

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC HỆ CƠ KHÍ – THỦY LỰC CỦA CỤM TRỐNG LĂN THIẾT BỊ THI CÔNG MẶT ĐƯỜNG BÊ TÔNG XI MĂNG

STUDY ON BUILDING A DYNAMIC MODEL OF THE MECHANICAL-
HYDRAULIC SYSTEM OF ROLLING DRUM ASSEMBLY OF CEMENT CONCRETE
PAVEMENT CONSTRUCTION EQUIPMENT

ThS. **Đỗ Gia Cường**^{1,*}, PGS, TS. **Trần Quang Hùng**², PGS, TS. **Lưu Đức Thạch**³

¹Viện Kỹ thuật Cơ giới Quân sự, Tổng cục Kỹ thuật, Bộ Quốc phòng

²Trường Đại học Thành Đô

³Khoa Cơ khí Máy xây dựng, Trường Đại học Xây dựng

TÓM TẮT

Bài báo xây dựng mô hình động lực học (DLH) cụm trống lăn thiết bị công tác mặt đường bê tông xi măng (BTXM) có kể đến mô phỏng đồng thời cơ khí – thủy lực. Sử dụng dạng thức ma trận của phương trình Lagrange loại 2 để thiết lập phương trình chuyển động cho cụm trống lăn thiết bị công tác thi công mặt đường BTXM. Hệ phương trình vi phân cấp 1 cho hệ thống thủy lực dẫn động quay trống lăn và di chuyển xe con đã được thiết lập. Dựa trên phương pháp tách cấu trúc thiết lập phương trình cho từng hệ cụm trống lăn và hệ thủy lực, bài báo đã biến đổi về được hệ phương trình vi phân có sự tương tác giữa hệ cơ khí và thủy lực.

Từ khóa: Trống lăn; Động lực học trống lăn; Mô phỏng đồng thời cơ – thủy lực.

ABSTRACT

This article builds a dynamic model (DM) of the rolling drum assembly of cement concrete pavement (CC) equipment, including simultaneous mechanical and hydraulic simulation. Use the matrix form of the Lagrange equation type 2 to establish the equation of motion for the drum assembly of cement concrete pavement construction equipment. The system of first-order differential equations for the hydraulic system that drives the rolling drum and moves the trolley has been established. Based on the structural separation method of establishing equations for each roller drum system and hydraulic system, the article has transformed into a system of differential equations with interaction between mechanical and hydraulic systems.

Keywords: Rolling drum; Displacements of the boom; Dynamic of rolling drum; Mechanical-hydraulic co-simulation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM là cụm thiết bị quan trọng nhất đảm bảo chất lượng của bề mặt BTXM về độ phẳng, độ nhẵn và độ bền mặt đường. Hệ truyền động dẫn động di chuyển xe con và quay hai trống lăn là hệ truyền động thủy lực kết hợp với bộ truyền xích, [2].

Nghiên cứu ĐLH của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường là một vấn đề phức tạp và đã có một số công bố nghiên cứu về ĐLH của cụm trống lăn thiết bị thi công bề mặt bê tông xi măng. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ xét đến hệ thống cơ khí, chưa xét đến sự kết hợp giữa hệ thống cơ khí và hệ thống thủy lực trong quá trình mô phỏng. Trong bài báo này, tác giả tiến hành xây dựng mô hình ĐLH của cụm trống lăn có xét đến kết hợp giữa hệ thống cơ khí – thủy lực.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH

2.1. Mô hình động lực học hệ thống cơ khí

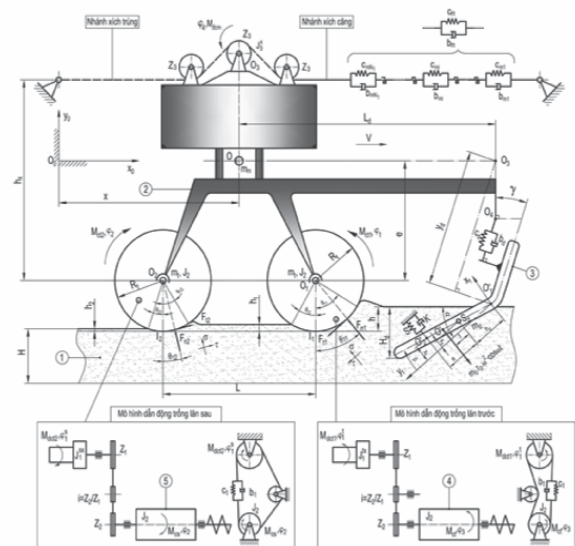
Các giả thiết khi xây dựng mô hình:

Để xây dựng mô hình ĐLH cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM, một số giả thiết sau được chấp nhận: Nhánh xích căng được quy dẫn thành một lò xo [5]; Độ cứng và hệ số cản giảm chấn của xích kéo xe con ở bên bằng nhau; Độ cứng và hệ số cản giảm chấn của xích dẫn động quay hai trống lăn bằng nhau; Xét trong trường hợp góc nghiêng san $\beta = 0$; Không xét đến độ dốc của đường, lực cản gió và ma sát ở các ổ trục của các trống lăn và đĩa xích; Coi trục các động cơ, đĩa xích, trục trống lăn, tang trống lăn và trục vít san là cứng tuyệt đối; Các trống lăn luôn tiếp xúc với hỗn hợp bê tông trong quá trình thi công; Cơ cấu quay

đầm dùi và cơ cấu di chuyển dọc của tổ hợp không làm việc; Khi di chuyển không xét đến sự xiên lệch đối với các đường ray trong mặt phẳng nằm ngang; Không xét đến dao động của khung giàn tổ hợp máy; Coi bê tông là một môi trường đàn hồi có hệ số dập tắt dao động tỷ lệ với tốc độ; Hệ số dập tắt dao động và độ cứng của bê tông không phụ thuộc vào thời gian đầm lên (do thời gian tác động của máy lên bê tông ngắn); Khối lượng của bê tông dính vào quả đầm và dao động cùng với nó trong quá trình đầm lên có trị số không đổi ($m = \text{const}$); Vị trí làm việc của máy là nền đất cứng bằng phẳng, đất không bị biến dạng trong quá trình san và làm phẳng.

Xây dựng mô hình tính động lực học:

Từ các giả thiết nêu trên, ta xây dựng được mô hình ĐLH cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM được thể hiện trên hình 1. Các hệ trục tọa độ: Ox_0y_0 – Hệ trục tọa độ cố định; $O_1x_1y_1$ – Hệ trục tọa độ địa phương gắn vào đầm dùi.



Hình 1. Mô hình ĐLH cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM

Các thông số của mô hình: J_1^{tx}, J_1^{sx} - Mô-men quán tính khối lượng của chi tiết quay trục động cơ và trục của pu-ly dẫn động trống lăn trước, trống lăn sau; J_2 - Mô-men quán tính khối lượng quy dẫn của trống lăn + vít san; J_{3x} - Mô-men quán tính khối lượng của chi tiết quay trục động cơ và trục của đĩa xích dẫn động xe con; m_m - Khối lượng của thân xe con mang trống lăn; m_t - Khối lượng của trống lăn; c_t - Độ cứng quy dẫn của nhánh xích căng dẫn động trống lăn; c_{mi} - Độ cứng của các mắt xích thuộc nhánh xích căng dẫn động xe con mang trống lăn ($i = 1 \div N$); N - Số mắt xích thuộc nhánh xích căng dẫn động xe con; c_m - Độ cứng quy dẫn của nhánh xích dẫn động xe con; S - Độ cứng đàn hồi của bê tông; K - Hệ số dập tắt dao động của bê tông; b_t - Hệ số giảm chấn quy dẫn của nhánh xích căng dẫn động trống lăn; b_{mi} - Hệ số giảm chấn của các mắt xích thuộc nhánh xích căng dẫn động xe con mang trống lăn; b_m - Hệ số giảm chấn quy dẫn của nhánh xích dẫn động xe con mang trống lăn; M_{dct1} - Mô-men xoắn trên trục mô-tơ dẫn động trống lăn trước; M_{dct2} - Mô-men xoắn trên trục mô-tơ dẫn động trống lăn sau; M_{dcm} - Mô-men xoắn trên trục mô-tơ dẫn động xe con mang trống lăn; M_{ctl} - Tổng mô-men cản trên trục trống lăn-vít san trước; M_{ct2} - Tổng mô-men cản trên trục trống lăn-vít san sau; L - Khoảng cách giữa hai tâm trống lăn; m_{o,r_0} - Mô-men của khối lượng lệch tâm; m_d - Tổng khối lượng dao động, kg; O_0 - Trọng tâm của đầu đầm; O' - Điểm đặt của lực kích động.

Các tọa độ suy rộng: φ_1^t - Góc quay của trục động cơ dẫn động các trống lăn trước; φ_1^s - Góc quay của trục động cơ dẫn động các trống lăn sau; φ_2 - Góc quay của trục trống lăn trước; φ_3 - Góc quay của trục trống lăn sau; φ_4 - Góc quay của trục động cơ dẫn động xe con; β_d - Góc lắc của đầm dùi so với hệ quy chiếu động; x_d - Tọa độ của trọng tâm đầm dùi trong hệ quy

chiều động; y_d - Tọa độ của gốc hệ quy chiếu động gắn vào đầm dùi; x - Chuyển dịch của xe con mang trống lăn.

Động năng của cơ hệ:

$$T = T_{xe} + T_t + T_d \quad (1)$$

Trong đó: T_{xe} - Động năng của xe con và đĩa xích dẫn động xe; T_t - Động năng của hai trống lăn, vít san và pu-ly dẫn động trống lăn; T_d - Động năng của đầm dùi.

$$T_{xe} = \frac{1}{2} m_m \dot{x}^2 + 2 \left(\frac{1}{2} J_3^x \dot{\varphi}_4^2 \right) \quad (2)$$

$$T_t = 2 \left(\frac{1}{2} m_t \dot{x}^2 \right) + \left(\frac{1}{2} J_2 \dot{\varphi}_2^2 \right) + \left(\frac{1}{2} J_2 \dot{\varphi}_3^2 \right) + \frac{1}{2} J_1^{tx} (\dot{\varphi}_1^t)^2 + \frac{1}{2} J_1^{sx} (\dot{\varphi}_1^s)^2 \quad (3)$$

$$T_d = \frac{1}{2} m v_{S_d}^2 + \frac{1}{2} \theta \dot{\beta}^2 \quad (4)$$

Vị trí khối tâm S_d của đầm dùi trong hệ quy chiếu cố định:

$$\begin{cases} x_{S_d} = x + L - x_d \sin \alpha - y_d \sin \gamma - h \cos \alpha \\ y_{S_d} = -y_d \cos \gamma + x_d \cos \alpha - h \sin \alpha \end{cases} \quad (5)$$

Đạo hàm hai vế phương trình (5) theo thời gian, ta được vận tốc của khối tâm S_d :

$$v_{S_d}^2 = \dot{x}^2 - 2\dot{x}\dot{x}_d \sin \alpha - 2\dot{x}\dot{y}_d \sin \gamma + \dot{x}_d^2 - 2\dot{x}_d\dot{y}_d \cos(\alpha + \gamma) + \dot{y}_d^2 \quad (6)$$

Khi đó, ta có động năng của cơ hệ:

$$T = \frac{1}{2} (m_m + m + 2m_t) \dot{x}^2 + \left(\frac{1}{2} J_2 \dot{\varphi}_2^2 \right) + \left(\frac{1}{2} J_2 \dot{\varphi}_3^2 \right) + \frac{1}{2} (2J_3^x \dot{\varphi}_4^2) - m\dot{x}\dot{x}_d \sin \alpha - m\dot{x}\dot{y}_d \sin \gamma + \frac{1}{2} m\dot{x}_d^2 + \frac{1}{2} \theta \dot{\beta}^2 - m\dot{x}_d\dot{y}_d \cos(\alpha + \gamma) + \frac{1}{2} m\dot{y}_d^2 + \frac{1}{2} J_1^{tx} (\dot{\varphi}_1^t)^2 + \frac{1}{2} J_1^{sx} (\dot{\varphi}_1^s)^2 \quad (7)$$

Chọn các tọa độ suy rộng cho cơ hệ là:

$$\mathbf{q} = [x \quad \varphi_2 \quad \varphi_3 \quad \varphi_4 \quad x_d \quad \beta \quad y_d \quad \varphi_1' \quad \varphi_1'']^T \in \mathbb{R}^{9 \times 1} \quad (8)$$

Khi đó, động năng của hệ được viết dưới dạng toàn phương:

$$T = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{q}}^T \mathbf{M} \dot{\mathbf{q}} \quad (9)$$

Với ma trận khối lượng suy rộng có dạng như sau: $\mathbf{M} = [m_{ij}] \in \mathbb{R}^{9 \times 9}$ (10)

Các thành phần khác không của ma trận khối lượng suy rộng:

$m_{11} = m_m + m + 2m_t$	$m_{55} = m$	$m_{15} = m_{51} = -m \sin \alpha$
$m_{22} = J_2$	$m_{66} = \theta$	$m_{57} = m_{75} = -m \cos(\alpha + \gamma)$
$m_{33} = J_2$	$m_{77} = m$	$m_{17} = m_{71} = -m \sin \gamma$
$m_{44} = 2J_3$	$m_{88} = J_1^{xx}$	$m_{99} = J_1^{yy}$

(11)

Ma trận quán tính ly tâm và Coriolis được xác định nhờ sử dụng đạo hàm ma trận khối lượng suy rộng theo tọa độ suy rộng và tích Kronecker:

$$\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial \mathbf{M}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} (\mathbf{I}_n \otimes \dot{\mathbf{q}}) + \left(\frac{\partial \mathbf{M}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} (\dot{\mathbf{q}} \otimes \mathbf{I}_n) \right) - \left(\frac{\partial \mathbf{M}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} (\dot{\mathbf{q}} \otimes \mathbf{I}_n) \right) \right]^T \quad (12)$$

Vì ma trận khối lượng là ma trận có các phần tử là hằng số nên quán tính ly tâm và Coriolis bằng 0: $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{0}$.

Thế năng của cơ hệ:

$$\Pi = \Pi_s + \Pi_m + \Pi_t + \Pi_d + \Pi_b \quad (13)$$

Trong đó: Π_s - Thế năng của trọng lực; Π_m - Thế năng của xích dẫn động xe con; Π_t - Thế năng của xích dẫn động trống lăn; Π_d - Thế năng của cao su đầm dùi; Π_b - Thế năng của bê tông lên đầm dùi.

$$\Pi = \sum_{k=1}^5 \Pi_k = \frac{1}{2} (2c_m)(x - r_3\varphi_4)^2 + \frac{1}{2} c_t (r_1\varphi_1' - r_2\varphi_2')^2 + \frac{1}{2} c_t (r_1\varphi_1'' - r_2\varphi_2'')^2 + \frac{1}{2} S(x_d + e\beta)^2 + \frac{1}{2} c_d (y_d - y_{d0})^2 - mg(y_d \cos \gamma - x_d \cos \alpha) \quad (14)$$

Từ (14), ta thu được các thành phần của véc-tơ lực suy rộng có thể:

$$\mathbf{g} = [g_x \quad g_{\varphi_2} \quad g_{\varphi_3} \quad g_{\varphi_4} \quad g_{x_d} \quad g_{\beta} \quad g_{y_d} \quad g_{\varphi_1'} \quad g_{\varphi_1''}]^T \quad (15)$$

$$\begin{aligned} g_x &= \frac{\partial \Pi}{\partial x} = 2c_m(x - r_3\varphi_4); g_{\varphi_2} = -c_t r_2(r_1\varphi_1' - r_2\varphi_2'); g_{\varphi_3} = -c_t r_2(r_1\varphi_1'' - r_2\varphi_2'') \\ g_{\varphi_4} &= \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_4} = -2c_m r_3(x - r_3\varphi_4); g_{x_d} = \frac{\partial \Pi}{\partial x_d} = S(x_d + e\beta) + mg \cos \alpha; g_{\beta} = c_t r_1(r_1\varphi_1' - r_2\varphi_2') \\ g_{y_d} &= \frac{\partial \Pi}{\partial y_d} = S e(x_d + e\beta); g_{y_d} = \frac{\partial \Pi}{\partial y} = c_d(y_d - y_{d0}) - mg \cos \gamma; g_{\varphi_1'} = c_t r_1(r_1\varphi_1' - r_2\varphi_2') \end{aligned} \quad (16)$$

Hàm hao tán của cơ hệ:

$$\Phi = \Phi_m + \Phi_t + \Phi_d + \Phi_K \quad (17)$$

Trong đó: Φ_m - Hàm hao tán của xích dẫn động xe con; Φ_t - Hàm hao tán của xích dẫn động trống lăn; Φ_d - Hàm hao tán của cao su đầm dùi; Φ_b - Hàm hao tán của bê tông lên đầm dùi.

$$\Phi = \frac{1}{2} (2b_m)(\dot{x} - r_3\dot{\varphi}_4)^2 + \frac{1}{2} K(\dot{x}_d + e\dot{\beta})^2 + \frac{1}{2} b_d(\dot{y}_d)^2 + \frac{1}{2} b_t(r_1\dot{\varphi}_1' - r_2\dot{\varphi}_2')^2 + \frac{1}{2} b_t(r_1\dot{\varphi}_1'' - r_2\dot{\varphi}_2'')^2 \quad (18)$$

Từ (18), ta thu được các thành phần của véc-tơ lực hao tán:

$$\mathbf{d} = [d_x \quad d_{\varphi_2} \quad d_{\varphi_3} \quad d_{\varphi_4} \quad d_{x_d} \quad d_{\beta} \quad d_{y_d} \quad d_{\varphi_1'} \quad d_{\varphi_1''}]^T \quad (19)$$

$$\begin{aligned} d_x &= \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}} = 2b_m(\dot{x} - r_3\dot{\varphi}_4); d_{\varphi_2} = -b_t r_2(r_1\dot{\varphi}_1' - r_2\dot{\varphi}_2'); d_{\varphi_3} = -b_t r_2(r_1\dot{\varphi}_1'' - r_2\dot{\varphi}_2'') \\ d_{\varphi_4} &= \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_4} = -2b_m r_3(\dot{x} - r_3\dot{\varphi}_4); d_{x_d} = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}_d} = K(\dot{x}_d + e\dot{\beta}); d_{\beta} = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\beta}} = K e(\dot{x}_d + e\dot{\beta}) \\ d_{y_d} &= \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_d} = b_d \dot{y}_d; d_{\varphi_1'} = b_t r_1(r_1\dot{\varphi}_1' - r_2\dot{\varphi}_2'); d_{\varphi_1''} = b_t r_1(r_1\dot{\varphi}_1'' - r_2\dot{\varphi}_2'') \end{aligned} \quad (20)$$

Lực suy rộng của các lực dẫn động và lực cản:

Công suất của các lực hoạt động:

$$W = -M_{ct}\dot{\varphi}_2 - M_{cs}\dot{\varphi}_3 + M_{dcm}\dot{\varphi}_4 + (m_0 r_0 \omega^2 \cos \omega t)(\dot{x}_d + f\dot{\beta}) + M_{dct1}\dot{\varphi}_1' + M_{dct2}\dot{\varphi}_1'' \quad (21)$$

Từ (21), ta thu được các thành phần của véc-tơ lực suy rộng:

$$\mathbf{Q} = [Q_x \quad Q_{\varphi_2} \quad Q_{\varphi_3} \quad Q_{\varphi_4} \quad Q_{x_d} \quad Q_{\beta} \quad Q_{y_d} \quad Q_{\varphi_1'} \quad Q_{\varphi_1''}]^T \quad (22)$$

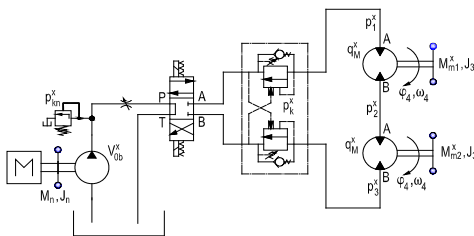
$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline Q_x = 0 & Q_{\varphi_4} = M_{dcm} & Q_{y_d} = 0 \\ \hline Q_{\varphi_2} = -M_{ct} & Q_{x_d} = m_0 r_0 \omega^2 \cos \omega t & Q_{\varphi_1^s} = M_{dct2} \\ \hline Q_{\varphi_3} = -M_{cs} & Q_{\beta} = f m_0 r_0 \omega^2 \cos \omega t & Q_{\varphi_1^t} = M_{dct1} \\ \hline \end{array} \quad (23)$$

Từ các biểu thức (9), (12), (15), (19), (22), ta có phương trình chuyển động của hệ cơ dưới dạng ma trận:

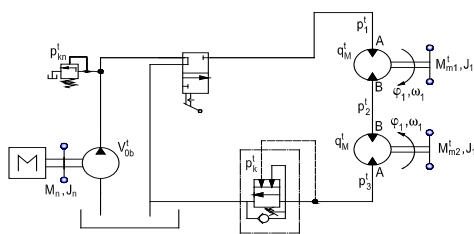
$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{d}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \mathbf{Q} \quad (24)$$

2.2. Mô hình ĐLH thủy lực dẫn động di chuyển xe con và quay trống lăn

Trên cơ sở phân tích sơ đồ mạch thủy lực và nguyên lý HTTL dẫn động di chuyển xe con và quay trống lăn. Sử dụng các giả thiết theo [1, 4]; hai động cơ TL dẫn động di chuyển xe con coi như có cấu tạo và chế độ làm việc như nhau; ĐLH của van một chiều, van phân phối, van cân bằng không xem xét, đặc tính của chúng coi là lý tưởng. Từ đó, mô hình ĐLH hệ truyền động thủy lực dẫn động động cơ di chuyển xe con và quay hai trống lăn được thể hiện trên hình 2 và 3.



Hình 2. Mô hình ĐLH hệ truyền động thủy lực dẫn động động cơ di chuyển xe con



Hình 3. Mô hình ĐLH hệ truyền động thủy lực dẫn động động cơ quay trống lăn

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng, viết cho phương trình dòng chảy liên tục của dầu công tác trong các đường ống và phương trình cân bằng lực [4]. Từ đó, ta thu được hệ phương trình vi phân mô tả hoạt động của hệ thống TĐTL dẫn động các động cơ thủy lực di chuyển xe con và quay hai trống lăn như sau:

$$\begin{cases} k_{dh}^x \dot{p}_1^x = \frac{q_{0b}^x n_B^x}{60} - (k_{tB1}^x + k_{tB2}^x) p_1^x - q_M^x \dot{\varphi}_4 \\ \frac{q_M^x}{2\pi} p_1^x - 2 f_n^x \dot{\varphi}_4 - M_{dcm} = 2 J_3 \ddot{\varphi}_4 \end{cases} \quad (25)$$

$$\begin{cases} k_{dh}^t \dot{p}_1^t = \frac{q_{0b}^t n_B^t}{60} - (k_{tB1}^t + k_{tB2}^t) p_1^t - q_M^t \dot{\varphi}_1^t \\ \frac{q_M^t}{2\pi} p_1^t - f_n^t \dot{\varphi}_1^t - M_{dct1} = J_1^{dct} \ddot{\varphi}_1^t \\ k_{dh}^s \dot{p}_1^s = \frac{q_{0b}^s n_B^s}{60} - (k_{tB1}^s + k_{tB2}^s) p_1^s - q_M^s \dot{\varphi}_1^s \\ \frac{q_M^s}{2\pi} p_1^s - f_n^s \dot{\varphi}_1^s - M_{dcs1} = J_1^{dcs} \ddot{\varphi}_1^s \end{cases} \quad (26)$$

2.3. Xây dựng phương trình chuyển động của hệ thống cơ khí-thủy lực

Từ hệ phương trình (24), các phương trình thứ (4), thứ (8) và thứ (9) của hệ chứa các thành phần ngẫu lực đầu vào từ hệ thống thủy lực, cụ thể như sau:

$$\begin{cases} m_{44} \ddot{\varphi}_4 + d_{\varphi_4} + g_{\varphi_4} = Q_{\varphi_4} \\ m_{88} \ddot{\varphi}_1^t + d_{\varphi_1^t} + g_{\varphi_1^t} = Q_{\varphi_1^t} \\ m_{99} \ddot{\varphi}_1^s + d_{\varphi_1^s} + g_{\varphi_1^s} = Q_{\varphi_1^s} \\ 2 J_3^x \ddot{\varphi}_4 + d_{\varphi_4} + g_{\varphi_4} = M_{dcm} \\ J_1^{tx} \ddot{\varphi}_1^t + d_{\varphi_1^t} + g_{\varphi_1^t} = M_{dct1} \\ J_1^{sx} \ddot{\varphi}_1^s + d_{\varphi_1^s} + g_{\varphi_1^s} = M_{dct2} \end{cases} \quad (27)$$

Thế phương trình (25), (26) vào (27), ta được:

$$\begin{aligned}\bar{m}_{44}\ddot{\varphi}_4 + \bar{d}_{\varphi_4} + g_{\varphi_4} &= \bar{Q}_{\varphi_4}(p_1^x); \\ \bar{m}_{88}\ddot{\varphi}_1^t + \bar{d}_{\varphi_1^t} + g_{\varphi_1^t} &= \bar{Q}_{\varphi_1^t}(p_1^t); \\ \bar{m}_{99}\ddot{\varphi}_1^s + \bar{d}_{\varphi_1^s} + g_{\varphi_1^s} &= \bar{Q}_{\varphi_1^s}(p_1^s)\end{aligned}\quad (28)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned}\bar{m}_{44} &= 2J_3; \bar{m}_{88} = J_1; \bar{m}_{99} = J_1; \bar{d}_{\varphi_4} = d_{\varphi_4} + 2f_n^x \dot{\varphi}_4; \bar{Q}_{\varphi_4} = \frac{q_M^x}{2\pi} p_1^x \\ \bar{d}_{\varphi_1^t} &= d_{\varphi_1^t} + f_n^t \dot{\varphi}_1^t; \bar{Q}_{\varphi_1^t} = \frac{q_M^t}{2\pi} p_1^t; \bar{d}_{\varphi_1^s} = d_{\varphi_1^s} + f_n^s \dot{\varphi}_1^s; \bar{Q}_{\varphi_1^s} = \frac{q_M^s}{2\pi} p_1^s\end{aligned}\quad (29)$$

Các phương trình (25) và (26) viết lại dưới dạng ma trận: $\dot{\mathbf{p}} = \mathbf{h}(\mathbf{p}, \mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ (30)

Trong đó, véc-tơ áp suất:

$$\mathbf{p} = [p_1^t, p_1^s, p_1^x]^T \in \mathbb{R}^3.$$

Hàm véc-tơ vế phải của phương trình vi phân mô tả hệ thủy lực:

$$\mathbf{h}(\mathbf{p}, \mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \begin{bmatrix} \frac{1}{k_{dh}^t} \left\{ \frac{q_{0b}^t n_B^t}{60} - (k_{tB1}^t + k_{tB2}^t) p_1^t - q_M^t \dot{\varphi}_1^t \right\} \\ \frac{1}{k_{dh}^s} \left\{ \frac{q_{0b}^s n_B^s}{60} - (k_{tB1}^s + k_{tB2}^s) p_1^s - q_M^s \dot{\varphi}_1^s \right\} \\ \frac{1}{k_{dh}^x} \left\{ \frac{q_{0b}^x n_B^x}{60} - (k_{tB1}^x + k_{tB2}^x) p_1^x - q_M^x \dot{\varphi}_4 \right\} \end{bmatrix} \quad (31)$$

Thế các phương trình (28) và (29) vào hệ phương trình (24), ta thu được dạng thức ma trận của hệ cơ:

$$\bar{\mathbf{M}}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{q}} + \bar{\mathbf{d}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \bar{\mathbf{Q}}(t, \mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{p}) \quad (32)$$

Các phương trình (30) và (32) là hệ phương trình vi phân mô tả hệ hỗn hợp cơ khí – thủy lực.

$$\begin{cases} \bar{\mathbf{M}}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{q}} + \bar{\mathbf{d}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \bar{\mathbf{Q}}(t, \mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{p}) \\ \dot{\mathbf{p}} = \mathbf{h}(\mathbf{p}, \mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \end{cases} \quad (33)$$

3. KẾT LUẬN

Bài báo này tập trung xây dựng mô hình tính toán ĐLH và thiết lập phương trình vi phân hệ hỗn hợp cơ khí – thủy lực của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM. Mô hình cơ khí có tính đến sự biến dạng đàn hồi của các bộ phận, bao gồm một số khối lượng tập trung (trống lăn, xe con, đầm dùi) nối với nhau và nối với khung giàn bằng các liên kết đàn hồi (dây xích, gối cao su). Kết quả nghiên cứu thu được hệ phương trình với 9 phương trình vi phân cấp 2 tương ứng với 9 tọa độ suy rộng và 3 phương trình vi phân cấp 1 đối với áp suất. Đây là cơ sở để khảo sát, đánh giá chất lượng ĐLH và xác định các thông số làm việc hợp lý của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM. ❖

Ngày nhận bài: 18/3/2024

Ngày phản biện: 12/4/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Đỗ Xuân Đình (2003); *Hệ thống truyền động thủy lực dùng trong các thiết bị xây dựng*, NXB. Xây dựng, Hà Nội.
- [2]. Trần Quang Hùng (2016); *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo tổ hợp máy rải, đầm và làm phẳng bê tông xi măng phục vụ thi công các công trình quân sự*, Báo cáo đề tài cấp Bộ Quốc phòng.
- [3]. Đỗ Sanh (2004); *Động lực học máy*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Kovalskiy, Nguyễn Đình Tứ (2008); *Ứng dụng Matlab-Simulink để giải bài toán động lực học hệ thủy lực mạch quay*, Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải.
- [5]. XU Lixin, YANG Yuhu, CHANG Zongyu, SHEN Zhaoguang, and LIU Jianping (2010), *Clearance Influence on Dynamic Response of Intermittent Roller Chain Drive*, Chinese Journal of Mechanical Engineering, Vol. 23, aNo.