NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC HỆ THỐNG CẦN TRỤC 5 BẬC VÀ CÁC VẤN ĐỀ ĐIỀU KHIỂN VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG TRONG GIÁO DỤC

Đỗ Thị Hà
Trường Cao đẳng Lào Cai

Tóm tắt: *Bài báo nghiên cứu mô hình động lực học của hệ thống cần trục tháp ba chiều 5 bậc tự do. Mô hình được xây dựng bằng phương pháp Lagrange, xét các chuyển động quay, di chuyển xe con, nâng hạ và dao động của tải theo hai phương. Kết quả mô hình hóa là cơ sở để phân tích đặc tính động lực học và phát triển các phương pháp điều khiển nhằm nâng cao độ chính xác, giảm dao động và bảo đảm an toàn khi vận hành cần trục.*

Từ khóa: *Cần trục tháp; 5 bậc tự do; mô hình động lực học; phương pháp Lagrange; điều khiển chống dao động.*

STUDY ON THE DYNAMIC MODEL OF A 5-DEGREE-OF-FREEDOM TOWER CRANE SYSTEM: CONTROL ISSUES AND EDUCATIONAL APPLICATIONS

Abstract: *This paper investigates the dynamic model of a 5-degree-of-freedom (5-DOF) three-dimensional tower crane system. The model is formulated using the Lagrange method, accounting for rotational motion, trolley travel, hoisting, and load oscillation in two directions. The resulting model serves as a basis for analyzing dynamic characteristics and developing control strategies to enhance operational accuracy, minimize oscillation, and ensure safety during crane operation.*

Keywords: *Tower crane; 5 degrees of freedom; dynamic model; Lagrange method; anti-sway control.*

Nhận bài: 17/08/2026 Phản biện: 17/09/2026 Duyệt đăng: 20/09/2026

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cần trục tháp là thiết bị quan trọng trong xây dựng và công nghiệp, đảm nhiệm việc nâng, hạ và vận chuyển tải trọng trong không gian ba chiều. Do có nhiều cơ cấu liên kết và tải được treo bằng dây cáp mềm, hệ thống cần trục có đặc tính phi tuyến, tương tác giữa các bậc tự do và thường xuất hiện dao động tải trong quá trình vận hành. Những dao động này ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác, thời gian vận chuyển và an toàn của hệ thống.

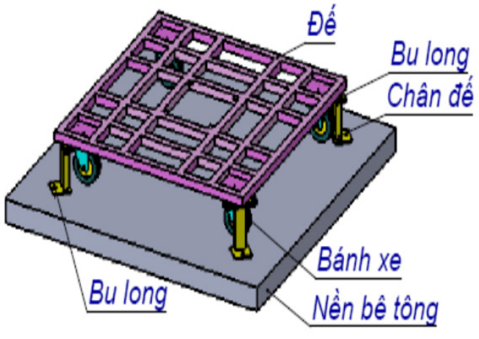
Bài toán điều khiển cần trục vì vậy cần đồng thời bảo đảm khả năng định vị chính xác và hạn chế dao động của tải. Trong nghiên cứu này, mô hình động lực học cần trục tháp ba chiều năm bậc tự do được xây dựng bằng phương pháp Lagrange, với các biến trạng thái đặc trưng cho chuyển động quay, chuyển động xe con, chiều dài cáp và dao động tải theo hai phương. Mô hình toán học thu được là cơ sở để phân tích đặc tính động lực học và phát triển các phương pháp điều khiển nhằm nâng cao độ chính xác, hiệu quả và an toàn khi vận hành cần trục.

II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

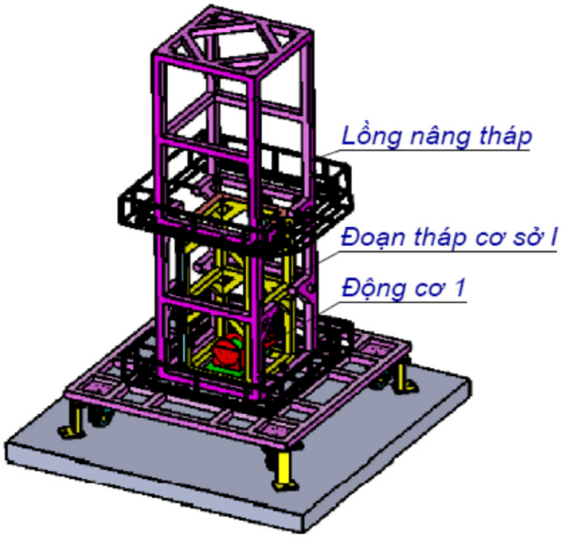
2.1. Giới thiệu về mô hình cần trục 5 bậc

Mô hình cần trục tháp ba chiều được thiết kế với năm bậc tự do, bao gồm các chuyển động cơ bản như: xoay quanh trục tháp, nâng hạ, di chuyển theo chiều ngang, cùng với hai bậc tự do liên quan đến góc dao động của dây cáp. Các bậc tự do này cho phép cần trục tiến hành các thao tác phức tạp trong quá trình nâng và di chuyển hàng hóa. Quá trình nâng hạ và vận chuyển tải trọng yêu cầu sự kết nối liền mạch giữa tất cả các bộ phận chuyển động, đảm bảo tốc độ cao, an toàn và hiệu suất tối ưu. Hơn nữa, cần trục tháp có thể được coi như một rô bốt với năm bậc tự do, đồng bộ với hệ thống cáp và vật cần nâng, tạo thành một hệ cơ cấu động với đa bậc tự do, đáp ứng các chuyển động linh hoạt và chính xác.

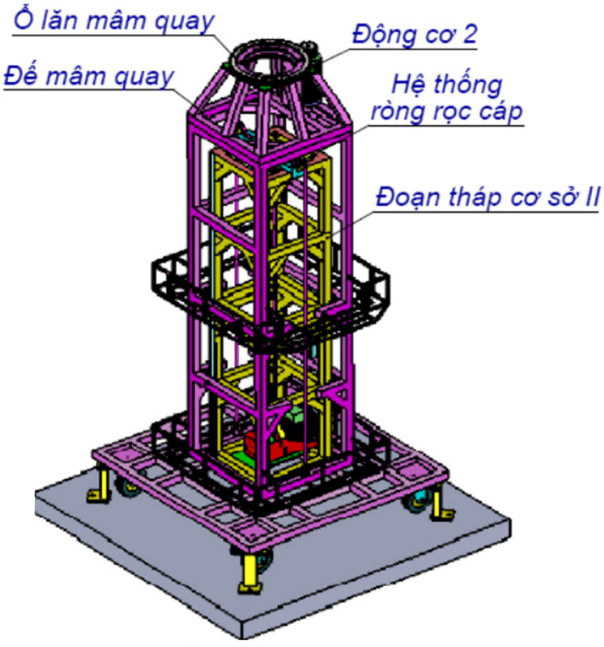
Đây là thiết bị bao gồm nhiều cơ cấu (nhiều phần) được ghép nối lại với nhau, vì vậy dễ gây mất an toàn. Chúng ta cần biết được cấu trúc chi tiết từng phần theo quy trình lắp ráp vận hành, xây dựng và tháo dỡ cho hệ thống cần trục này để nhằm bảo đảm khi sử dụng cần trục an toàn và hiệu quả. Từ đó ta đi xem xét chi tiết, sơ bộ hệ thống cấu trúc cần trục tháp đa bậc như sau:



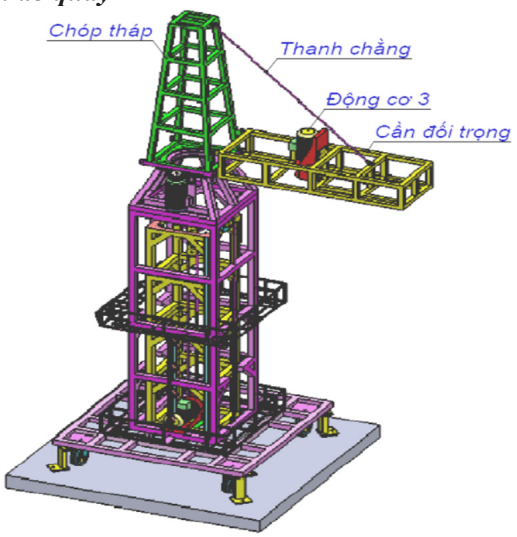
Hình 2.1. Phần đế của mô hình cần trục tháp



Hình 2.2. Phần cơ cấu lồng nâng tháp



Hình 2.3. Cơ cấu đoạn tháp cơ sở thứ hai và phần mâm đế quay



Hình 2.4. Phần cơ cấu đoạn choạn chóp tháp và cần đối trọng của cần trục

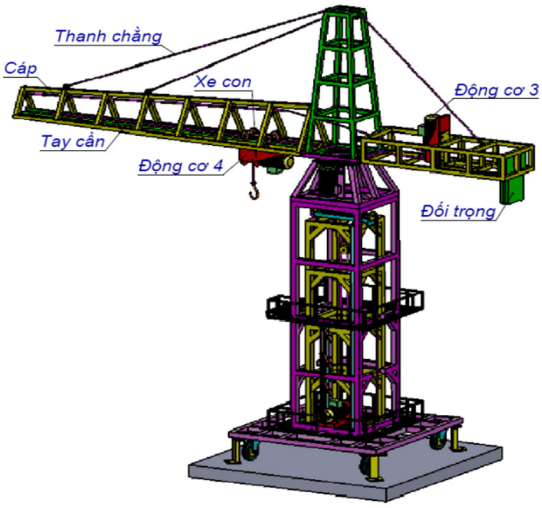
Trong thi công các công trình cao tầng, cần trục tháp được áp dụng với nhiều dạng cấu trúc khác nhau và phong phú về chủng loại nhằm đáp ứng yêu cầu thi công, chẳng hạn như cần gật, cần được bố trí cố định theo phương ngang, cần trượt trên ray dẫn hướng và cần có tháp cố định.

Trong đề tài này, chúng ta sẽ tập trung vào bài toán động học của cần trục có tháp được cố định, kiểu đầu bằng. Đối với loại cần trục này, chúng ta sẽ xem xét hệ thống gồm nhiều bậc tự do như sau: Mô hình cần trục tháp ba chiều sở hữu 5 bậc tự do cơ bản, bao gồm các chuyển động như quay quanh trục tháp, di chuyển lên xuống, di chuyển ngang, cùng với hai bậc tự do phụ thuộc vào góc và khoảng cách. Các bậc tự do này cho phép cần trục vận hành những thao tác đòi hỏi có kỹ thuật cao trong khi nâng - hạ và di chuyển tải.

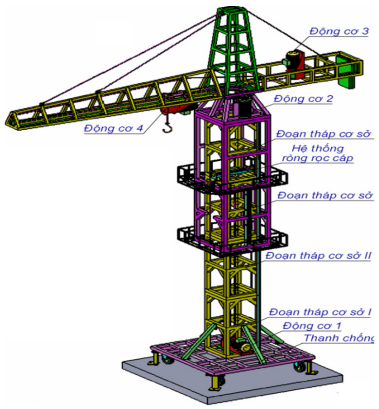
III. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình động lực học cho hệ thống cần trục tháp ba chiều năm bậc tự do bằng phương pháp Lagrange, với các chuyển động chính gồm quay cần trục, di chuyển xe con, nâng hạ tải và dao động tải theo hai phương. Mô hình thu được thể hiện được sự tương tác giữa các bậc tự do và các thành phần động lực học của hệ thống.

Kết quả là cơ sở để phân tích đặc tính chuyển động, thiết kế thuật toán điều khiển vị trí và giảm dao động tải. Đây cũng là nền tảng cho các nghiên cứu tiếp theo về mô phỏng, tối ưu quỹ đạo và nâng cao độ chính xác, an toàn trong vận hành cần trục.



Hình 2.5. Hệ thống tay cần của cần trục đa bậc



Hình 2.6. Hệ thống cần trục tháp ba chiều đa bậc hoàn chỉnh

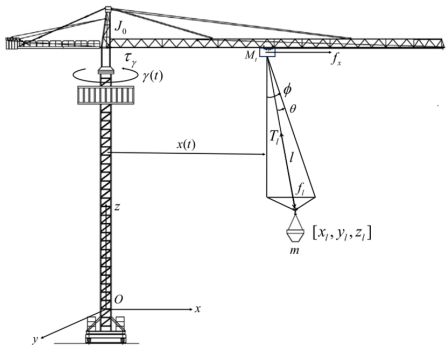
Ngoài ra còn có hệ thống dây cáp của cần trục tháp được coi như một mô hình bằng một hệ con lắc hai bậc theo cả hai trục tọa độ X và Y để đạt được sự cân bằng của vật thể được mang theo với khối lượng lớn nhỏ thay đổi. Mỗi trục trong hệ thống được cấu thành bởi hai thành phần chính: đoạn nối giữa xe con và móc và đoạn từ móc đến vật mang tải.

3.1. Mô hình động học hệ thống cần trục 5

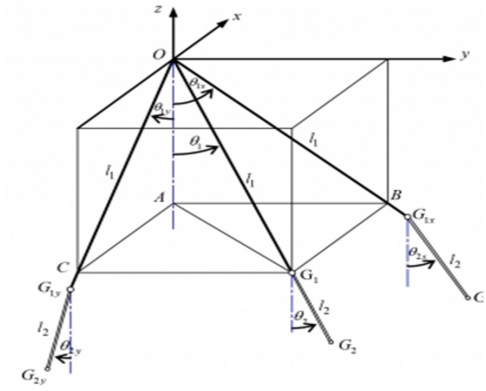
Mô hình cần trục tháp ba chiều có 5 bậc tự do được mô tả như hình 2.7 được sử dụng phổ rộng trong các nhà máy và công trường thi công để vận chuyển hàng hóa thay cho sức lực của con người trong không gian làm việc. Vận chuyển tải trọng yêu cầu có sự liên kết đồng thời của tất cả các chuyển động ở tốc độ cao để giảm thời gian di chuyển, an toàn, hiệu quả cao.

Dựa trên các tính chất vật lý của cáp cần trục, nghiên cứu này sẽ phát triển các phương trình chuyển động và thiết lập các thuật toán nhằm giải quyết những phương trình đó trong từng giai đoạn hoạt động của cần trục.

Dựa trên các tính chất vật lý của cáp cần trục, nghiên cứu này sẽ phát triển các phương trình chuyển động và thiết lập các thuật toán nhằm giải quyết những phương trình đó trong từng giai đoạn hoạt động của cần trục.



Hình 2.7. Hệ thống cơ cấu cần trục tháp ba chiều năm bậc



Hình 2.8. Mô hình các tham số động học của hệ dây cáp cần trục tháp đa bậc

Khi cần trục di chuyển ở tốc độ cao làm tăng góc xoay của trọng tải, điều này có thể dẫn đến các tình huống nguy hại cho con người và các cấu trúc xung quanh. Ngược lại, hoạt động chậm có thể có góc xoay nhỏ nhưng kéo dài thời gian di chuyển, điều này làm suy giảm năng suất của hệ thống cần trục tháp ba chiều. Để khắc phục vấn đề hiệu suất cho hệ thống cần trục tháp ba chiều, việc xây dựng quỹ đạo tham chiếu thời gian tối ưu giữ một tầm quan trọng nhất định.

Trên cơ sở phương pháp Lagrange, mô hình toán học hệ cần trục 5 bậc được xây dựng trên cơ sở ba khối lượng: khối lượng của tải m; khối lượng của xe đẩy M_t; khối lượng quay tương đương của cần trục tháp J_0 . Từ đó ta định nghĩa lực tác dụng là:

$$F = [\tau_\gamma, f_x, f_l, 0, 0]^T$$

véc tơ trạng thái:

$$q = [\gamma, x, l, \phi, \theta]^T$$

trong đó: + γ biểu thị góc quay của vật có thể quay

+ x biểu thị vị trí của xe đẩy

+ l chiều dài dây cáp và ϕ,θ là các góc quay

Vị trí các tải trọng được định nghĩa là:

$$[x_l, y_l, z_l]^T$$

Ta tiến hành thiết lập phương trình động học của hệ thống cần trục 5 bậc như sau:

Vị trí của xe con được cho như phương trình sau:

$$\vec{r}_T = \{x, 0, 0\} \quad (2.1)$$

Vị trí điểm cuối của tải được cho như phương trình sau:

$$\vec{r}_L = \{x - Lcos\theta sin\phi, Lsin\theta, -Lcos\theta cos\phi\} \quad (2.2)$$

Vận tốc của vị trí điểm cuối tải được tính thông qua việc lấy đạo hàm theo thời gian của $\vec{r}_L$:

$$\vec{r}_L = \frac{d}{dt}\{x - Lcos\theta sin\phi, Lsin\theta, -Lcos\theta cos\phi\}$$

$$\vec{r}_L = \begin{Bmatrix} \dot{x} - \dot{L}cos\theta sin\phi + Lsin\theta sin\phi\dot{\theta} - Lcos\theta cos\phi\dot{\phi}, \\ \dot{L}sin\theta + Lcos\theta\dot{\theta} \\ -\dot{L}cos\theta cos\phi + Lsin\theta cos\phi\dot{\theta} + Lcos\theta sin\phi\dot{\phi} \end{Bmatrix}$$

Vận tốc của xe con:

$$\vec{r}_T = \{\dot{x}, 0, 0\} \quad (2.4)$$

Do thân cần trục quay với vận tốc góc $\dot{\gamma}$, gọi véc tơ $\vec{\omega}$ là véc tơ vận tốc góc của cần trục, khi đó:

$$\vec{\omega} = \{0, 0, \dot{\gamma}\} \quad (2.5)$$

Khi đó vận tốc tổng quát của điểm cuối tải trọng hệ thống cần trục là

$$\vec{r} = \frac{d\vec{r}}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{r} \quad (2.6)$$

Động năng của hệ cần trục được tính như sau:

Động năng của tải:

$$T_L = \frac{1}{2} m\vec{r}_L . \vec{r}_L \quad (2.7)$$

Động năng của xe con:

$$T_T = \frac{1}{2} M\vec{r}_T . \vec{r}_T \quad (2.8)$$

Động năng của thân cần trục:

$$T_\gamma = \frac{1}{2} J_0 \dot{\gamma}^2 \quad (2.9)$$

Trong đó J_0 là mô men quán tính của cần trục theo trục z

Tổng động năng của hệ:

$$T = T_L + T_T + T_\gamma = \frac{1}{2} m\vec{r}_L . \vec{r}_L + \frac{1}{2} M\vec{r}_T . \vec{r}_T + \frac{1}{2} J_0 \dot{\gamma}^2$$
$$= \frac{1}{2} M\dot{x}^2 + \frac{1}{2} m\vec{r}_L . \vec{r}_L + \frac{1}{2} J_0 \dot{\gamma}^2 \quad (2.10)$$

Thế năng của hệ cần trục:

$$V = -mgLcos\theta cos\phi \quad (2.11)$$

Véc tơ lực tổng quát tương ứng với véc tơ tọa độ tổng quát t $\vec{q} = (\gamma, x, L, \theta, \phi)$là:

$$\vec{F} = (T_\gamma, F_x, F_L, 0, 0) \quad (2.12)$$

Ta có hàm Lagrange được cho như sau:

L=T-V (2.13)

Phương trình Lagrange nhận được như sau:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = F_j; j = 1,1, \dots 5 \quad (2.14)$$

Thực hiện các phép biến đổi ta nhận được phương trình động học mô tả hệ cần trục 5 bậc như sau:

$$\begin{aligned} &\ddot{\theta}(m\sin(\phi)\, l^2 + m\, x\cos(\theta)\, l) + \dot{l}\,(\dot{\gamma}\, l\, m + \dot{\theta}\, m\, x\cos(\theta) + \dot{\theta}\, l\, m\sin(\phi) - \dot{\gamma}\, l\, m\cos(\theta^2) \\ &\quad + \dot{\gamma}\, m\, x\cos(\theta)\sin(\theta) - \phi\, l\, m\cos(\phi)\cos(\theta)\sin(\theta)) \\ &+ \dot{\phi}\,(\dot{\theta}\, l^2\, m\, x\cos(\phi) - \dot{\theta}\, l^2 m\cos(\phi)\cos(\theta^2) \\ &\quad - \dot{l}\, l\, m\, cos(\phi\cos(\theta)\sin(\theta) - \dot{\phi} l^2 m\cos(\theta)\ \sin(\phi)\sin(\theta) \\ &+ \dot{\gamma}\, l\, m\, cos(\phi\cos(\theta) + \dot{\gamma}\, l^2 m\cos(\phi)\ \cos(\theta^2)\sin(\theta)) \\ &\quad + \dot{x}\,(\dot{\gamma}\, m\, x + \dot{\gamma}\, M_t\, x + \dot{\gamma}\, \mathrm{l\,m}\cos(\theta)\sin(\theta)) \\ &\qquad + \dot{\gamma}\,(b_\gamma + \dot{l}\ l\ m + \dot{x}\,\mathrm{m}\, x + \dot{x}\, M_t\, x - \dot{l}\, l\ m\cos(\phi^2)\, cos(\theta)^2 \\ &\qquad\quad + \dot{x}\, l\, m\cos(\theta)\sin(\phi) + \dot{l}\ m\ x\, cos(\theta)\sin(\phi)| \\ &\qquad\quad + \dot{\phi}\, l\, m\, x\cos(\phi)\cos(\theta) - \dot{\theta}\ l\, m\ x\sin(\phi)\sin(\theta) \\ &\qquad\quad + \dot{\phi}\, l^2\, m\cos(\phi)\ \cos(\theta)^2\sin(\phi) \\ &\qquad\quad + \dot{\theta}\, l^2\, m\cos(\phi)^2\ \cos(\theta)\ \sin(\theta) + \dot{\theta}\,(\dot{l}\, m\, x\cos(\theta) \\ &+ \dot{l}\, l\, m\sin(\phi) + \dot{\phi}\, l^2\, m\cos(\phi) - \dot{\phi}\, l^2\ \cos(\phi)\cos(\theta)^2 \quad (2.15) \\ &\qquad\quad \dot{\theta}\, l\, m\, x\sin(\theta) - \dot{\gamma}\, l\, m\, x\, \mathrm{s}\, in(\phi)\sin(\theta) \\ &\qquad\quad + \dot{\gamma}\, l^2\, m\ \cos(\phi)^2\cos(\theta)\sin(\theta)) - \ddot{\gamma}\, l^2\, m \\ &\qquad\quad + m\, x^2 + M_t\, x^2 - l^2 m\cos(\phi)^2\cos(\theta)^2 \\ &\qquad\quad + 2\, l\, m\, x\cos(\theta)\sin(\phi)) - \ddot{x}\, l\, m\sin(\theta) \\ &+ \ddot{l}\, m\, x\sin(\theta) - \ddot{\phi}\, l^2\, m\cos(\phi)\cos(\theta)\sin(\theta) + d_\gamma = \tau_\gamma \end{aligned}$$

Ta có theo f_x:

$$\begin{aligned} &b_x\, \ddot{x} - \dot{l}\,(\dot{\theta}\, m\,\mathrm{sin}(\phi)\,\mathrm{sin}(\theta) + \gamma\, m\sin(\theta) \\ &m\,\dot{\phi}\cos(\theta)\cos(\phi) - \dot{\theta}\,(\sin(\theta)\,\dot{l}\, m\sin(\phi) \\ &+ \dot{\gamma}\, l\, m\cos(\theta) + \dot{\phi}\,\dot{l}\, m\cos(\phi)\sin(\theta) \\ &\quad + \dot{\theta}\, l\, m\cos(\theta) + \dot{\gamma}\, l\, m\cos(\theta)\sin(\phi)) \\ &\qquad\quad \dot{\phi}\,(\dot{\phi}\, l\, m\sin(\phi)\cos(\theta)) - \dot{l}\ m\cos(\theta)\cos(\phi) \\ &+ \dot{\theta}\, l\, m\cos(\phi)\sin(\theta) + \dot{x}\ (m + M_t) - \ddot{\gamma}\, l\, m\ \mathrm{s}\, in(\theta) \quad (2.16) \end{aligned}$$

$$+ \ddot{l}\, m \sin(\phi)\cos(\theta) + \dot{\phi}\cos(\phi)\cos(\theta)\, l\, m$$
$$\ddot{\theta}\, l\, m \sin(\phi)\sin(\theta) + d_x = f_x$$

Ta có theo f_l:

$$\dot{\gamma}\,(\dot{\gamma}\, l\, m \cos(\theta)^2 \cos(\phi)^2 + \dot{\phi}\, l\, m \sin(\theta)\cos(\phi)\cos(\theta))$$
$$\dot{\gamma}\, m\, xsi\, n(\phi)\cos(\theta) + \dot{x}\, m \sin(\theta) - \dot{\gamma}\, l\, m - \dot{\theta}\, l\, m \sin(\phi))$$
$$+ b_l\, \dot{l} - \dot{\phi}\, l\, m\, \cos(\theta)^2 - \dot{\gamma}\, l\, m \cos(\phi)\cos(\theta)\sin(\theta)) + \ddot{l}\, m$$
$$\dot{\theta}\,(\dot{\theta}\, l\, m + \dot{\gamma}\, \sin(\phi) l\, m) + \dot{\gamma}\, \dot{x}\, \sin(\theta)\, m + \dot{\gamma}\, m\, x \sin(\theta)$$
$$- g\, m \cos(\theta)\cos(\phi) + \ddot{x}\, m\, cos(\theta)\sin(\phi) + d_l = f_l \qquad (2.17)$$

Ta có:

$$\dot{\phi}\left(-\dot{\theta}\, m \sin(\theta)\, l^2 \cos(\theta) + \dot{l}\, m\, l \cos(\theta)^2 + b_\phi\right) + d_0$$
$$+ g\, l\, m \cos(\theta)\sin(\phi) - \dot{\gamma}\,(\dot{\theta}\, l^2\, m \cos(\phi)\cos(\theta)^2$$
$$+ \dot{l}\, l\, m \cos(\phi)\cos(\theta)\sin(\theta) + \dot{\gamma}\, l\, m\, x\, \cos(\phi)\cos(\theta)$$
$$+ \dot{\gamma}\, l^2\, m \cos(\phi)\cos(\theta)^2 \sin(\phi)) + \dot{l}\,(\dot{\phi}\, l\, m\, \cos(\theta)^2$$
$$- \dot{\gamma}\, l\, m \cos(\theta)\cos(\phi)\sin(\theta)) - \dot{\theta}\,(\dot{\gamma}\, m\, \cos(\phi)\, l^2\, \cos(\theta)^2 \qquad (2.18)$$
$$+ \dot{\phi}\, m \sin(\theta)\, l^2 \cos(\theta)) + \ddot{\phi}\, l^2\, m\, \cos(\theta)^2$$
$$+ \ddot{x}\, l\, m \cos(\phi)\, \cos(\theta)$$
$$\ddot{\gamma}\, l^2 m \cos(\phi)\cos(\theta)\, \sin(\theta) = 0$$

Và tiếp theo ta có:

$$\dot{\gamma}\,(\dot{x}\, l\, m \cos(\theta) + \dot{l}\, \sin(\phi)\, l\, m + \dot{\phi}\, l^2\, m \cos(\theta)^2 \cos(\phi)$$
$$+ \dot{\gamma}\,(\dot{x}\, \sin(\theta)\sin(\phi)\, l\, m - \dot{\gamma}\, l^2\, m \cos(\theta)\cos(\phi)^2 \sin(\theta))$$
$$+ \dot{\theta}\,(\dot{l}\, l\, m + b_0 + (m \sin\phi)\, \ddot{\gamma}\, l^2 + m\, x\, l \cos(\theta))$$
$$+ \dot{l}\left(\dot{\theta}\, l\, m + \dot{\gamma}\,(m \sin\phi)\right) + \dot{\phi}\,(\dot{\gamma}\, m\, \cos(\phi)\, l^2 \cos(\theta)^2$$
$$+ \sin(\theta)\, l^2 \dot{\phi}\, m \cos(\theta)) + \ddot{\theta}\, l^2\, m + g\, l\, m\, \sin(\theta)\cos(\phi)$$
$$- \ddot{x}\, l^2\, m \sin(\phi)\, \sin(\theta)) + \dot{\gamma}\, \dot{x}\, l\, m \cos(\theta) + d_\phi = 0 \qquad (2.19)$$

Phương trình toán học hệ cần trục 5 bậc được viết dạng ma trận:

$$\mathbf{M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + G(q) + D = F} \qquad (2.20)$$

Từ (2.20) ta có:

$$\mathbf{M}(q) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} & m_{25} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} & m_{35} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} & m_{45} \\ m_{51} & m_{52} & m_{53} & m_{54} & m_{55} \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} d_\gamma \\ d_x \\ d_l \\ d_\phi \\ d_\theta \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{C}(q,\dot{q}) = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \\ g_5 \end{bmatrix}$$

Với: $\mathbf{M(q)} \in \Re^{5x5}$ là ma trận khối lượng quán tính

$\mathbf{C(q,\dot{q})} \in \Re^{5x5}$ là ma trận lực Coriolis và ly tâm

$\mathbf{G(q)} \in \Re^{5x1}$ là lực trọng trường

$\mathbf{D} \in \Re^{5x1}$ là ma sát, cản, nhiễu

$\mathbf{F} \in \Re^{5x1}$ là mô men điều khiển

3.2. Ý nghĩa và khả năng ứng dụng trong giáo dục

Mô hình động lực học cần trục tháp năm bậc tự do không chỉ có ý nghĩa trong phân tích và điều khiển hệ thống nâng hạ mà còn có giá trị trong đào tạo các ngành kỹ thuật như Cơ khí, Cơ điện tử, Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa. Việc xây dựng mô hình bằng phương pháp Lagrange giúp người

học vận dụng kiến thức về cơ học, động lực học, toán học kỹ thuật và lý thuyết điều khiển vào một hệ thống kỹ thuật thực tế.

Thông qua mô hình năm bậc tự do, sinh viên có thể nhận biết mối quan hệ giữa các biến chuyển động, lực tác dụng, động năng, thế năng và phương trình động lực học của hệ thống. Đặc biệt, sự tương tác giữa chuyển động của cần trục và dao động của tải cho phép người học hiểu rõ hơn về các vấn đề ổn định, chống dao động và điều khiển chính xác trong hệ thống đa bậc tự do. Nội dung này phù hợp với định hướng đào tạo theo năng lực, trong đó người học không chỉ tiếp nhận kiến thức lý thuyết mà còn biết phân tích, mô hình hóa và giải quyết các bài toán kỹ thuật.

Bên cạnh đó, mô hình toán học có thể được sử dụng làm cơ sở xây dựng các bài thực hành mô phỏng trên máy tính. Sinh viên có thể thay đổi các tham số như khối lượng tải, chiều dài cáp, vận tốc xe con hoặc vận tốc quay của cần trục để quan sát sự thay đổi của dao động tải và đáp ứng động lực học. Qua đó, người học có thể kiểm chứng các kết quả lý thuyết, phân tích ảnh hưởng của từng tham số và bước đầu thiết kế các thuật toán điều khiển nhằm giảm dao động, nâng cao độ chính xác và an toàn của hệ thống.

Việc kết hợp mô hình động lực học với các phần mềm mô phỏng và công cụ tính toán cũng tạo điều kiện phát triển năng lực nghiên cứu, tư duy hệ thống và kỹ năng ứng dụng công nghệ cho sinh viên. Vì vậy, mô hình cần trục năm bậc tự do có thể được khai thác không chỉ trong nghiên cứu khoa học mà còn trong giảng dạy các học phần Động lực học, Mô hình hóa hệ thống, Điều khiển tự động và Cơ điện tử.

IV. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình động lực học cho hệ thống cần trục tháp ba chiều năm bậc tự do bằng phương pháp Lagrange, với các chuyển động chính gồm quay cần trục, di chuyển xe con, nâng hạ tải và dao động tải theo hai phương. Mô hình thu được thể hiện được sự tương tác giữa các bậc tự do và các thành phần động lực học của hệ thống.

Kết quả là cơ sở để phân tích đặc tính chuyển động, thiết kế thuật toán điều khiển vị trí và giảm dao động tải. Đây cũng là nền tảng cho các nghiên cứu tiếp theo về mô phỏng, tối ưu quỹ đạo và nâng cao độ chính xác, an toàn trong vận hành cần trục.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2006), Robot Modeling and Control, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Craig, J. J. (2005), Introduction to Robotics: Mechanics and Control, 3rd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., & Oriolo, G. (2009), Robotics: Modelling, Planning and Control, Springer, London.

Lewis, F. L., Dawson, D. M., & Abdallah, C. T. (2004), Robot Manipulator Control: Theory and Practice, 2nd Edition, Marcel Dekker, New York.

Khalil, H. K. (2002), Nonlinear Systems, 3rd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.