

Nghiên cứu xây dựng mô hình toán học mô tả hoạt động của cơ cấu ngăn cách dạng khối quay hình cầu

Phan Bá Bình*, Nguyễn Thế Minh

Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng, 51 Phú Diễn, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: panboping1976@gmail.com

Nhận bài: 22/4/2024; Hoàn thiện: 02/7/2024; Chấp nhận đăng: 12/8/2024; Xuất bản: 25/8/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.97.2024.157-164>

TÓM TẮT

Cơ cấu ngăn cách nhằm đảm bảo an toàn cho ngòi nổ có nhiều hình dạng khác nhau như: dạng thanh trượt, dạng đĩa quay, dạng khối quay hình cầu,... Cơ cấu ngăn cách dạng khối quay hình cầu có kết cấu nhỏ gọn, đơn giản nên phù hợp khi sử dụng cho các ngòi nổ cỡ nhỏ, có vận tốc quay lớn. Bài báo đã xây dựng mô hình cơ học đối với vật thể quay quanh một điểm cố định (tâm hình học của cơ cấu), thành lập hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của vật thể, tính toán xác định được thời gian hoạt động phục vụ cho việc nghiên cứu thiết kế và thử nghiệm.

Từ khoá: Con quay 3 bậc tự do; Cơ cấu bảo hiểm; Cơ cấu ngăn cách; Khối quay hình cầu.

1. MỞ ĐẦU

Cơ cấu ngăn cách là bộ phận có vai trò ngăn cách đường truyền nổ để đảm bảo rằng khi một phần tử nhạy nổ bị kích hoạt không mong muốn thì cơ cấu ngăn cách sẽ ngăn chặn sự lan truyền năng lượng nổ để các phần tử tiếp theo không bị kích nổ. Nguy cơ nổ không mong muốn có thể xảy ra trong quá trình bảo quản (sắp xếp, bốc dỡ hoặc tự kích nổ,...), trong vận chuyển (do va đập, do rung xóc của các phương tiện vận chuyển...), khi bắn (do lực quán tính rất lớn) và các va đập, chấn động khác,... Cơ cấu ngăn cách thường được giữ bởi chi tiết bảo hiểm. Khi chi tiết bảo hiểm giải phóng cho cơ cấu ngăn cách thì cơ cấu ngăn cách sẽ chuyển về vị trí chiến đấu. Các cơ cấu ngăn cách đều có ưu nhược điểm riêng, vì vậy mà cũng có nhiều kiểu khác nhau. Kiểu đơn giản nhất chỉ là một tấm trượt mang ống nổ, chuyển động thẳng như trong các loại ngòi đạn cối; có khi là một chi tiết quay quanh trục cố định như trong một số loại ngòi cao xạ. Cơ cấu ngăn cách trong bài báo có dạng khối quay hình cầu, chuyển động quay quanh một điểm cố định (chính là tâm hình học của cơ cấu) [1-3]. Phức tạp hơn người ta còn sử dụng cơ cấu đồng hồ làm cơ cấu ngăn cách cho ngòi đạn [4, 5].

Các loại ngòi cao xạ sử dụng cụm hỏa thuật để bảo hiểm cho cơ cấu ngăn cách thường có tuổi thọ kém và chất lượng không ổn định. Loại ngòi sử dụng cơ cấu ngăn cách dạng khối quay hình cầu có kết cấu đơn giản, không sử dụng hỏa thuật nên có tuổi thọ cao. Do đó, việc nghiên cứu ứng dụng cơ cấu ngăn cách dạng khối quay hình cầu là một giải pháp có tính hữu ích.

Để phục vụ cho tính toán, thiết kế cần phải xây dựng được mô hình tính toán động lực học chuyển động của cơ cấu. Một số nghiên cứu đã đưa ra kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm [6, 7], tuy nhiên, các nghiên cứu đó đã không chi tiết quá trình thành lập hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của cơ cấu. Bài báo này trình bày phương pháp xây dựng mô hình toán học cùng với phương pháp giải làm cơ sở cho việc tính toán, thiết kế cơ cấu ngăn cách dạng khối quay hình cầu.

2. MÔ HÌNH CƠ HỌC VÀ HỆ PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN MÔ TẢ CHUYỂN ĐỘNG CỦA CƠ CẤU NGĂN CÁCH

2.1. Cấu tạo và hoạt động của cơ cấu ngăn cách

Cấu tạo: hình 1 mô tả cấu tạo của cụm bảo hiểm. Cụm này được cấu tạo bởi các chi tiết:

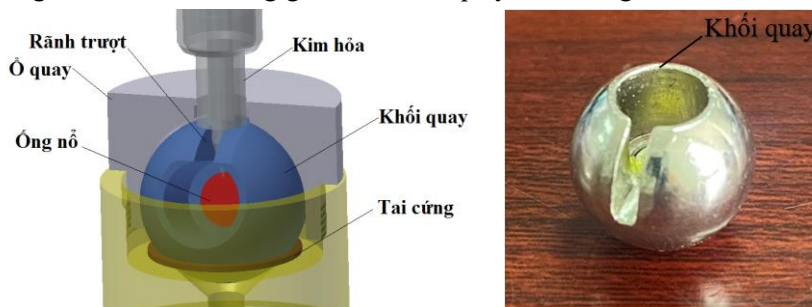
- Khối quay (chứa ống nổ) (*Cơ cấu ngăn cách*): Đây là đối tượng bài báo đang nghiên cứu, nó có dạng khối quay hình cầu, bên trong khối quay có chứa ống nổ. Ở vị trí trước khi bắn (khối quay nằm

ngang như hình vẽ), nếu ống nỏ bị nổ, sóng nổ và nhiệt lượng sinh ra sẽ không thể kích hoạt truyền nổ (không vẽ ở trong hình- được đặt phía dưới cụm bảo hiểm). Khi khối quay quay về vị trí chiến đấu (khối quay ở vị trí nằm dọc), mạch nổ của ngòi nổ được mở thông, ngòi sẵn sàng làm việc.

- Tai cứng (chi tiết bảo hiểm): Có dạng vòng tròn khuyết, hai càng ôm lấy khối quay. Khi hai càng của tai cứng doãng ra thì khối quay mới được giải phóng.

- Kim hỏa: Trong bảo quản vận chuyển kim hỏa luôn tỳ lên khối quay nhờ vào lò xo đặt phía trên kim hỏa.

- Ổ quay: dùng để đỡ và tạo không gian cho khối quay hoạt động.



Hình 1. Cấu tạo cụm bảo hiểm.

Hoạt động: Trong bảo quản vận chuyển khối quay (chứa ống nỏ) được giữ bởi tai cứng và lực tỳ của kim hỏa thông qua lò xo tác dụng lên kim hỏa. Khi bắn dưới tác dụng của lực quán tính trục, tai cứng, khối quay, cụm kim hỏa bị giữ chặt và cùng quay với ngòi nổ. Khi lực quán tính trục mất đi tai cứng mất liên kết cứng với ngòi, quay tự do với vận tốc góc ban đầu so với hệ quy chiếu quán tính gắn với mặt đất. Dưới tác dụng của lực ly tâm tai cứng doãng ra giải phóng cho khối quay. Lúc này cơ cấu trong ngòi (không thể hiện trong hình vẽ) có nhiệm vụ nhắc kim hỏa lên giải phóng cho khối quay. Khối quay sau khi được giải phóng sẽ quay về vị trí chiến đấu (vị trí mà trục đối xứng của ống nỏ trùng với trục đối xứng của ngòi nổ).

2.2. Mô hình cơ học và hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của cơ cấu ngăn cách

Các giả thiết khi xây dựng mô hình cơ học:

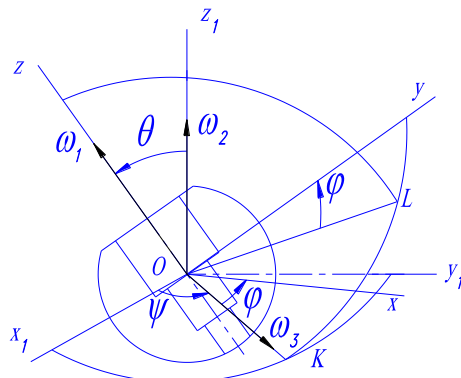
- Không tính đến các sai lệch hình học làm mất tính đối xứng của khối quay và các sai số lắp ghép dẫn đến tâm hình học của khối quay không nằm trên trục ngòi;

- Bỏ qua sự lệch tâm của đạn, mô men sinh ra do chuyển động tương tiến động của đạn, gia tốc criolit.

Khi đó có thể xem ngay khi được giải phóng khối quay có vận tốc góc tức thì ω_0 quay quanh trục ngòi, lúc này trục ngòi chính là trục quay tức thì của khối quay, trục quay này luôn đi qua một điểm cố định, đó là tâm hình học của khối quay. Như vậy, về mô hình cơ học thì đây là bài toán vật rắn quay quanh một điểm cố định. Ban đầu khối quay bị hạn chế bởi kim hỏa thông qua rãnh trên khối quay, lúc này vật rắn quay với hai bậc tự do, sau khi thoát ra khỏi rãnh vật rắn quay quanh điểm cố định với ba bậc tự do. Trước hết, bài toán được xây dựng chung cho trường hợp ba bậc tự do.

Xét chuyển động của khối quay (vật thể) trong hệ quy chiếu $Ox_1y_1z_1$ với điểm O luôn cố định trong suốt thời gian vật thể chuyển động (hình 2). Gắn vào khối quay một tam diện $Oxyz$ mà theo vị trí của nó có thể xác định được vật thể (Trục Oz trùng với trục của ống nỏ, trục Oy và trục Oz bất kỳ đi qua điểm cố định O. Để thuận lợi trong tính toán, trục Oy và trục Oz được chọn sao cho chúng là những trục quán tính chính của vật thể. Qua một điểm bất kỳ của vật thể bao giờ cũng dựng được ba trục quán tính chính vuông góc với nhau. Trục Oy được chọn song song với rãnh trượt để thuận lợi khi áp dụng cho trường hợp vật thể chuyển động với hai bậc tự do).

Khi đó vị trí của tam diện Oxyz và của vật thể trong hệ trục Ox₁y₁z₁ được xác định bằng các góc φ, Ψ và θ. Đây là những góc Ole mà trong cơ học thiên thể φ gọi là góc quay riêng, Ψ là góc tiến động (tuế sai), θ là góc kênh (góc nuta) [8].



Hình 2. Khối quay trong các hệ quy chiếu.

Để xác định chuyển động của vật rắn, cần biết vị trí của nó trong hệ trục Ox₁y₁z₁ ở mọi thời điểm t, tức là cần biết các hệ thức:

$$\varphi = f_1(t), \quad \psi = f_2(t), \quad \theta = f_3(t) \tag{1}$$

Ký hiệu các vận tốc góc tương ứng với các chuyển động quay đó là $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ rồi biểu diễn chúng bằng các vectơ hướng theo các trục tương ứng. Trị số của chúng bằng:

$$\omega_1 = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi}, \quad \omega_2 = \frac{d\psi}{dt} = \dot{\psi}, \quad \omega_3 = \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta}$$

Khi đó, vận tốc góc tại thời điểm khảo sát bằng:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3$$

Hình chiếu của phương trình trên lên các trục di động Oxyz:

$$\begin{cases} \omega_x = \omega_{1x} + \omega_{2x} + \omega_{3x} \\ \omega_y = \omega_{1y} + \omega_{2y} + \omega_{3y} \\ \omega_z = \omega_{1z} + \omega_{2z} + \omega_{3z} \end{cases} \tag{2}$$

Hình chiếu của các vectơ ω_1, ω_2 và ω_3 trên các trục Oxyz là:

$$\begin{aligned} \omega_{1x} = \omega_{1y} = 0, \quad \omega_{1z} = \dot{\varphi} \\ \omega_{2x} = \dot{\psi} \sin \theta \sin \varphi; \quad \omega_{2y} = \dot{\psi} \sin \theta \cos \varphi; \quad \omega_{2z} = \dot{\psi} \cos \theta \\ \omega_{3x} = \dot{\theta} \cos \varphi; \quad \omega_{3y} = -\dot{\theta} \sin \varphi; \quad \omega_{3z} = 0 \end{aligned}$$

Thay các hình chiếu vào hệ thức (2), ta có:

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \sin \theta \sin \varphi & \cos \varphi \\ 0 & \sin \theta \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 1 & \cos \theta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\psi} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\text{Đặt: } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & \sin \theta \sin \varphi & \cos \varphi \\ 0 & \sin \theta \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 1 & \cos \theta & 0 \end{bmatrix}; \quad \dot{\mathbf{q}} = \begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\psi} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}, \text{ ta có: } \omega = \mathbf{A}\dot{\mathbf{q}}$$

$$\Rightarrow \dot{q} = A^{-1}\omega = \begin{bmatrix} -\sin\varphi \cot g\theta & \cos\varphi \cot g\theta & 1 \\ \sin\varphi / \sin\theta & -\cos\varphi / \sin\theta & 0 \\ \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \end{bmatrix} \cdot \omega \quad (4)$$

Đến đây ta đã tìm được các đạo hàm bậc nhất của của các góc quay trong các hàm số ở công thức (1) theo vận tốc góc trong hệ tọa độ Oxyz. Chúng ta cần tìm lời giải cho các vận tốc góc này.

Giả sử vật rắn chịu tác dụng của các lực $F_1^e, F_2^e, \dots, F_n^e$ theo định lý Redan [8], vận tốc điểm đầu mút vectơ momen động lượng K_0 (vectơ momen động lượng đối với điểm O) bằng tổng momen ngoại lực đối với tâm quay, nên ta có:

$$v_B = M_0^e \quad (5)$$

Trong đó: $M_0^e = \sum m_0(F_n^e)$, còn v_B là vận tốc trong hệ quy chiếu quán tính $Ox_1y_1z_1$. Để có phương trình chuyển động với dạng đơn giản nhất, chiếu cả hai vế của biểu thức trên lên các trục Oxyz, là trục quán tính chính đối với điểm O. Hệ này gắn liền và chuyển động cùng với vật thể. Khi đó, hình chiếu của vectơ K_0 sẽ có biểu thức đơn giản với các momen quán tính J_x, J_y, J_z là các đại lượng không đổi.

Để tính hình chiếu của vận tốc tuyệt đối v_B trên các trục di động, xem v_B như tổng của vận tốc tương đối v_B^{tgd} (đối với các trục Oxyz) và vận tốc theo v_B^t . Khi đó (5) sẽ có dạng:

$$v_B^{tgd} + v_B^t = M_0^e \quad (6)$$

Trước hết cần tìm phương trình chuyển động chiếu trên trục Ox. Theo (6) ta có:

$$v_{Bx}^{tgd} + v_{Bx}^t = M_x^e \quad (7)$$

Hình chiếu của vận tốc tương đối trên các trục di động chính bằng hình chiếu của vectơ K_0 trên các trục đó, tức là:

$$v_{Bx}^{tgd} = \frac{dK_x}{dt} = J_x \frac{d\omega_x}{dt}$$

Vận tốc theo v_B^t là vận tốc của điểm cố định trong hệ trục Oxyz (tức là trọng vật) mà điểm đầu mút của vectơ K_0 trùng với nó tại thời điểm này, nên ta có:

$$v_B^t = \omega \wedge K_0$$

Trong đại số vectơ nếu $c = a \wedge b$ thì $c_x = a_y b_z - a_z b_y$ do đó ta có:

$$v_{Bx}^t = \omega_y K_z - \omega_z K_y = (J_z - J_y)\omega_y \omega_z \quad (8)$$

Thay các giá trị vừa tìm được vào biểu thức (7) ta được phương trình:

$$J_x \frac{d\omega_x}{dt} + (J_z - J_y)\omega_y \omega_z = M_x^e$$

Đối với hình chiếu trên các trục Oy, Oz ta cũng làm tương tự sẽ được hệ phương trình:

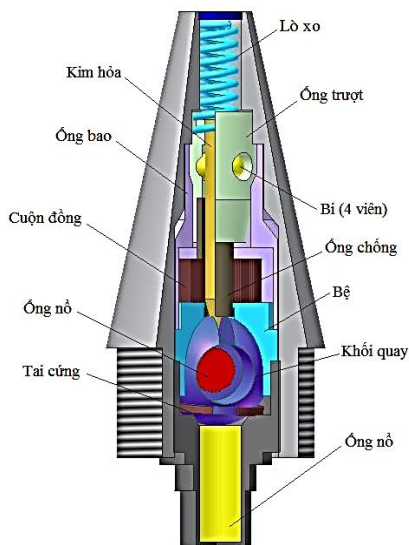
$$\begin{cases} J_x \cdot d\omega_x / dt + (J_z - J_y)\omega_y \omega_z = M_x^e \\ J_y \cdot d\omega_y / dt + (J_x - J_z)\omega_z \omega_x = M_y^e \\ J_z \cdot d\omega_z / dt + (J_y - J_x)\omega_x \omega_y = M_z^e \end{cases} \quad (9)$$

Nếu vị trí của vật thể được xác định bằng các góc Ôle φ, Ψ, θ thì bài toán cơ bản của động lực học sẽ là tìm quy luật chuyển động của vật thể, tức là các hàm $\varphi = \varphi(t), \psi = \psi(t), \theta = \theta(t)$ theo các

hàm M_x^e, M_y^e, M_z^e đã biết. Để giải quyết bài toán này cần kết hợp các phương trình (9) với các phương trình (4) ta được hệ sáu phương trình vi phân cấp một. Trong trường hợp chung sẽ giải hệ phương trình bằng phương pháp số.

3. PHƯƠNG PHÁP GIẢI VÀ KẾT QUẢ TÍNH

Áp dụng mô hình toán học để tính toán cho ngòi nổ ZHML-10C lắp trên đạn 23 mm HEI và HEI-T bắn trên pháo phòng không 23 mm 3Y23-2 (hình 3 là hình ảnh được xây dựng từ mẫu khảo sát), với các thông số khảo sát trên mẫu và kết quả tính toán thuật phóng như sau:



Hình 3. Ngòi ZHML-10C của Trung Quốc

- Sơ tốc: $v_0 = 980 \text{ m/s}$, vận tốc góc của đạn tại miệng nòng: $\Omega_0 = 6594 \text{ rad/s}$.

- Mô men quán tính đối với các trục x, y, z là (tính toán trên phần mềm Inventor):

$$J_x = 28 \text{ gmm}^2; J_y = 29 \text{ gmm}^2; J_z = 35 \text{ gmm}^2$$

- Góc nghiêng ban đầu của khối quay so với trục ngòi (trục oz₁): $\theta_0 = 70^\circ$.

- Góc nghiêng của khối quay so với trục ngòi tại vị trí kim hỏa thoát ra khỏi rãnh trên khối quay là: $\theta_f = 30^\circ$.

- Mô men ngoại lực: Mô men ngoại chủ yếu đến từ thành phần mô men ma sát sinh ra do sự lệch tâm và chuyển động tương tiến động của đạn [8]. Đây là đại lượng cần đến các tham số thực nghiệm, trong khuôn khổ bài báo bỏ qua đại lượng này.

Chia hoạt động của khối quay thành hai giai đoạn như sau:

Giai đoạn 1: Khi bắt đầu quay, rãnh của khối quay trượt trên mũi của kim hỏa. Kim hỏa hạn chế khối quay quay quanh trục của chính nó (trục oz), do đó, góc φ luôn bằng 0, khối quay quay với hai bậc tự do.

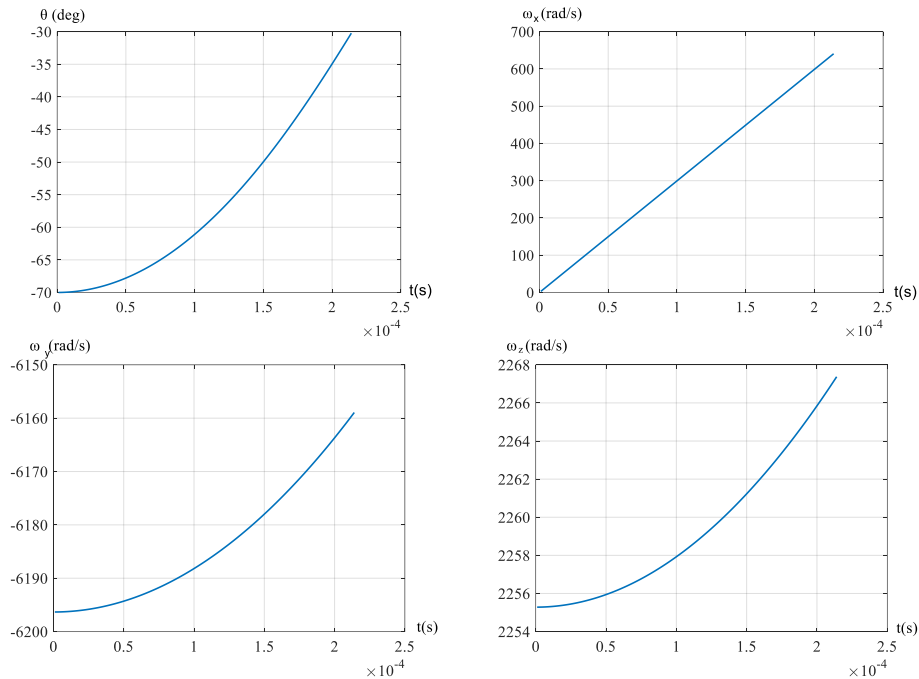
Giai đoạn 2: Khi rãnh của khối quay thoát ra khỏi mũi kim hỏa, khối quay quay với ba bậc tự do.

* *Giai đoạn 1:*

Khi khối quay quay với hai bậc tự do, ta luôn có: $\varphi = \dot{\varphi} = 0$, khi đó, hệ phương trình trên được viết thành:

$$\begin{cases} \dot{\psi} = -\omega_y / \sin \theta \\ \dot{\theta} = \omega_x \\ \dot{\omega}_x = \omega_y \omega_z (J_y - J_z) / J_x \\ \dot{\omega}_y = \omega_z \omega_x (J_z - J_x) / J_y \\ \dot{\omega}_z = \omega_x \omega_y (J_x - J_y) / J_z \end{cases} \quad (10)$$

Giải phương trình này bằng phương pháp số theo phương pháp Runge-Kuta với điều kiện đầu: $\theta_0 = 70^\circ$, điều kiện cuối là: $\theta_f = 30^\circ$ (ứng với thời điểm kim hỏa thoát ra khỏi rãnh trên khối quay) ta tìm được các đồ thị biểu diễn sự biến thiên của các tham số: $\varphi(t)$, $\omega_x(t)$, $\omega_y(t)$, $\omega_z(t)$ như trên đồ thị ở hình 4.



Hình 4. Giá trị $\varphi(t)$, $\omega_x(t)$, $\omega_y(t)$, $\omega_z(t)$ giai đoạn 1.

Các giá trị ở cuối giai đoạn 1:

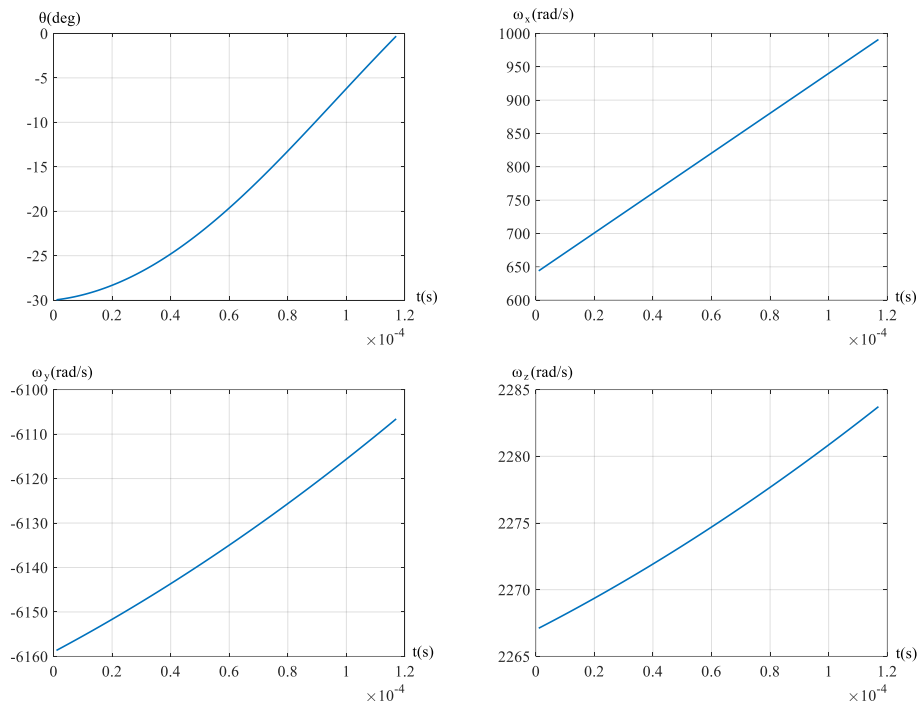
$$\varphi_1 = -30^\circ, \omega_{x1} = 641 \text{ (rad/s)}, \omega_{y1} = -6159 \text{ (rad/s)}, \omega_{z1} = 2267 \text{ (rad/s)} \quad (11)$$

* Giai đoạn 2:

Sau khi thoát ra khỏi rãnh, khối quay sẽ chuyển động với ba bậc tự do, hệ phương trình vi phân gồm 6 phương trình sau:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = -\omega_x \sin \varphi \cotg \theta + \omega_y \cos \varphi \cotg \theta + \omega_z \\ \dot{\psi} = \omega_x \sin \varphi / \sin \theta - \omega_y \cos \varphi / \sin \theta \\ \dot{\theta} = \omega_x \cos \varphi - \omega_y \sin \varphi \\ \dot{\omega}_x = \omega_y \omega_z (J_y - J_z) / J_x \\ \dot{\omega}_y = \omega_z \omega_x (J_z - J_x) / J_y \\ \dot{\omega}_z = \omega_x \omega_y (J_x - J_y) / J_z \end{cases} \quad (12)$$

Giải hệ này với điều kiện đầu chính là điều kiện cuối của giai đoạn 1 (11), ta tìm được các đồ thị biểu diễn sự biến thiên của các tham số: $\varphi(t)$, $\omega_x(t)$, $\omega_y(t)$, $\omega_z(t)$ như trên đồ thị ở hình 5.



Hình 5. Giá trị $\varphi(t)$, $\omega_x(t)$, $\omega_y(t)$, $\omega_z(t)$ giai đoạn 2.

Các giá trị ở cuối giai đoạn 2:

$$\varphi_2 = 0^\circ, \omega_{x_2} = 990 \text{ (rad/s)}, \omega_{y_2} = -6108 \text{ (rad/s)}, \omega_{z_2} = 2284 \text{ (rad/s)}$$

Tổng thời gian quay về vị trí chiến đấu của khối quay là:

$$t = t_1 + t_2 = 0,22 \cdot 10^{-3} + 0,12 \cdot 10^{-3} = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ (s)}$$

Khối quay mở bảo hiểm cách miệng nòng với khoảng cách:

$$X \approx v_0 t = 980 \cdot 0,34 \cdot 10^{-3} = 0,33 \text{ (m)}$$

Kết quả tính toán đã chỉ ra, với các thông số trên khối quay đã quay được về vị trí chiến đấu sau khi đạn đã ra khỏi miệng nòng, đảm bảo mở bảo hiểm tin cậy.

4. KẾT LUẬN

Từ kết cấu thực tế của ngòi nổ đã được đưa vào trang bị, bài báo đã xây dựng được mô hình toán học, thành lập hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của cơ cấu ngăn cách dạng khối quay hình cầu. Kết quả tính toán cho thấy với các thông số thực tế của ngòi nổ ZHML-10C, cơ cấu ngăn cách hoạt động tin cậy (quay được về vị trí chiến đấu).

Mô hình toán trong bài báo tập trung vào quá trình thành lập hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của khối quay, bỏ qua một số yếu tố ngăn cản quá trình hồi chuyển của khối quay. Đây là yếu tố cần được tiếp tục nghiên cứu đầy đủ khi ứng dụng vào thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Viktor Kalin, Einsiedeln, Switzerland. “Self-destruction type nose impact fuze for spinning projectiles”. United States Patent, (1976).

- [2]. Richard T. Ziemba, Burlington, Vt. “*Delayed arming fuze for a spinning projectile*”. United States Patent, (1981).
- [3]. Li-Tin Chiang, Chun-Wei Chiu, Kuei-Ju Lee. “*Impact fuze for a high-spin self-destructing device*”. United States Patent, (2013).
- [4]. Engineering. “*Design Handbook. Ammunition Series: Fuzes*”. Head-quarters, US Army Materiel Commands, (1969).
- [5]. Fuzes. “*Military Handbook*”. Department of Defense, MIL-HDBK-757 (AR), (1994).
- [6]. Russell e. Lerman. “*A cad-e approach to a ball rotor safe and arming device*”. US Patent, (1978).
- [7]. Chan Hui –guang, Wang Yu- shi, Wen Quan. “*Mathematical model of fuze ball rotor rotation around fixed point with quaternion*”. Nanjing 210094, Jiangsu, China, (2009).
- [8]. X.M. Targ, Phạm Huyền. “*Giáo trình giản yếu cơ học lý thuyết*”. Nhà xuất bản đại học và trung học chuyên nghiệp, (1979).

ABSTRACT

Research on building a mathematical model to describe the operation of a ball rotor separator

The separator, to ensure safety for fuze, has many different shapes, such as a slider, rotating disc, and rotating ball. The ball rotor separator has a compact and simple structure. Thus, it is suitable for use with small-sized fuzes with high rotation speeds. In this article, the author has presented a mechanical model for an object rotating around a fixed point (geometric center of the separator), established a system of differential equations describing the motion of objects, and calculated and determined operating time for design research and testing.

Keywords: 3-degree-of-freedom gyroscope; S&A device; Separator; Ball rotor.