

## Xây dựng mô hình động lực học bộ phóng thiết bị bay trên nền đàn hồi

Trần Xuân Diệu\*, Nguyễn Xuân Thành

Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, 17 Hoàng Sâm, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam.

\*Tác giả liên hệ: xuandieuvtl@gmail.com

Nhận bài 16/9/2024; Hoàn thiện: 15/11/2024; Chấp nhận đăng: 12/12/2024; Xuất bản: 25/12/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.100.2024.120-127>

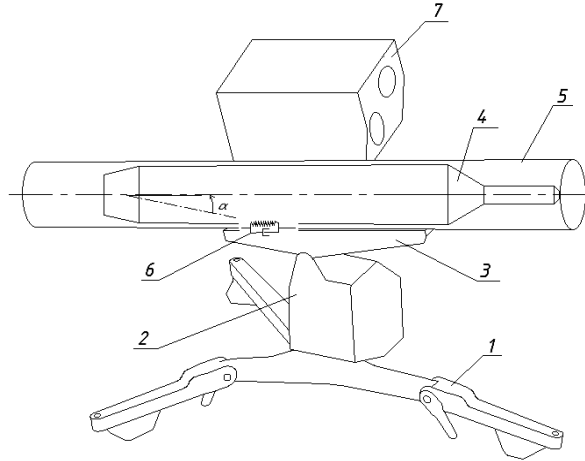
### TÓM TẮT

Trong bài báo, mô hình động lực học của bộ phóng trên nền đàn hồi được thiết lập sử dụng phương trình Lagrange II. Sử dụng mô hình này cho cấu hình bộ phóng thiết bị bay (TBB), các quy luật dao động của các chuyển động của bộ phóng được xác định. Qua đó, đánh giá được dao động của bộ phóng trên nền đất đàn hồi khi thực hiện phát bắn, là cơ sở cho tính toán thiết kế một số cụm của bộ phóng, tối ưu hoá phát bắn cho một lớp các bộ phóng cùng nguyên lý kết cấu, cùng nguyên lý phóng.

**Từ khoá:** Bộ phóng; Góc hướng; Lắc ngang; Lắc dọc; Nền đàn hồi.

### 1. MỞ ĐẦU

Bộ phóng TBB được thể hiện ở hình 1, được triển khai trên nền đất đàn hồi. Do tính chất đàn hồi của nền, cộng thêm với tác động của hoạt lực gây bởi động cơ phóng vừa tác động lên ống phóng, vừa tác động vào TBB đẩy TBB bay ra khỏi ống phóng cùng với sự thay đổi trọng tâm của cơ hệ sẽ làm cho bộ phóng dao động. Ống phóng được liên kết với giá bộ bên dưới bằng cơ cấu giảm giạt, làm giảm hợp lực tác động lên giá phóng, nhanh chóng dập tắt dao động đưa đài điều khiển cùng kính ngắm bố trí trên giá về vị trí ổn định, điều khiển TBB bay đến mục tiêu.



**Hình 1.** Mô hình bộ phóng trên nền đàn hồi:

1. Giá ba thân; 2. Cụm quay hướng; 3. Máng dẫn; 4. TBB;
5. Ống phóng; 6. Cơ cấu giảm giạt; 7. Kính ngắm.

Mô hình động lực học giá phóng TBB trên nền đàn hồi đã được quan tâm và có công trình nghiên cứu một cách cụ thể. Trong công trình [1], tiến hành xây dựng và giải đồng thời các phương trình mô tả các quá trình lý, hoá, nhiệt động xảy ra trong buồng đốt động cơ, phương trình động lực học của hệ thống phóng khi xảy ra phát bắn. Kết quả thu được đáng chú ý là các thông số về lực tác dụng lên đạn và lên ống phóng theo thời gian, đây là dữ liệu quan trọng và là thông số đầu vào cho cơ hệ được xem xét trong bài báo này. Tuy nhiên, công trình này xem xét kết cấu của bộ phóng gồm ống phóng được liên kết cứng với chân giá, chân giá được cố định chắc chắn, chưa kể đến tác động của nền lên dao động của toàn kết cấu hệ thống phóng làm cho mô hình toán được đưa ra chưa thực

sự phù hợp cho việc khảo sát dao động và tính toán thiết kế các cụm kết cấu của bộ phóng.

Trong công trình [2], tiến hành xây dựng mô hình hoá bộ phóng tên lửa chống tăng Fagot và tiến hành khảo sát dao động của bộ phóng từ lúc động cơ phóng làm việc đến lúc bộ phóng tắt hẳn dao động. Mô hình hoá cơ hệ tương tác với nền đất đàn hồi bởi 6 bậc tự do. Các kết quả dao động của bộ phóng và của ống phóng trong quá trình thực hiện phát bắn được đưa ra. Trong công trình này xem xét các cụm kết cấu của bộ phóng là đối xứng trong khi sự sai lệch vị trí trọng tâm của các vật là đáng kể đối với dao động của toàn cơ hệ, chưa kể đến ma sát trượt giữa máng trượt và máng dẫn của bộ phóng, chưa kể đến lực gây bởi thời kỳ tác động sau cùng của khí thuốc lên bộ phóng tên lửa.

Nghiên cứu tổng quan các mô hình động lực học đã được phát triển cho thấy chúng cần được phát triển thêm nhằm phục vụ cho nghiên cứu tính toán động lực học bộ phóng khi thực hiện phát bắn trong thực tế. Trong bài báo này, nhóm tác giả tiến hành mô hình toán mô hình bộ phóng TBB trên nền đàn hồi được xây dựng sử dụng phương trình Lagrange II. Mô hình hoá cơ hệ tương tác với nền đất đàn hồi bởi 6 bậc tự do, bổ sung lực ma sát Cu-lông giữa máng dẫn và máng trượt, chính xác hơn làm việc của cơ cấu giảm giạt với kết cấu 2 lò xo tác động lực giảm giạt khác nhau theo 2 chiều lên ống phóng, các cụm chi tiết kết cấu lên giá phóng và TBB được lấy theo kích thước và khối lượng thực tế. Giải quyết bài toán động lực học bộ phóng TBB trên nền đàn hồi được thực hiện qua các nội dung: mục 2 tiến hành mô hình toán và xây dựng mô hình động lực học bộ phóng, trong mục 3 tiến hành khảo sát và đưa ra các thông số dao động của bộ phóng với góc tâm thay đổi trong suốt quá trình thực hiện phát bắn đến khi bộ phóng ngừng dao động. Các kết quả nhận được về dao động của bộ phóng nhằm đánh giá tính ổn định của bộ, bảo đảm thực hiện phát bắn đưa TBB đến mục tiêu cũng như làm cơ sở phục vụ bài toán thiết kế các cụm chi tiết của các bộ phóng có kết cấu và nguyên lý phóng tương tự.

## **2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC BỘ PHÓNG**

### **2.1. Mô hình động lực học của bộ phóng**

*Các giả thiết thiết lập mô hình toán*

Coi các vật là các vật thể cứng tuyệt đối; coi lực đẩy của động cơ và lực áp suất khí thuốc tác dụng lên ống phóng là dọc trục tuyệt đối theo phương của ống phóng; không kể đến sự thay đổi của khối lượng động cơ phóng trong quá trình thực hiện phát bắn; bỏ qua lực ma sát giữa TBB và ống phóng; giả thiết các góc quay dao động của bộ phóng là nhỏ.

*Mô hình cơ hệ*

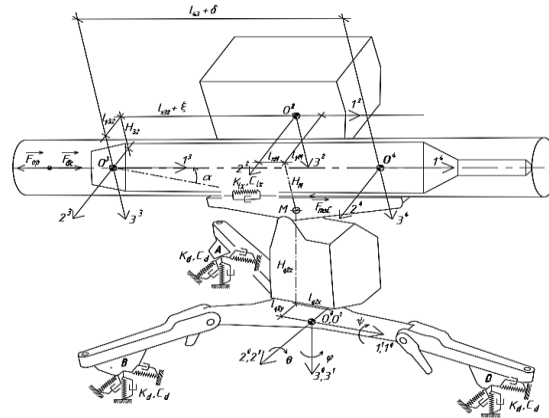
Bộ phóng TBB được coi là một cơ hệ gồm 8 tọa độ suy rộng với mô hình hình học được thể hiện ở hình 2, bao gồm: vật 1: Khối thân (bao gồm giá ba chân, cụm quay hướng, cụm quay tâm, hộp điều khiển, máng dẫn và kính ngắm) và các chi tiết gắn cứng với nó; vật 2: Ống phóng và các chi tiết gắn cứng với nó; vật 3: TBB và các chi tiết gắn cứng với nó.

*Các hệ tọa độ*

Các hệ tọa độ được thể hiện ở hình 2 bao gồm: Hệ tọa độ cố định  $R^0 = \{O^01^02^03^0\}$ ; hệ tọa độ liên kết gắn liền với khối tâm của giá ba chân, cụm quay hướng, cụm quay tâm và hộp điều khiển với  $R^1 = \{O^11^12^13^1\}$ ; hệ tọa độ liên kết gắn liền với khối tâm của máng dẫn và kính ngắm  $R^2 = \{O^21^22^23^2\}$ ; hệ tọa độ liên kết gắn liền với khối ống phóng  $R^3 = \{O^31^32^33^3\}$ ; hệ tọa độ liên kết gắn liền với TBB  $R^4 = \{O^41^42^43^4\}$  với gốc tọa độ của hệ tọa độ liên kết gắn với khối tâm các vật.

*Tọa độ suy rộng của cơ hệ*

Cơ hệ có 8 tọa độ suy rộng:  $\mathbf{q} = [x_c y_c z_c \psi \theta \varphi \xi \delta]^T$ , trong đó:  $x_c$  - là dịch chuyển dọc theo phương  $O^01^0$ ;  $y_c$  - là dịch chuyển dọc theo phương  $O^02^0$ ;  $z_c$  - là dịch chuyển dọc theo phương  $O^03^0$ ;  $\psi$  - góc quay xung quanh trục  $O^01^0$ ;  $\theta$  - góc quay xung quanh trục  $O^02^0$ ;  $\varphi$  - góc quay xung quanh trục  $O^03^0$ ;  $\xi$  - lượng dịch chuyển của ống phóng;  $\delta$  - lượng dịch chuyển của TBB trong ống phóng.



Hình 2. Mô hình cơ hệ của bộ phóng và hệ tọa độ.

Xác định ma trận cosin chỉ hướng

$$\mathbf{R}_{10} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \theta & -\sin \varphi \cos \psi & \sin \varphi \sin \psi \\ \sin \varphi \cos \theta & \cos \varphi \cos \psi & -\cos \psi \sin \psi \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \psi & \cos \theta \cos \psi \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 1 & -\varphi & \theta \\ \varphi & 1 & -\psi \\ -\theta & \psi & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{R}_{20} = \mathbf{R}_{10} \mathbf{R}_{21}$$

$$\mathbf{R}_{30} = \mathbf{R}_{20}; \mathbf{R}_{40} = \mathbf{R}_{20}; \mathbf{R}_{21} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

Trong đó,  $\alpha$  là góc giữa trục khối ống phóng với mặt phẳng  $O^1 1^1 2^1$  của hệ tọa độ  $\mathbf{R}^1$ .

Xác định tọa độ khối tâm của các vật trong hệ tọa độ cố định

- Tọa độ khối tâm của thân bộ (trong hệ tọa độ cố định):

$$\mathbf{r}_{10} = [x_C \quad y_C \quad z_C]^T$$

- Tọa độ của khối tâm máng dẫn trong hệ tọa độ  $\mathbf{R}^1$ :

$$\mathbf{r}_{21} = \mathbf{r}_{2p} + \mathbf{R}_{21} \cdot \mathbf{u}_2$$

trong đó,  $\mathbf{r}_{2p} = [l_{q2x} \quad l_{q2y} \quad H_{q2z}]^T$  và  $\mathbf{u}_2 = [l_{xM} \quad l_{yM} \quad H_M]^T$

- Tọa độ khối tâm của khối thân (vật 1) trong hệ tọa độ  $\mathbf{R}^0$ :

$$\mathbf{r}_{cg} = (m_{tcg} \mathbf{r}_{10} + m_2 \mathbf{r}_{21}) / (m_{tcg} + m_2)$$

Trong đó:  $m_{tcg}$  - Khối lượng của giá ba chân, cụm quay hướng, cụm quay tầm và hộp điều khiển;  
 $m_2$  - Khối lượng của máng dẫn và kính ngắm.

- Tọa độ khối tâm khối ống phóng (vật 2) trong hệ tọa độ  $\mathbf{R}^0$ :

$$\mathbf{r}_{30} = \mathbf{r}_{20} + \mathbf{R}_{20} \cdot \mathbf{r}_{32}$$

trong đó,  $\mathbf{r}_{32} = [l_{x32} + \xi \quad l_{y32} \quad H_{32}]^T$ .

- Toạ độ khối tâm TBB (vật 3) trong hệ toạ độ  $\mathbf{R}^0$ :

$$\mathbf{r}_{40} = \mathbf{r}_{30} + \mathbf{R}_{30} \cdot \mathbf{r}_{43}$$

trong đó,  $\mathbf{r}_{43} = [l_{43} + \delta \quad 0 \quad 0]^T$ .

*Xác định vận tốc dài của khối tâm các vật*

Vận tốc của các vật là:  $\mathbf{v}_{cg} = \dot{\mathbf{r}}_{cg}$ ;  $\mathbf{v}_{op} = \dot{\mathbf{r}}_{30}$  và  $\mathbf{v}_{tl} = \dot{\mathbf{r}}_{40}$

*Xác định vận tốc góc của các vật*

- Vận tốc góc của các vật trong  $\mathbf{R}^0$  được xác định bởi công thức:

$$\boldsymbol{\omega}_{cg} = [-\tilde{\omega}_{cg}(2,3), \tilde{\omega}_{cg}(1,3), \tilde{\omega}_{cg}(1,2)]^T; \boldsymbol{\omega}_{op} = [-\tilde{\omega}_{op}(2,3), \tilde{\omega}_{op}(1,3), \tilde{\omega}_{op}(1,2)]^T \quad (2)$$

trong đó, toán tử sóng véc tơ vận tốc góc của các vật trong  $\mathbf{R}^0$  được xác định:

$$\tilde{\omega}_{cg} = \dot{\mathbf{R}}_{cg} \mathbf{R}_{cg}^T; \tilde{\omega}_{op} = \dot{\mathbf{R}}_{30} \mathbf{R}_{30}^T \quad (3)$$

- Vận tốc góc của TBB trong hệ toạ độ  $\mathbf{R}^0$  như sau:  $\boldsymbol{\omega}_{tl} = \boldsymbol{\omega}_{op}$ .

## 2.2. Mô hình động lực học của bộ phóng

Theo [5], phương trình Lagrange II đối với một cơ hệ được viết dưới dạng:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{G}(\mathbf{q}) + \mathbf{Q}_d(\mathbf{q}) + \mathbf{Q}_n(\dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{Q}_{gg}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{Q}_{msc}(\mathbf{q}) + \mathbf{Q}_{dc} + \mathbf{Q}_{op} \quad (4)$$

Trong đó,  $\mathbf{M}(\mathbf{q})$  là ma trận khối lượng suy rộng:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) = \sum_1^4 (m_i \mathbf{J}_{Ti}^T \mathbf{J}_{Ti} + \mathbf{J}_R^T \mathbf{I}_i^{(0)} \mathbf{J}_R) \quad (5)$$

Trong đó:  $\mathbf{J}_{Ti}$  – Ma trận Jacobian tịnh tiến các vật;  $\mathbf{J}_{Ri}$  – Ma trận Jacobian quay của các vật;  $m_i$  – Khối lượng của các vật;  $\mathbf{I}_i^{(0)}$  – Ma trận quán tính khối lượng trong  $\mathbf{R}^0$  được xác định theo công thức:  $\mathbf{I}_i^{(0)} = \mathbf{R}_{i0} \mathbf{I}_i \mathbf{R}_{i0}^T$ ;  $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$  - Ma trận ly tâm và Coriolis:

$$\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \frac{\partial \mathbf{M}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} (\mathbf{E}_n \otimes \dot{\mathbf{q}}) - \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \mathbf{M}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} (\dot{\mathbf{q}} \otimes \mathbf{E}_n) \right)^T \quad (6)$$

*Xác định lực suy rộng là các thành phần bên vế phải của phương trình*

Xác định lực suy rộng dựa trên cơ sở công ảo của các ngoại lực bao gồm: trọng lực các vật, lực đàn hồi của nền, lực cản nhớt của nền, lực đàn hồi và cản nhớt của cơ cấu giảm giật, lực ma sát Coulomb trên cơ cấu giảm giật, lực đẩy động cơ, lực tác dụng vào ống phóng theo phương dọc trục.

$\mathbf{G}(\mathbf{q})$  – Lực suy rộng của trọng lực được xác định theo biểu thức:  $\mathbf{G}(\mathbf{q}) = - \left( \frac{\partial \Pi_g}{\partial \mathbf{q}} \right)^T$ . Trong

đó, thế năng của cơ hệ là  $\Pi_g = - \sum_{i=1}^4 m_i \mathbf{g}^T \mathbf{r}_i$  với  $\mathbf{g}$  là gia tốc trọng trường,  $\mathbf{g} = [0, 0, g]^T$ .

$\mathbf{Q}_d(\mathbf{q})$  – Lực suy rộng của lực đàn hồi nền được xác định theo biểu thức:  $\mathbf{Q}_d(\mathbf{q}) = - \left( \frac{\partial \Pi_d}{\partial \mathbf{q}} \right)^T$ .

Với thế năng đàn hồi của nền xác định bằng công thức:  $\Pi_d = \sum_{j=1}^3 \frac{1}{2} \mathbf{K}_d (\lambda_{0j} + \lambda_j)^2$ . Trong đó:  $\mathbf{K}_d$  là

ma trận độ cứng của nền,  $\lambda_{0j}$  – Lượng biến dạng của nền khi hệ ở trạng thái cân bằng tại vị trí thứ j,  $\lambda_j$  – Lượng biến dạng của nền bổ sung ở thời điểm t tại vị trí các chân A, B, D của chân bộ phóng:

$$\lambda_1 = \Delta \mathbf{r}_A^{(0)}; \lambda_2 = \Delta \mathbf{r}_B^{(0)}; \lambda_3 = \Delta \mathbf{r}_D^{(0)}.$$

$\mathbf{Q}_n(\dot{\mathbf{q}})$  – Lực suy rộng của lực cản nhớt nền xác định bằng công thức:  $\mathbf{Q}_n(\dot{\mathbf{q}}) = -\left(\frac{\partial \mathbf{R}_d}{\partial \dot{\mathbf{q}}}\right)^T$ .

Trong đó, hàm hao tán  $R_d$  của giảm chấn nền là:  $\mathbf{R}_d = \sum_{j=1}^3 \frac{1}{2} C_d \dot{\lambda}_j^2$ ,  $C_d$  – Hệ số giảm chấn của nền.

$\mathbf{Q}_{gg}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$  – Lực suy rộng của lực đàn hồi và lực cản nhớt của cơ cấu giảm giật được xác định bởi:  $\mathbf{Q}_{gg}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = -\frac{\partial \Pi_{lx}}{\partial \mathbf{q}} - \frac{\partial \Pi_{gc}}{\partial \dot{\mathbf{q}}}$ , với  $\Pi_{lx} = \frac{1}{2} K_{lx} (l_0 + \xi)^2$ ,  $\Pi_{gc} = \frac{1}{2} C_{lx} \xi^2$ , trong đó,  $l_0$  – Độ biến dạng ban đầu lò xo giảm giật ở trạng thái hệ cân bằng,  $K_{lx}$  – Độ cứng của lò xo giảm giật,  $C_{lx}$  – Hệ số giảm chấn của lò xo giảm giật.

$\mathbf{Q}_{msC}(\mathbf{q})$  – Lực suy rộng của lực ma sát Cu-long [4] trên cơ cấu giảm giật:  $\mathbf{Q}_{msC}(\mathbf{q}) = -\frac{\partial W_{ms}}{\partial \mathbf{q}}$ ,

trong đó, công ảo lực ma sát:  $\delta W_{ms} = -F_{ms} \cdot \delta \xi$ , với  $F_{ms} = -f_k \cdot |N_k| \cdot \text{signum}\left(\frac{\dot{\xi}}{|\dot{\xi}|}\right)$ ,

$N_k = (m_3 + m_4)g \cos \varphi$  – Phản lực pháp tuyến.

$\mathbf{Q}_{dc}$  – Lực suy rộng của lực đẩy động cơ được xác định bởi:  $\mathbf{Q}_{dc} = \left(\frac{\partial \mathbf{r}_{40}}{\partial \mathbf{q}}\right)^T \mathbf{F}_{dc}$ , trong đó:  $\mathbf{F}_{dc}$  -

Lực tác dụng lên TBB trong hệ tọa độ cố định,  $\mathbf{F}_{dc} = \mathbf{R}_{40} [F_{dc} \ 0 \ 0]^T$ .

$\mathbf{Q}_{op}$  – Lực suy rộng của lực tác dụng lên ống phóng theo phương dọc trục xác định bởi:

$\mathbf{Q}_{op} = \left(\frac{\partial \mathbf{r}_{30}}{\partial \mathbf{q}}\right)^T \mathbf{F}_{op}$ , trong đó:  $\mathbf{F}_{op}$  - Lực tác dụng lên ống phóng trong hệ tọa độ cố định,

$\mathbf{F}_{op} = \mathbf{R}_{30} [F_{op} \ 0 \ 0]^T$ .

### 3. MÔ PHỎNG, TÍNH TOÁN, THẢO LUẬN

#### 3.1. Số liệu đầu vào

Mô hình động lực học được xây dựng ở mục 2 được áp dụng để khảo sát dao động của bộ phóng TBB, các thông số cho mô phỏng này được đưa ra ở bảng 1. Các thông số kết cấu ở bảng này được dựa trên cơ sở mô hình 3D thiết kế bộ phóng. Quá trình mô phỏng dao động của bộ phóng được thực hiện từ khi động cơ phóng bắt đầu làm việc đến sau đó 1,2 s. Quá trình được chia thành 3 giai đoạn liên tiếp nhau gồm:

*Giai đoạn 1:* Động cơ bắt đầu hoạt động lực đẩy tăng dần đến khi lấy đai hãm bị cắt  $F_C \geq 1000\text{N}$  với  $0 \leq t \leq t_1$ . Ở giai đoạn này TBB không chuyển động. Điều kiện đầu cho giai đoạn này là:

$$t = 0, x_C = 0, \dot{x}_C = 0, y_C = 0, \dot{y}_C = 0, z_C = 0, \dot{z}_C = 0, \alpha = \alpha_0, \dot{\alpha} = 0, \\ \beta = 0, \dot{\beta} = 0, \sigma = 0, \dot{\sigma} = 0, \xi = 0, \dot{\xi} = 0, \delta = 0, \dot{\delta} = 0$$

Thời điểm kết thúc giai đoạn này là  $F_C \geq 1000\text{N}$ , tương đương khoảng 0,001s.

*Giai đoạn 2:* Từ khi TBB bắt đầu di chuyển trong ống phóng đến khi di chuyển hết chiều dài ống phóng. Điều kiện đầu cho giai đoạn này là:  $x_C, \dot{x}_C, y_C, \dot{y}_C, z_C, \dot{z}_C, \alpha, \dot{\alpha}, \beta, \dot{\beta}, \sigma, \dot{\sigma}, \xi, \dot{\xi}, \delta, \dot{\delta} \Big|_{t=t_1}$ , thời điểm kết thúc cho giai đoạn này là  $t = t_2$  (thời điểm TBB di chuyển hết chiều dài ống phóng).

Giai đoạn 3: Từ khi TBB rời bề mặt khi các chuyển động của bộ phóng không còn dao động. Điều kiện đầu cho giai đoạn này là  $x_C, \dot{x}_C, y_C, \dot{y}_C, z_C, \dot{z}_C, \alpha, \dot{\alpha}, \beta, \dot{\beta}, \sigma, \dot{\sigma}, \xi, \dot{\xi} \Big|_{t=t_2}$ , giai đoạn này không xét đến chuyển động của TBB.

**Bảng 1.** Các số liệu đầu vào cho mô phỏng dao động của bộ phóng TBB.

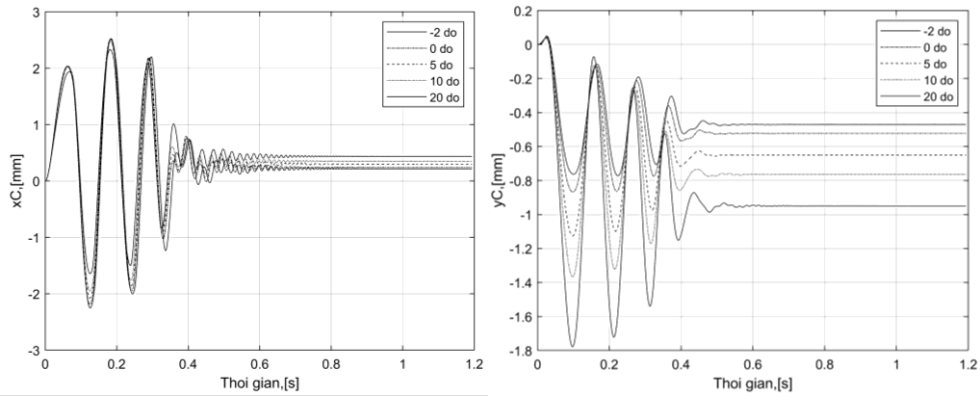
TT	Tên thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Khối lượng của giá ba chân, cụm quay hướng, cụm quay tầm và hộp điều khiển	$m_{icg}$	18,7	kg
2	Khối lượng của máng dẫn và kính ngắm	$m_2$	19,4	kg
3	Khối lượng của ống phóng và động cơ phóng	$m_3$	6,7	kg
4	Khối lượng của TBB	$m_4$	9,6	kg
5	Mô men quán tính khối lượng của khối thân	$I_{1x}, I_{1y}, I_{1z}$	$506365 \cdot 10^{-6}; 989760 \cdot 10^{-6}; 1049853 \cdot 10^{-6}$	kgm <sup>2</sup>
6	Mô men quán tính khối lượng của máng dẫn	$I_{2x}, I_{2y}, I_{2z}$	$505870 \cdot 10^{-6}; 609948 \cdot 10^{-6}; 259258 \cdot 10^{-6}$	kgm <sup>2</sup>
7	Mô men quán tính khối lượng của ống phóng	$I_{3x}, I_{3y}, I_{3z}$	$38276 \cdot 10^{-6}; 709457 \cdot 10^{-6}; 709712 \cdot 10^{-6}$	kgm <sup>2</sup>
8	Mô men quán tính khối lượng của TBB	$I_{4x}, I_{4y}, I_{4z}$	$19296 \cdot 10^{-6}; 589570 \cdot 10^{-6}; 589453 \cdot 10^{-6}$	kgm <sup>2</sup>
9	Lực cắt của đai hãm	$F_C$	1000	N
10	Các kích thước hình học	$l_{q2x}; l_{q2y}; H_{q2z}; l_{xM}; l_{yM}; H_M; l_{x32}; l_{y32}; H_{32}; l_{43}; \xi_0; \delta_0$	0,003; 0,01; -0,23; 0,02; 0,06; 0,183; -0,1; 0,06; 0,078; 0,129; 0; 0	m
11	Độ cứng lò xo giảm giạt	$K_{lx1}; K_{lx2}$	6500 5500	N/m
12	Hệ số ma sát	$\mu$	0,015	

**3.2. Kết quả mô phỏng và bình luận**

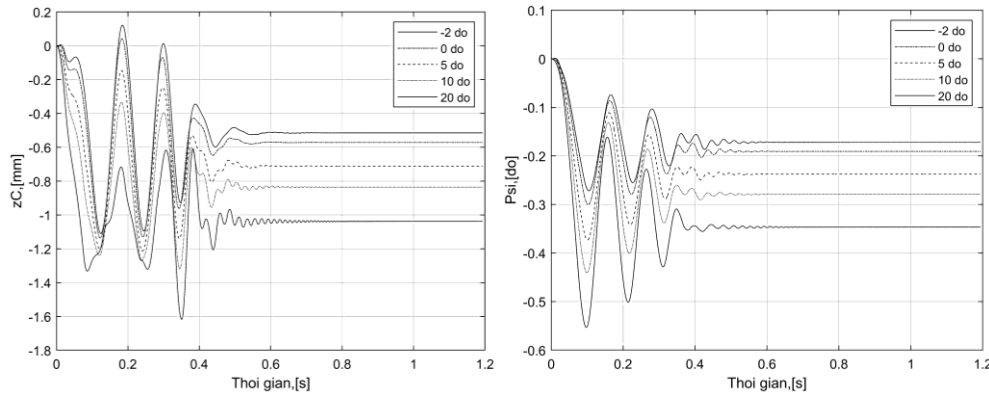
Hệ phương trình vi phân dao động của bộ phóng TBB được giải bằng phương pháp số trên phần mềm chuyên dụng. Các kết quả được thể hiện trong 5 trường hợp với góc tầm  $\alpha$  thay đổi  $-2^\circ, 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$  và  $20^\circ$ , đây lần lượt là các giá trị giới hạn về góc tầm của bộ phóng.

Qua khảo sát, các giá trị về dịch chuyển của bộ khi bộ ngừng dao động được chỉ ra như sau: dịch chuyển dọc  $x_C$  gần như không thay đổi và có biên độ là 4 mm, dịch chuyển ngang  $y_C$  tăng từ 0,47 mm đến 0,95 mm với biên độ khoảng 1 mm, dịch chuyển đứng  $z_C$  cũng tăng từ 0,5 mm đến 1 mm với biên độ khoảng 1 mm. Trong khi góc quay  $\varphi$  thay đổi không đáng kể thì góc quay  $\psi$  và  $\theta$  có sự thay đổi lớn hơn lần lượt là  $0,17^\circ$  đến  $0,35^\circ$  và  $0,08^\circ$  đến  $0,16^\circ$ , với trường hợp góc tầm  $20^\circ$  thì giá trị góc quay  $\psi$  lớn nhất đạt đến  $0,55^\circ$  và góc quay  $\theta$  đạt đến  $0,27^\circ$ . Dịch chuyển  $\zeta$  của ống phóng không thay đổi nhiều khi thay đổi góc tầm, đạt giá trị về biên độ lớn nhất là 24 mm khi góc tầm nhỏ nhất là  $-2^\circ$ . Như vậy, khi giá trị góc tầm thay đổi nhìn chung dao động của bộ phóng tăng dần khi tăng dần góc tầm cũng như các quy luật dao động của bộ phóng trong các trường hợp là tương tự nhau.

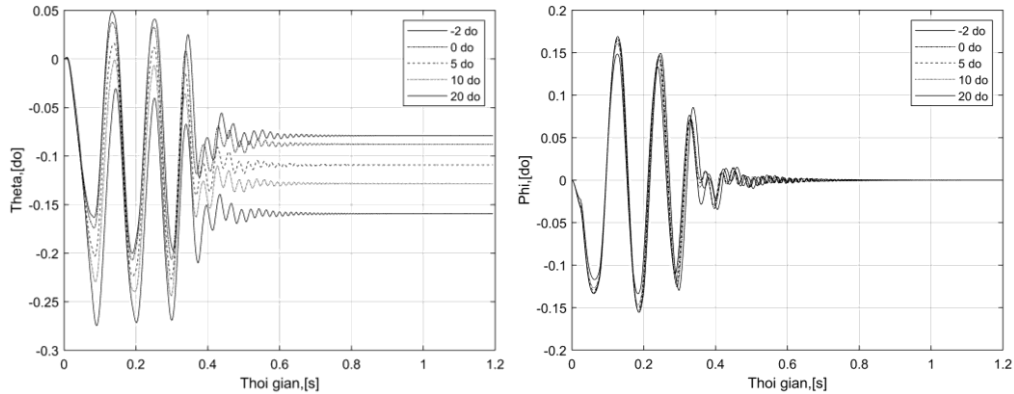
Khảo sát, đánh giá dao động của toàn bộ phóng có ý nghĩa quan trọng, đánh giá ảnh hưởng đến quá trình thực hiện phát bắn, bởi khi thực hiện phát bắn cần loại bỏ nhiễu trong khoảng thời gian từ khi phát hoả động cơ phóng cho đến lúc TBB bay khoảng  $\leq 0,4$  s, tức là sau thời gian này bộ phóng phải ổn định, ít dao động nhất có thể để kính ngắm trên bộ phóng truyền các lệnh điều khiển lên TBB đang bay. Qua các đồ thị, cho thấy dao động của kính ngắm theo góc tầm và góc hướng lớn nhất lần lượt là  $\psi = 0,55^\circ$  và  $\theta = 0,27^\circ$ , nhỏ hơn giá trị giới hạn trường nhìn của kính ngắm là  $\pm 3^\circ$ , bộ dao động mạnh trong khoảng 3 chu kỳ đầu tiên với tổng thời gian khoảng 0,35 s, sau 0,4 s dao động của bộ sau đã là rất nhỏ và sau 0,5 s thì gần như là tắt hẳn dao động. Như vậy, dao động của bộ nằm trong khoảng giới hạn cho phép, đảm bảo dập tắt được dao động khi thực hiện phát bắn trước khoảng thời gian yêu cầu, điều này cũng cho thấy kết cấu của bộ phóng là hợp lý, bảo đảm thực hiện phát bắn.



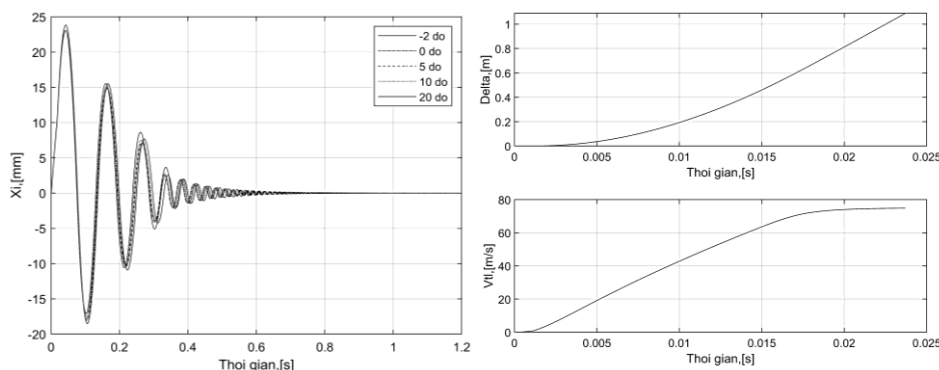
Hình 3. Dịch chuyển dọc  $x_C$  và ngang  $y_C$  của bộ phóng khi  $\alpha$  thay đổi.



Hình 4. Dịch chuyển đứng  $z_C$  và góc quay  $\psi$  của bộ phóng khi  $\alpha$  thay đổi.



Hình 5. Góc quay  $\theta$  và góc quay  $\varphi$  của bộ phóng khi  $\alpha$  thay đổi.



Hình 6. Dịch chuyển  $\xi$  của ống phóng khi  $\alpha$  thay đổi và dịch chuyển, vận tốc TBB.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng được mô hình động lực học của bộ phóng trên nền đàn hồi, kết quả là một hệ phương trình vi phân cấp 2 với 8 biến là 8 tọa độ suy rộng của cơ hệ. Sử dụng mô hình này để nghiên cứu dao động của cấu hình bộ phóng TBB với các thông số thiết kế được đưa ra. Các kết quả dao động của bộ thu được khi thay đổi góc tầm từ nhỏ nhất đến lớn nhất khi thực hiện phát bắn cho thấy các dịch chuyển của bộ nằm trong giới hạn cho phép, bảo đảm bộ không bị dịch chuyển hay rung lắc quá mạnh trong thời gian yêu cầu để tiến hành phát bắn đưa TBB đến mục tiêu. Các kết quả này cũng là các dữ liệu quan trọng phục vụ tính toán thiết kế các cụm kết cấu của giá bộ phóng, tối ưu hoá phát bắn cho một lớp các đối tượng có cùng nguyên lý kết cấu, nguyên lý phóng.

Bài báo này đã được báo cáo tại Hội thảo khoa học Quốc gia “Ứng dụng Công nghệ cao vào thực tiễn” năm 2024.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. N.T.Sy, St.Beer, V.V.Bien, N.D.Phon, N.M.Phu, “Oscillation of the Anti-tank Missile System Fagot Fired on the Elastic Ground”, International Conference on Military Technologies, (2019).
- [2]. Bùi Đình Tân, Mai Duy Phương, Dương Quốc Việt, “Khảo sát các tham số động lực học và dao động của thiết bị phóng sử dụng nguyên lý “động - phản lực””, Tạp chí Nghiên cứu KH&CN Quân sự, 94, 166 - 172, (2024).
- [3]. Trần Xuân Diệu, Nguyễn Xuân Thành, “Nghiên cứu dao động của xe bộ phóng trên nền đàn hồi”, Tạp chí Nghiên cứu KH&CN Quân sự, 93, 149-154, (2024).
- [4]. Đỗ Đăng Khoa, Phan Đăng Phong, Đỗ Sanh, “Động lực học cơ hệ với ma sát Cu-lông”, Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ X, (2017).
- [5]. Nguyễn Văn Khang, “Động lực học hệ nhiều vật”, Nhà xuất bản KHKT, Hà Nội, (2017).
- [6]. Nguyễn Lạc Hồng, Nguyễn Xuân Anh, “Giáo trình tính toán bộ phóng và động lực học khi phóng”, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, (1998).

#### ABSTRACT

##### Investigating the dynamic model of the flying object on the elastic background

In the article, the dynamic model of the launcher on elastic ground is established using the Lagrange II equation. Using this model for the configuration of the airborne device launcher, the oscillation laws of the movements of the launch platform are determined. This allows for the assessment of the launcher’s oscillation on elastic ground during firing, serving as a basis for the design calculations of several structural components of the launcher, optimizing the firing for a class of launchers with the same structural principles and launching mechanisms.

**Keywords:** Launcher; Azimuth angle; Yaw angle; Pitch angle; Roll angle; Elastic ground.