

TẠP CHÍ



ISSN 2615 - 9910 (bản in)  
ISSN 2815 - 5505 (online)

# CƠ KHÍ

## VIỆT NAM

VIETNAM MECHANICAL ENGINEERING JOURNAL

CƠ QUAN CỦA TỔNG HỘI CƠ KHÍ VIỆT NAM

• <http://cokhivietnam.vn> / [tapchicokhi.com.vn](http://tapchicokhi.com.vn)



- ❖ Nghiên cứu áp dụng công nghệ laser cladding nhằm tối ưu hóa quá trình sửa chữa chi tiết máy
- ❖ Nghiên cứu giải pháp xây dựng hệ thống chẩn đoán ô tô online phục vụ gara sửa chữa ô tô
- ❖ Nghiên cứu lý thuyết biến dạng hướng kính của phôi cán khi cán nghiêng

Số 314, tháng 4 năm 2024

Tạp chí Cơ khí Việt Nam phát hành ngày 25 tháng 4 năm 2024



35. Nguyễn Thị Hòa: Nghiên cứu sử dụng công nghệ CAD/CAM trong thiết kế dệt may.....	196
36. Vũ Hoài Anh, Nguyễn Tiến Dũng: Xác lập tốc độ tuyệt đối của một điểm theo phương tiếp tuyến trên máy cán ngang..	200
37. Nguyễn Tiến Dũng, Vũ Hoài Anh: Nghiên cứu lý thuyết biến dạng hướng kính của phôi cán khi cán nghiêng.....	204
38. Dương Hải Nam, Đặng Văn Hòa: Nghiên cứu quá trình cán tạo hình ống profin nhằm đưa ra bộ số tối ưu.....	208
39. Đặng Văn Hòa, Dương Hải Nam: Xác định giá trị biến dạng quá trình cán ống nhằm lựa chọn sơ đồ phù hợp.....	212
40. Trần Văn Mạnh: Nghiên cứu lý thuyết biến dạng bề mặt tiếp xúc nhằm nâng cao chất lượng gia công.....	216
41. Nguyễn Chí Công, Nguyễn Mạnh Nền: Ứng dụng phương pháp số phân tích đặc tính làm việc của bánh lái dạng đuôi cá.....	220
42. Nguyễn Mạnh Nền, Nguyễn Chí Công: Nghiên cứu ứng dụng phần mềm CAE để phân tích dòng chảy nhựa trong khuôn ép nhựa và dự báo lỗi cho sản phẩm sau khi ép.....	225
43. Phan Văn Dương: Xây dựng mô hình tính mức tiêu thụ năng lượng cho xe ô tô tự hành dùng động cơ xăng.....	232
44. Lý Hưng Thịnh, Phan Hoàng Long, Dương Văn Tú, Nguyễn Huy Hùng, Nguyễn Tấn Tiến: Nghiên cứu tự động hóa kiểm định đầu báo khói Part 1 – Nghiên cứu tiêu chí kiểm định theo TCVN 7568-7: 2015.....	239
45. Lưu Tuấn Anh, Ngô Thanh Bình: Giải pháp loại bỏ hiện tượng chong chành cho ca nô neo đậu trên mặt nước dao động..	247
46. Lê Quang Minh, Vũ Mạnh Cường: Phương pháp xác định đại lượng đặc trưng độ tin cậy trong khai thác ô tô quân sự..	254
47. Tào Ngọc Linh, Nguyễn Thành Nhân: Định vị robot tự hành ứng dụng giải thuật tiến hóa vi phân thích nghi ngẫu nhiên..	265
48. ThS. Phạm Anh Tuấn: Nghiên cứu, tính toán kết cấu thép khung chính nhà đỗ xe ô tô ba tầng với các điều kiện sử dụng ở Việt Nam.....	271
49. Nguyễn Văn Trà, Vũ Mạnh Dũng: Xây dựng thuật toán xác định đặc tính bộ điều hòa lực phanh trên ô tô tải.....	278
50. Lý Hưng Thịnh, Phan Hoàng Long, Dương Văn Tú, Nguyễn Huy Hùng, Nguyễn Tấn Tiến: Nghiên cứu tự động hóa kiểm định đầu báo khói, Part 2 – Đề xuất giải pháp kiểm định đầu báo khói tự động.....	285
51. ThS. Trần Đình Văn, TS. Nguyễn Đình Tân, ThS. Bùi Quang Toàn: Nghiên cứu áp dụng công nghệ laser cladding nhằm tối ưu hóa quá trình sửa chữa chi tiết máy.....	291
52. ThS. Đỗ Anh Tuấn, ThS. Trịnh Thị Mai: Ứng dụng phần mềm abaqus trong phân tích và tính toán mối ghép đinh tán	299
53. ThS. Đỗ Gia Cường, PGS,TS. Trần Quang Hùng, PGS,TS. Lưu Đức Thạch: 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.....	304
54. ThS. Nguyễn Quang Cường, TS. Nguyễn Thiết Lập: Phân tích rung động thân vỏ ô tô con khi có kích thích của động cơ và mặt đường.....	310
55. Nguyễn Văn Lại, Trần Đức Huân: Đặc tính không đều của lưu lượng bom thủy lực bánh răng ăn khớp ngoài.....	317
56. Lê Thượng Hiền, Nguyễn Thanh Thủy: Đánh giá ảnh hưởng của sạc pin xe ô tô điện với các điều kiện khác nhau....	321
57. PGS,TS. Trần Quang Hùng, PGS,TS. Lưu Đức Thạch, ThS. Đỗ Gia Cường: Kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định một số thông số động lực học của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường bê tông xi măng.....	325
58. PGS,TS. Phạm Thị Minh Huệ, Phạm Mỹ Huyền, Vũ Thị Vân Anh, Nguyễn Minh Quang, Doãn Thị Thùy Trang, Nguyễn Duy Tùng: Ứng dụng hệ thống lean manufacturing cải thiện dây chuyền sản xuất tại Công ty Cơ khí Quang Huy	329
59. Hoàng Tùng Lâm, Hoàng Văn Nam, Cao Thế Anh: Phục hồi trục cán thép bị mòn kích thước bằng phương pháp phun phủ laser.....	334
60. Nguyễn Hữu Ngoạn, Ngô Văn Giang: Nghiên cứu việc mài mòn dụng cụ cắt trong quá trình tiện thông qua việc đánh giá rung động.....	339
61. PGS,TS. Phạm Thị Minh Huệ, Phạm Thị Lan, Ngô Văn Huy, Ngô Minh Lương, Nguyễn Việt Anh, Đặng Xuân Thanh: Thiết kế, mô phỏng chi tiết ổ trục xe máy bằng công nghệ tạo hình gia tăng đơn điểm.....	345
62. Lê Thái Sơn: Đánh giá chất lượng mối hàn khi hàn ma sát khuấy từ kết quả đo rung động.....	350
63. ThS. Tạ Thị Thanh Huyền, ThS. Nguyễn Quang Cường, PGS,TS. Nguyễn Thành Công, Nguyễn Văn Đoàn: Nghiên cứu ứng dụng thị giác máy tính nhận diện tình trạng hư hỏng lốp ô tô.....	355
64. Vu Trương Hy, Nguyễn Khắc Hai Long, Phạm Huy Hoàng: Modal analysis of bicycle frame using finite element method	363
65. Tran Van Dua, Phạm Đức Cuong, Đào Duy Trung: Researching the optimization of technological parameters for coating hard CrN on SKD11 steel substrate.....	368
66. Nguyen Khắc Hai Long, Vu Trương Hy, Phạm Huy Hoàng: Structural and static analysis on bicycle frame using finite element method.....	375
67. ThS. Nguyễn Quang Cường, TS. Nguyễn Thiết Lập, ThS. Tạ Thị Thanh Huyền: Một số phương pháp kiểm soát tiếng ồn trong ô tô con.....	381
68. Đặng Trung Kiên, Phan Hoàng Long, Dương Văn Tú, Nguyễn Tấn Tiến: Nghiên cứu tự động hóa kiểm định bình chữa cháy xách tay, phần 1 – Nghiên cứu tiêu chí kiểm định theo TCVN 7026: 2013.....	387
<b>DOANH NGHIỆP – DOANH NHÂN (398-400)</b>	
- LILAMA10 viết tiếp truyền thống trên thủy điện Ialy mở rộng.....	398

# 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**<sup>1\*</sup>, PGS, TS. **Trần Quang Hùng**<sup>2</sup>, PGS, TS. **Lưu Đức Thạch**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Viện Kỹ thuật Cơ giới Quân sự, Tổng cục Kỹ thuật, Bộ Quốc phòng

<sup>2</sup>Trường Đại học Thành Đô

<sup>3</sup>Khoa Cơ khí Máy xây dựng, Trường Đại học Xây dựng

## TÓM TẮT

*Bài báo xây dựng mô hình động lực học (ĐLH) 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**

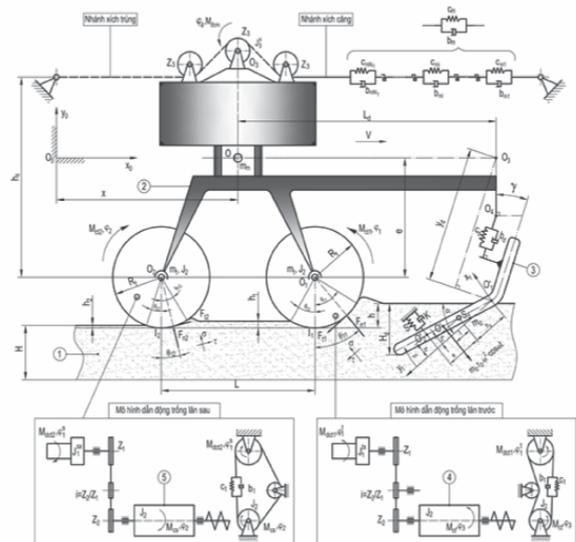
Các giả thiết khi xây dựng mô hình:

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

đảm dui 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 dui.



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;  $M_{dem}$  - 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;  $m_p r_0$  - Mô-men của khối lượng lệch tâm;  $m_d$  - Tổng khối lượng dao động, kg;  $O_0$  - Trọng tâm của đầu dầm;  $O'$  - Điểm đặt của lực kích động.

Các tọa độ suy rộng:  $\varphi_1^t$  - Góc quay của trục động cơ dẫn động các trống lăn trước;  $\varphi_1^s$  - Góc quay của trục động cơ dẫn động các trống lăn sau;  $\varphi_2$  - Góc quay của trục trống lăn trước;  $\varphi_3$  - Góc quay của trục trống lăn sau;  $\varphi_4$  - Góc quay của trục động cơ dẫn động xe con;  $\beta_d$  - Góc lác của dầm dùi so với hệ quy chiếu động;  $x_d$  - Tọa độ của trọng tâm dầm dùi trong hệ quy

chiếu động;  $y_d$  - Tọa độ của gốc hệ quy chiếu động gắn vào dầm 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 dầm dùi.

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

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

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

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

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

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:

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

Chọn các tọa độ suy rộng cho cơ hệ là:

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

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:

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

(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:

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

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:  $\Pi_s$  - Thế năng của trọng lực;  $\Pi_m$  - Thế năng của xích dẫn động xe con;  $\Pi_t$  - Thế năng của xích dẫn động trống lăn;  $\Pi_d$  - Thế năng của cao su đầm dùi;  $\Pi_b$  - Thế năng của bê tông lên đầm dùi.

$$\Pi = \sum_{k=1}^5 \Pi_k = \frac{1}{2} (2c_m)(x - r_3 \varphi_4)^2 + \frac{1}{2} c_t (r_1 \varphi_1' - r_2 \varphi_2)^2 + \frac{1}{2} c_t (r_1 \varphi_1' - r_2 \varphi_3)^2 + \frac{1}{2} S(x_d + e\beta)^2 + \frac{1}{2} c_d (y_d - y_{d0})^2 - mg(y_d \cos \gamma - x_d \cos \alpha) \quad (14)$$

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

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

$$g_x = \frac{\partial \Pi}{\partial x} = 2c_m(x - r_3 \varphi_4); g_{\varphi_2} = -c_t r_2 (r_1 \varphi_1' - r_2 \varphi_2); g_{\varphi_3} = -c_t r_2 (r_1 \varphi_1' - r_2 \varphi_3) \quad (16)$$

$$g_{\varphi_4} = \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_4} = -2c_m r_3 (x - r_3 \varphi_4); g_{x_d} = \frac{\partial \Pi}{\partial x_d} = S(x_d + e\beta) + mg \cos \alpha; g_\beta = c_t r_1 (r_1 \varphi_1' - r_2 \varphi_3)$$

$$g_{y_d} = \frac{\partial \Pi}{\partial y_d} = S e(x_d + e\beta); g_{\varphi_1'} = \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_1'} = c_d (y_d - y_{d0}) - mg \cos \gamma; g_{\varphi_1^s} = c_t r_1 (r_1 \varphi_1' - r_2 \varphi_3)$$

Hàm hao tán của cơ hệ:

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

Trong đó:  $\Phi_m$  - Hàm hao tán của xích dẫn động xe con;  $\Phi_t$  - Hàm hao tán của xích dẫn động trống lăn;  $\Phi_d$  - Hàm hao tán của cao su đầm dùi;  $\Phi_b$  - Hàm hao tán của bê tông lên đầm dùi.

$$\Phi = \frac{1}{2} (2b_m)(\dot{x} - r_3 \dot{\varphi}_4)^2 + \frac{1}{2} K(\dot{x}_d + e\dot{\beta})^2 + \frac{1}{2} b_d (\dot{y}_d)^2 + \frac{1}{2} b_t (r_1 \dot{\varphi}_1' - r_2 \dot{\varphi}_2)^2 + \frac{1}{2} b_t (r_1 \dot{\varphi}_1' - r_2 \dot{\varphi}_3)^2 \quad (18)$$

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

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

$$d_x = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}} = 2b_m(\dot{x} - r_3 \dot{\varphi}_4); d_{\varphi_2} = -b_t r_2 (r_1 \dot{\varphi}_1' - r_2 \dot{\varphi}_2); d_{\varphi_3} = -b_t r_2 (r_1 \dot{\varphi}_1' - r_2 \dot{\varphi}_3)$$

$$d_{\varphi_4} = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_4} = -2b_m r_3 (\dot{x} - r_3 \dot{\varphi}_4); d_{x_d} = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}_d} = K(\dot{x}_d + e\dot{\beta}); d_\beta = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\beta}} = Ke(\dot{x}_d + e\dot{\beta}) \quad (20)$$

$$d_{y_d} = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_d} = b_d \dot{y}_d; d_{\varphi_1'} = b_t r_1 (r_1 \dot{\varphi}_1' - r_2 \dot{\varphi}_2); d_{\varphi_1^s} = b_t r_1 (r_1 \dot{\varphi}_1' - r_2 \dot{\varphi}_3)$$

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

Công suất của các lực hoạt động:

$$W = -M_{d1} \dot{\varphi}_2 - M_{c3} \dot{\varphi}_3 + M_{dcm} \dot{\varphi}_4 + (m_0 r_0 \omega^2 \cos \omega t)(\dot{x}_d + f\dot{\beta}) + M_{dct1} \dot{\varphi}_1' + M_{dct2} \dot{\varphi}_1^s \quad (21)$$

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

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

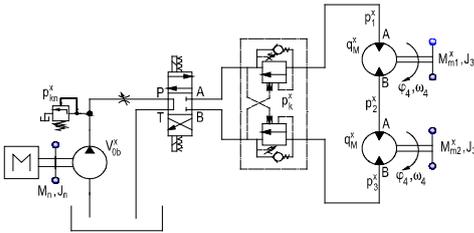
$Q_x = 0$	$Q_{\varphi_4} = M_{dcm}$	$Q_{y_d} = 0$	(23)
$Q_{\varphi_2} = -M_{ct}$	$Q_{x_d} = m_0 r_0 \omega^2 \cos \omega t$	$Q_{\varphi_1^s} = M_{dct2}$	
$Q_{\varphi_3} = -M_{cs}$	$Q_{\beta} = f m_0 r_0 \omega^2 \cos \omega t$	$Q_{\varphi_1^t} = M_{dct1}$	

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

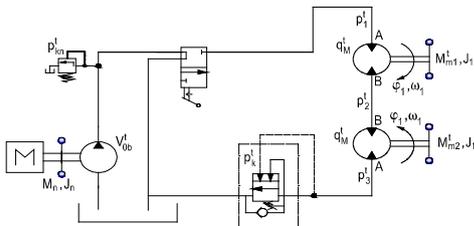
$$M\ddot{\mathbf{q}} + C\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{d}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \mathbf{Q} \quad (24)$$

### 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 động cơ dẫn động 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:

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

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

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

### 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.