1^n k_d x_i(z - z_i - x_i\varphi + y_i\gamma) + \sum_1^n c_d x_i(\dot{z} - \dot{z}_i - x_i\dot{\varphi} + y_i\dot{\gamma}) \\ J_{xx}\ddot{\gamma} = \sum_1^n k_d y_i(-z + z_i + x_i\varphi - y_i\gamma) + \sum_1^n c_d y_i(-\dot{z} + \dot{z}_i + x_i\dot{\varphi} - y_i\dot{\gamma}) \end{cases} \quad (7)$$

Hệ (7) mô tả động học cơ bản của phương tiện với 3 bậc tự do, gồm: độ nảy  $z$  của xe theo phương thẳng đứng, góc roll  $\gamma$ , góc pitch  $\varphi$ .

Do cấu trúc của phương tiện bánh xích với khối lượng lớn, độ bám đường tốt nên có thể bỏ qua hiện tượng trượt ngang của xe khi cơ động. Khi đó, tác động của điều kiện địa hình sẽ được mô tả bởi 3 chuyển động là roll ( $\gamma$ ), pitch ( $\varphi$ ) và sự dịch chuyển  $z$  theo trục OZ. Chuyển động theo góc yaw ( $\psi$ ) trong trường hợp lái xe không chủ động đánh lái là một giá trị ngẫu nhiên phụ thuộc vào các góc  $\gamma$  và  $\varphi$ .

Các tham số  $\gamma, \varphi, \psi$  và  $z$  của mô hình chính là các tham số đầu vào tác động tới hệ thống truyền động vũ khí. Trong đó, do  $z$  có biên độ nhỏ và ít ảnh hưởng đến độ chính xác của đường bắn; tham số góc  $\psi$  chủ yếu ảnh hưởng tới góc hướng, trong khi các tham số góc  $\gamma$  và  $\varphi$  chủ yếu tác động tới tham số góc tầm tùy thuộc vào vị trí của hướng bắn so với thân xe cơ sở.

### 3. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU VÀ PHƯƠNG PHÁP TIẾN HÀNH

#### 3.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- *Đối tượng nghiên cứu:* Bài báo tiến hành thực nghiệm, khảo sát đặc trưng nhiễu tác động lên hệ thống điều khiển truyền động cho pháo trên tổ hợp phòng không tự hành ZSU-23-4.

- *Phạm vi nghiên cứu, khảo sát:* Nghiên cứu, khảo sát và phân tích ảnh hưởng của nhiễu do rung động xe khi nổ máy, xung lực khi khai hỏa và nhiễu địa hình khi xe cơ động.

### 3.2. Phương pháp tiến hành

- *Phương pháp thực hiện:* Đo và phân tích ảnh hưởng của nhiễu tới các góc Euler của đường bắn sử dụng khối cảm biến quán tính MTi-300 của hãng XSENS có các thông số chính trong tài liệu [11] và phần mềm thu thập số liệu Xsens MT Manager version 4.8.2.

- *Lắp đặt phương tiện đo:* Cảm biến được lắp đặt trên bộ ni-vô của pháo sao cho trục X của cảm biến song song với trục nòng pháo và hướng về phía trước, trục Z hướng lên trên, trục Y vuông góc với mặt phẳng quay tầm.

- *Thu thập số liệu:* Sử dụng máy tính kết nối với khối cảm biến quán tính cho phép thu thập các tham số đường bắn gồm tốc độ góc, tọa độ góc (các góc Euler) và gia tốc tịnh tiến theo 3 trục và truyền về máy tính thông qua cổng truyền thông RS422, tốc độ 115.200 bps.

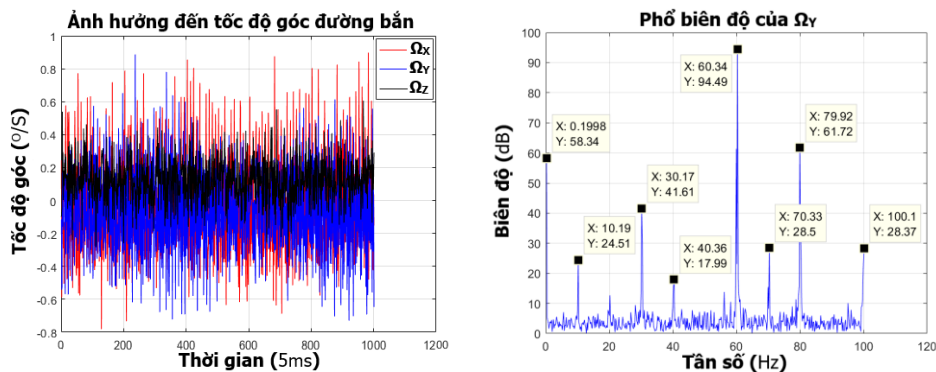
- *Tốc độ lấy mẫu:* Do bài toán ổn định đường bắn chỉ quan tâm tới các dao động cơ học tần số thấp nên nhóm tác giả thực hiện lựa chọn tần số lấy mẫu  $F_s = 200\text{Hz}$ .

## 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 4.1. Ảnh hưởng của hiện tượng rung xe khi nổ máy

Khi xe nổ máy, các rung động từ động cơ được truyền tới toàn bộ thân xe thông qua các chân đế máy, hệ thống hộp số truyền động, hệ thống lái,... Sự rung động này có thể được nghiên cứu trên cơ sở áp dụng phương pháp mô hình hóa đa vật thể cho đối tượng [6]. Tuy nhiên, các tham số của mô hình rất khó xác định chính xác nên kết quả mô phỏng thường có sai số cao.

Các đồ thị trong hình 2 cho thấy tác động của nhiễu rung xe tới tốc độ góc của đường bắn theo các trục X, Y, Z trong điều kiện xe dừng và nổ máy ở vòng tua 1000 vòng/phút.



Hình 2. Ảnh hưởng của nhiễu rung xe tới tốc độ góc đường bắn.

Theo đó, pháo chịu các rung động theo 3 trục với giá trị đỉnh của tốc độ góc lớn nhất không vượt quá  $1^\circ/\text{s}$  và có dạng nhiễu trắng. Tần số cộng hưởng chính của xe theo trục OY xấp xỉ 60Hz. Các nhiễu này thực tế không có tác động đáng kể đến tọa độ đường bắn nhưng có thể gây sai lệch giá trị đo của các cảm biến đo lường quán tính trên xe.

Ảnh hưởng của nhiễu rung xe tới tọa độ góc đường bắn được thể hiện trong hình 3.



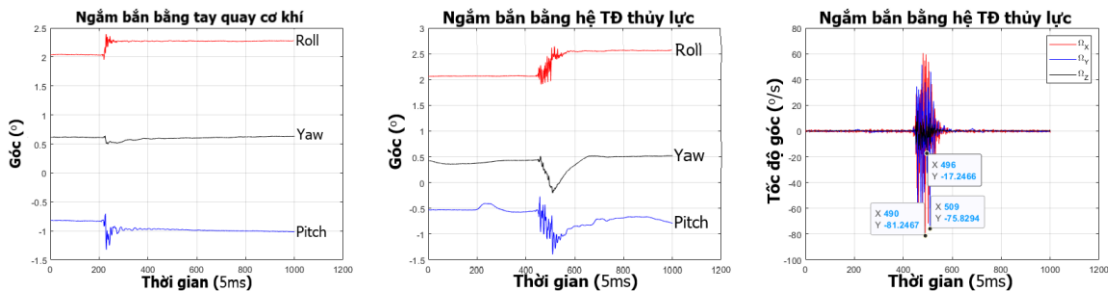
Hình 3. Ảnh hưởng của nhiễu rung xe tới tọa độ góc đường bắn.

Bỏ qua hiện tượng trôi ngẫu nhiên trong các giá trị đo của cảm biến, có thể thấy, biên độ nhiễu đỉnh - đỉnh của các tọa độ góc đường bắn chỉ xấp xỉ  $0,005^\circ$  ( $0,08$  ly giác) và hầu như không ảnh hưởng đến độ chính xác của phát bắn.

**4.2. Ảnh hưởng của loạt bắn tới tọa độ đường bắn**

*Điều kiện thử nghiệm:* xe dừng tại chỗ bắn bia mặt đất cố định với loạt bắn 20 viên (5 viên mỗi nòng); hướng bắn dọc trục xe cơ sở, hướng về phía trước, pháo nằm ngang; thử nghiệm trong trường hợp ngắm bắn bằng tay quay cơ khí và ngắm bắn bằng hệ truyền động thủy lực.

Hình 4 cho thấy ảnh hưởng của loạt bắn tới các tham số của đường bắn. Trong đó, trường hợp ngắm bắn bằng các tay quay cơ khí, pháo được khóa hãm cả tầm và hướng bằng hệ thống bánh răng. Khi đó, loạt bắn gây sai lệch đường bắn theo cả 3 trục Roll, Pitch, Yaw với biên độ lớn nhất tương ứng xấp xỉ  $0,3^\circ$ ,  $0,5^\circ$ ,  $0,1^\circ$ .

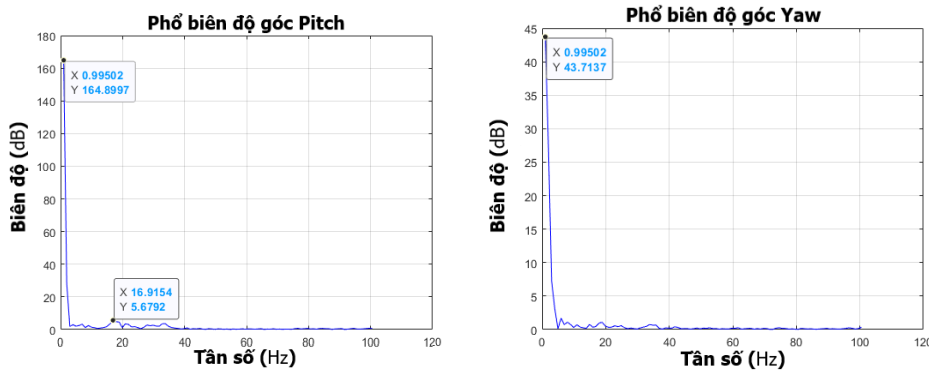


**Hình 4.** Ảnh hưởng của loạt bắn tới tọa độ đường bắn.

Trường hợp ngắm bắn bằng hệ thống truyền động thủy lực, sai lệch theo 3 trục Roll, Pitch, Yaw của góc bắn có biên độ lớn nhất xấp xỉ  $0,6^\circ$ ,  $1,2^\circ$  và  $0,7^\circ$ . Sự ảnh hưởng này chủ yếu đến từ dao động của đường bắn theo 2 trục Pitch và Yaw, trong đó, dao động theo trục Pitch có sự đột biến lớn về tốc độ góc ( $81,2^\circ/s$  hình 4c). Ảnh hưởng của góc nghiêng theo trục Roll là không đáng kể do hướng bắn trùng với trục dọc của xe và khoảng cách từ trục quay tầm tới mặt đất so với cự ly từ xe tới mục tiêu là rất nhỏ.

Có thể thấy, trong cả 2 trường hợp, tác động của phát bắn tới tọa độ đường bắn là rõ ràng và ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng của loạt bắn. Bên cạnh đó, khi ngắm bắn bằng hệ thống truyền động thủy lực, do giới hạn công suất của nguồn thủy lực, sự nén/giãn của dầu và đường ống,... biên độ dao động của pháo theo các trục lớn hơn so với trường hợp sử dụng hệ thống truyền động cơ khí, dẫn tới chất lượng loạt bắn thấp hơn.

Xét riêng trường hợp ngắm bắn bằng hệ truyền động thủy lực, trong mặt phẳng tầm, pháo chịu tác động của 2 thành phần dao động: dao động chính với tần số xấp xỉ  $1$  Hz và các dao động ký sinh với tần số trong khoảng  $15$  Hz ÷  $35$  Hz. Trong mặt phẳng hướng, pháo hầu như chỉ chịu tác động của dao động chính với tần số xấp xỉ  $1$  Hz.



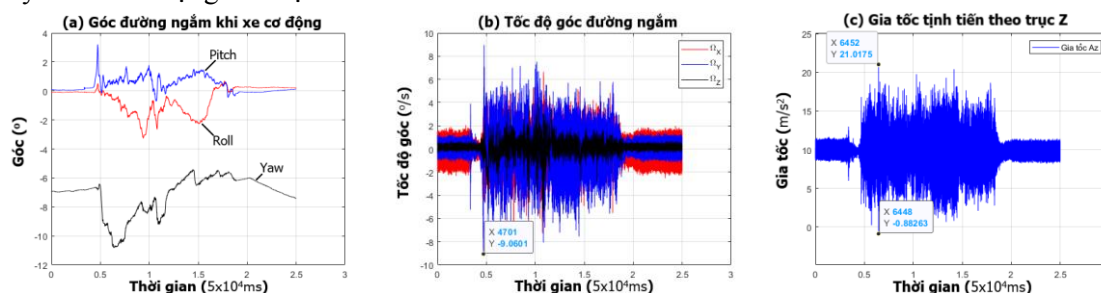
**Hình 5.** Các thành phần dao động tác động lên đường bắn.

Thực tế thử nghiệm cho thấy, tần số của thành phần dao động chính phụ thuộc vào thời gian và giãn cách của các loạt bắn. Bên cạnh đó, hệ thống ổn định đường bắn cũng chỉ có khả năng bù sai lệch do thành phần dao động này gây ra do có tần số thấp và nằm trong khả năng đáp ứng của hệ thống truyền động.

### 4.3. Ảnh hưởng của nhiễu địa hình khi xe cơ động

Hình 6 mô tả tác động của nhiễu địa hình lên đường ngắm hỏa lực khi xe cơ động trên tuyến bắn dài xấp xỉ 400 m với tốc độ trung bình 10 km/h.

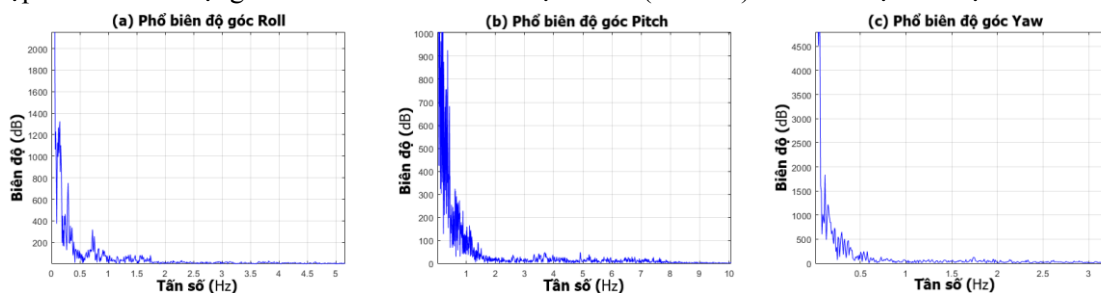
Đồ thị trong hình 6 cho thấy, các tọa độ góc đường bắn theo 3 trục có sự biến thiên liên tục trong suốt quá trình xe cơ động. Trong đó, nhiễu góc Yaw có biên độ trung bình lớn nhưng biến đổi chậm, nhiễu góc Roll và Pitch có biên độ trung bình nhỏ hơn nhưng biến đổi nhanh và có sự đột biến về tốc độ góc (hình 6b). Đặc điểm này khiến cho việc thao tác bắt bám mục tiêu bằng tay khi xe cơ động trên địa hình trở nên rất khó khăn.



Hình 6. Ảnh hưởng nhiễu địa hình tới đường bắn khi cơ động.

Trong quá trình di chuyển, thân xe liên tục dao động theo chiều thẳng đứng với biên độ gia tốc lớn nhất tới  $11 \text{ m/s}^2$  (hình 6c). Điều này cho thấy, xe chịu tác động của hiện tượng “xóc nảy” và “roi” khi cơ động trên đường địa hình.

Theo kết quả phân tích phổ biên độ trong hình 7, các dao động của đường bắn theo các trục tập trung chủ yếu ở vùng tần số thấp (nhỏ hơn 2Hz). Trong đó, pháo chịu nhiều dao động phức tạp với các dao động có tần số cao hơn theo trục Pitch (hình 7b) so với 2 trục còn lại.



Hình 7. Phổ biên độ các dao động của tọa độ góc đường bắn khi xe cơ động.

Trong quá trình cơ động, ngoài nhiễu địa hình, đường ngắm của hỏa lực còn chịu tác động do thao tác chuyển hướng của lái xe. Thực tế, yếu tố này chủ yếu ảnh hưởng đến góc hướng Yaw mà ít ảnh hưởng đến 2 góc còn lại.

Do đặc trưng cấu tạo, phương tiện cơ động bánh xích có thể quay xe tại chỗ với bán kính nhỏ nên tốc độ chuyển hướng lớn hơn nhiều so với phương tiện bánh lốp. Kết quả khảo sát trong [12] cho thấy, tốc độ chuyển hướng khi quay xe tại chỗ có thể lên tới  $25^\circ/\text{s}$ .

## 5. KẾT LUẬN

Trong quá trình vận hành, hệ truyền động vũ khí trên các phương tiện chiến đấu cơ động bánh xích luôn chịu tác động của các yếu tố nhiễu từ bên ngoài gây mất ổn định các tham số tọa độ

của đường bắn trong quá trình tác chiến. Bài báo đã tiến hành nghiên cứu, khảo sát đặc trưng một số nhiễu tác động chính lên hệ thống điều khiển truyền động vũ khí trên tổ hợp pháo phòng không tự hành ZSU-23-4 trong quá trình vận hành thực tế, gồm: nhiễu do hiện tượng rung xe khi nổ máy, nhiễu do xung lực từ loạt bắn và nhiễu do địa hình khi xe cơ động.

Kết quả nghiên cứu, khảo sát có thể được sử dụng như một tập dữ liệu đầu vào nhằm làm cơ sở đánh giá hiệu quả của thuật toán điều khiển ổn định đường ngắm cho vũ khí trên các phương tiện chiến đấu cơ động bánh xích.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Michal Sojka, Stefan Cornak, “Tracked vehicle movement modelling,” Engineering for rural development, **Vol. 23**, pp. 2098-2103, (2018).
- [2]. A. H. Rahman *et al.*, “Design configuration of a generation next main battle tank for future combat”, Defence Science Journal, **Vol. 67**(4), pp. 343-353, (2017).
- [3]. Vũ Quốc Huy, “Nghiên cứu tổng hợp hệ thống tự động bám sát mục tiêu cho đài quan sát trên phương tiện cơ động”, Luận án TSKT, (2017).
- [4]. Lê Trần Thắng *et al.*, “Xây dựng bộ đo góc có độ chính xác cao ứng dụng trong ổn định bộ đài quan sát quang điện tử”, ISSN 1859-1043, tr. 234-243, (2019).
- [5]. Fan Wang *et al.*, “Stabilization control method for two-axis Inertial Stabilized Platform based on disturbance rejection control with noise reduction disturbance observer”, IEEE Access, pp. 99521-99529, (2019).
- [6]. B. Hao *et al.*, “Dynamic modeling and test verification of tank multi-body system”, Advances in Engineering Research, **Vol. 123**, pp. 818-823, (2017).
- [7]. Muhammed Fatih Cakir, Meral Bayraktar, “Modelling of main battle tank and designing LQR controller to decrease weapon oscillations”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, **Vol. 35**, No. 4, pp. 1861-1876, (2020).
- [8]. İ. Sina Kuseyri, “Stabilization and DOB-based disturbance rejection for MBT gun-barrel elevation drive”, Int. J. Eng. Pure Sci., **Vol. 32**(2), pp. 206-211, (2020).
- [9]. Ambarish Jakati, Saayan Banerjee, C. Jebaraj, “Development of mathematical models, simulation vibration control of tracked vehicle weapon dynamics”, Defence Science Journal, **Vol. 67**, No. 4, pp. 465-475, (2017).
- [10]. Viktor Hallbeck, “System modelling and evaluation of main battle tank fire precision”, KTH Royal Institute of Technology, pp. 9-15, (2021).
- [11]. Movella Company, “MTi-300 - Device technical datasheet”, accessed 10 August 2023, <<https://www.xsens.com/hubfs/Downloads/Leaflets/MTi-300.pdf>>, (2023).
- [12]. Phùng Chí Kiên và cộng sự, “Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo hệ thống điều khiển hỏa lực sử dụng khí tài quang điện tử thay thế hệ thống điều khiển hỏa lực và khí tài radar thế hệ cũ cho tổ hợp ZSU-23-4”, Báo cáo khoa học đề tài cấp BQP, (2021).

### ABSTRACT

#### **Research and investigation of the disturbance characteristics affecting the gun drive system on mobility combat tracked vehicles**

*Due to its structural characteristics, the transmission system for weapons on mobility combat tracked vehicles is subject to many impacts from nonlinear disturbances during operation. In addition to internal disturbances, the system is also affected by external disturbances, including vibrations from the vehicle engine when it is running, oscillations when the vehicle maneuvers on different terrains, or influences of impulses when firing. The article researches the dynamic model of the mobility combat tracked vehicles and investigates the characteristics of some main disturbances due to external forces acting on the gun drive system during operation. The results could be used as a basis for assessing the effectiveness of the line-of-sight control algorithms for weapons on this type of vehicle.*

**Keywords:** Stabilization system; Characteristic of disturbance; Mobility combat tracked vehicle.