

# NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC ROBOT CHỮA CHÁY NHÀ XƯỞNG CÔNG NGHIỆP TRONG QUÁ TRÌNH LEO CẦU THANG

Hoàng Sơn<sup>1</sup>, Nguyễn Xuân Nguyên<sup>2</sup>, Nguyễn Phạm Thục Anh<sup>3</sup>, Nguyễn Thị Huyền<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Lâm nghiệp

<sup>2</sup>Trường Cao đẳng Cơ điện Hà Nội

<sup>3</sup>Đại học Bách khoa Hà Nội

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.2023.2.104-115>

## TÓM TẮT

Chữa cháy trong nhà xưởng công nghiệp luôn tiềm ẩn nhiều nguy hiểm cho lực lượng tham gia phòng cháy chữa cháy (PCCC) vì phải đối mặt không chỉ với cháy nổ mà còn các hóa chất nguy hiểm độc hại ảnh hưởng tới sức khỏe. Các thiết bị chữa cháy thông minh sử dụng công nghệ cao có thể cung cấp phương tiện chữa cháy an toàn và giảm thiểu thiệt hại do hỏa hoạn có thể xảy ra trong nhà máy xí nghiệp. Robot chữa cháy di động có khả năng hoạt động độc lập và được điều khiển từ khoảng cách an toàn là phương tiện chữa cháy có thể dập tắt đám cháy mà không gây nguy hiểm đến tính mạng lực lượng tham gia chữa cháy. Kết quả nghiên cứu về mô hình động lực học robot chữa cháy trong quá trình leo cầu thang (một chương ngại vật thường gặp và phải vượt qua khi robot tham gia chữa cháy) sẽ là cơ sở cho lựa chọn động cơ truyền động robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm đã chứng minh độ tin cậy và chính xác của mô hình động lực học khi robot leo cầu thang đã được nghiên cứu.

**Từ khóa:** động lực học chuyển động, leo cầu thang, nhà xưởng công nghiệp, robot chữa cháy.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cháy nổ là một trong những thảm họa nguy hiểm, gây thiệt hại nghiêm trọng về vật chất cũng như tính mạng con người cho Việt nam cũng như nhiều quốc gia trên toàn thế giới. Cùng với tốc độ đô thị hoá và công nghiệp hóa nhanh của đất nước trong những năm gần đây cũng xảy ra các vụ cháy lớn tại các khu công nghiệp, khu chế xuất tại Việt Nam: vụ cháy trung tâm thương mại Ba Hòn vào tháng 12 năm 2021 khiến 4 người thiệt mạng; vụ hỏa hoạn xảy ra tại khu công nghiệp Quang Châu, Bắc Giang vào tháng 11 năm 2021 thiêu rụi 10.000 m<sup>2</sup> nhà xưởng của công ty Jufeng; vụ cháy tại công ty hóa chất Arirang trong khu công nghiệp Long Bình tỉnh Đồng Nai vào tháng 6 năm 202 đã thiêu rụi 1000 m<sup>2</sup> nhà xưởng cùng toàn bộ tài sản bên trong. Theo số liệu từ Cục Cảnh sát Phòng cháy, Chữa cháy và Cứu nạn Cứu hộ, năm 2022 trên cả nước đã xảy ra hơn 1700 vụ cháy nổ, số lượng người tử vong do cháy nổ gia tăng (hơn 100 người bao gồm cả lính chữa cháy), số vụ cháy hết sức nghiêm trọng cũng gia tăng. Chữa cháy là nhiệm vụ rất quan trọng, như rất nguy hiểm đối với người tham gia chữa cháy do môi trường làm việc với nhiệt độ cao, khói bụi, khí thải độc hại do đám cháy gây ra, bị đồ

vật đè vào người do sập trần và tường nhà... gây nguy hiểm trực tiếp tới tính mạng

Nghiên cứu và phát triển robot chữa cháy để hỗ trợ công việc chữa cháy trở thành một yêu cầu rất cấp thiết. Tại các nước phát triển như Hoa Kỳ, Nhật Bản, Pháp và các nước châu Âu, robot chữa cháy được sử dụng rộng rãi do nó có thể điều khiển từ xa để tiến vào bên trong đám cháy cháy với mục đích kiểm tra diễn biến vụ cháy, tìm kiếm và phát hiện người bị nạn, hoặc trực tiếp phun chất lỏng chữa cháy [1-6]. Tại Mỹ, robot chữa cháy Thermite RS3 [3] với bộ điều khiển từ xa và sự hỗ trợ hình ảnh video từ các camera gắn trên robot, lính chữa cháy có thể điều khiển thao tác của robot từ khoảng cách 400 m, robot RS3 là thiết bị tham gia vào công việc chữa cháy do khả năng vượt chương ngại vật để xâm nhập vào bên trong đám cháy. Tại Nhật bản, robot chữa cháy Scrum Force đã được triển khai đến cơ quan phòng cháy chữa cháy của thành phố Ichihara tỉnh Chiba, đây là robot được sử dụng bánh xe rất linh hoạt với tốc độ di chuyển nhanh, tuy nhiên khả năng vượt chương ngại vật còn hạn chế do cấu tạo bánh xe tròn [6].

Trong các yêu cầu tính năng kỹ thuật, vượt chương ngại vật là một yêu cầu bắt buộc đối với robot chữa cháy do robot phải trực tiếp vượt qua

các địa hình phức tạp nhiều vật cản do đám cháy gây ra, khi đó robot cần phải vòng tránh với chướng ngại vật lớn hoặc leo qua đối với chướng ngại vật nhỏ. Ngoài ra, việc leo cầu thang cũng là một yêu cầu bắt buộc đối với robot chữa cháy, vì robot cần phải leo cầu thang để tiếp cận gần đám cháy trong nhiều trường hợp cần thiết khi xảy ra cháy nổ tại các tầng phía trên. Do vậy, các robot chữa cháy được trang bị bánh xích có ưu điểm nhất định so với robot chữa cháy trang bị bánh tròn thông thường [6]. Trong bài báo này, chúng tôi tập trung nghiên cứu động lực học của robot chữa cháy được trang bị bánh xích trong quá trình leo cầu thang, từ đó đề xuất bộ điều khiển chuyển động cho robot. Kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm với các độ dốc cầu thang khác nhau đã cho thấy tính tin cậy của mô hình động lực học và tính hiệu quả của bộ điều khiển đối với robot thực tế.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Phương pháp nguyên cứu lý thuyết

Từ cấu tạo cơ khí của robot chữa cháy và quá trình hoạt động leo cầu thang của robot, nghiên cứu sử dụng cơ học lý thuyết, áp dụng định luật Newton để xây dựng mô hình, thiết lập các hệ phương trình động lực học tương ứng với các trạng thái động học của robot trong quá trình leo

cầu thang. Sử dụng phần mềm Matlab để khảo sát các hệ phương trình vi phân động lực học từ đó cho ra đồ thị thay đổi của các tham số khi robot leo cầu thang như góc nâng  $\beta$ ; vận tốc và gia tốc khối tâm; tốc độ quay, momen đầu, công suất mà động cơ truyền động cần phải đáp ứng.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm

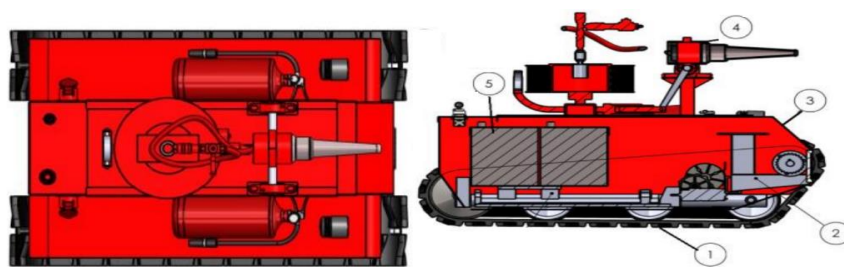
Sử dụng các thiết bị đo và các phần mềm xử lý số liệu hiện đại để xác định tính đáp ứng của động cơ điện được nghiên cứu lựa chọn thông qua kết quả lý thuyết, đồng thời cũng khẳng định độ tin cậy của kết quả nghiên cứu lý thuyết.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Cấu tạo robot chữa cháy

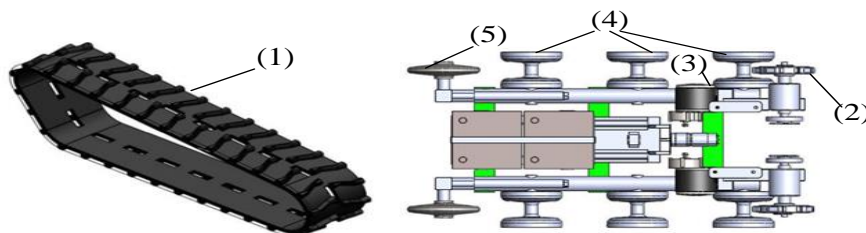
Cấu tạo của robot chữa cháy được thể hiện trên các hình 1 gồm: Hệ thống động lực bánh xích; khung xe và vỏ xe có chứa áp quy, động cơ truyền động, bộ điều khiển robot bên trong để chống nước, ngoài ra hệ thống lăng phun chất chữa cháy (lăng phun, ống dẫn...) cũng được gắn trên khung và vỏ nhưng ở phía ngoài.

Hệ thống động lực của robot được thể hiện trên hình 2 bao gồm 2 đai xích chống cháy được truyền động độc lập; 2 hệ thống bánh truyền động độc lập với bánh dẫn động được gắn với động cơ một chiều (động cơ DC) thông qua hộp số, bánh dẫn hướng, bánh phụ căng xích...



Hình 1. Cấu tạo robot chữa cháy

(1) - Hệ thống bánh xích; (2) - Khung xe; (3) - Vỏ xe; (4) - Lăng phun chất lỏng chữa cháy; (5) - Áp quy



Hình 2. Hệ thống động lực robot chữa cháy

(1) - Đai xích chống cháy, (2) - Bánh dẫn động, (3) - Động cơ một chiều, (4) - Bánh dẫn hướng, (5) - Bánh căng xích

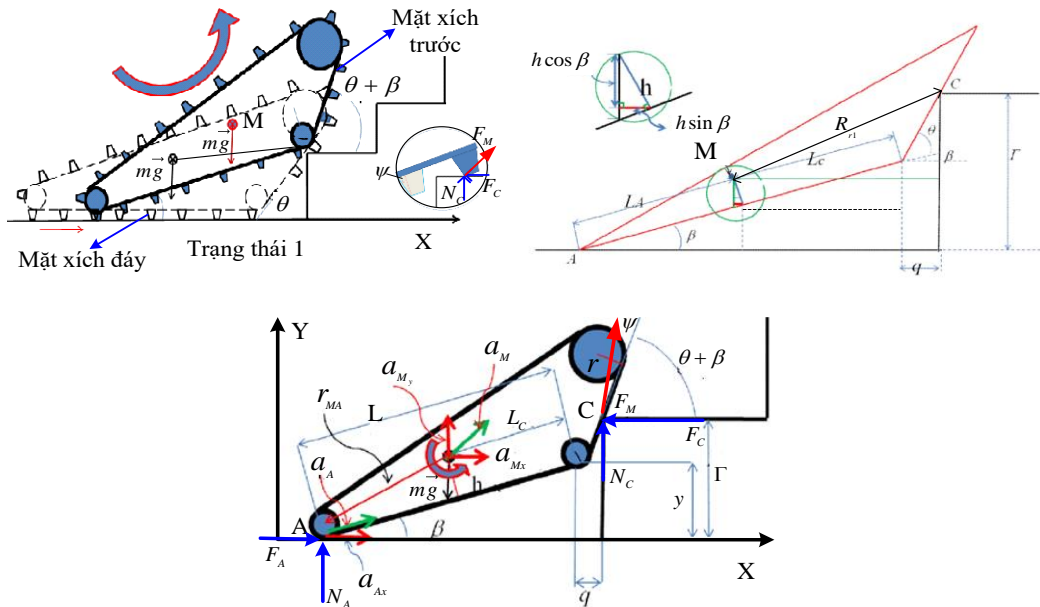
### 3.2. Phân tích động lực học quá trình robot leo cầu thang

Trong tác nghiệp chữa cháy với những đám cháy trên các tầng cao, robot thực hiện động tác leo lên cầu thang để tiếp cận với đám cháy và leo xuống cầu thang khi nhiệm vụ chữa cháy kết thúc. Tương ứng với động tác leo lên và leo xuống, trạng thái động học sẽ có sự thay đổi kéo theo các phương trình động lực học tại mỗi trạng thái là khác nhau, sau đây nghiên cứu sẽ tiến hành phân tích trạng thái động học và động lực học của robot tương ứng với các giai đoạn.

#### 3.2.1. Phân tích động học robot leo lên cầu thang

Khi robot tiến hành động tác leo lên, robot sẽ trải qua 6 trạng thái động học và tương ứng là phương trình động lực học khác nhau lần lượt như sau:

Trạng thái 1 bắt đầu khi mặt xích phía trước tiếp xúc với mũi bậc cầu thang đầu tiên, và kết thúc khi điểm đầu tiên của mặt xích đáy chạm mũi bậc cầu thang đầu tiên, khi đó góc nâng  $\beta$  có sự thay đổi tăng, trạng thái này robot bao gồm 2 chuyển động gồm chuyển động quay quanh trọng tâm ngược chiều kim đồng hồ và chuyển động tịnh tiến để di chuyển tiến lên (Hình 3). Khi đó, hệ phương trình động lực học trạng thái 1 khi leo lên gồm:



**Hình 3. Phân tích động lực học trạng thái 1**

( $\beta$  - góc nâng của robot khi leo cầu thang;  $\theta$  - góc leo của bánh xích;  $\psi$  - góc nghiêng của rang bánh xích;  $\Gamma$  - chiều cao bậc cầu thang;  $a_M$  - gia tốc tại khối tâm robot (phân thành hai thành phần theo trục X và trục Y là  $a_{M_x}$  và  $a_{M_y}$ );  $a_A$  - gia tốc tại điểm A;  $L_C$  - khoảng cách từ trọng tâm tới bánh dẫn hướng trước;  $L_A$  - khoảng cách từ trọng tâm tới bánh dẫn hướng sau;  $L$  - chiều dài mặt xích đáy;  $h$  - chiều cao trọng tâm.)

$$\begin{cases} \Sigma F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2} = ma_{M_x} = F_M \cos(\theta + \beta + \psi) + F_A - F_C \\ \Sigma F_y = m \frac{d^2 y}{dt^2} = ma_{M_y} = F_M \sin(\theta + \beta + \psi) + N_A + N_C - mg \\ \Sigma M_C = (I + mR_{r1}^2)\Omega = N_A(\mu\Gamma - L \cos \beta - q) + (L_C \cos \beta + q)mg \\ \frac{d^2 x}{dt^2} = a_{M_x} = a_{Ax} - [\ddot{\beta}(L_A \cos \beta + h \sin \beta)] \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = a_{M_y} = [\ddot{\beta}(L_A \cos \beta - h \sin \beta)] \end{cases} \quad (1)$$

Trong hệ phương trình (1) thì  $F_A, F_C$  là thành phần các lực ma sát theo phương X tại điểm A và C;  $N_A, N_C$  là các phản lực tại điểm A và C;  $\mu$  là hệ số ma sát;  $\Omega$  là gia tốc góc robot tại khối tâm;  $R_{r1}$  là bán kính quay;  $F_M$  là lực kéo sinh ra bởi bánh chủ động.

$$R_{r1} = \sqrt{(L_C + q)^2 + (\Gamma - L_A \sin \beta - h \cos \beta)^2} \quad (2)$$

$$F_M = \frac{G \cdot E}{r} \cdot T \quad (3)$$

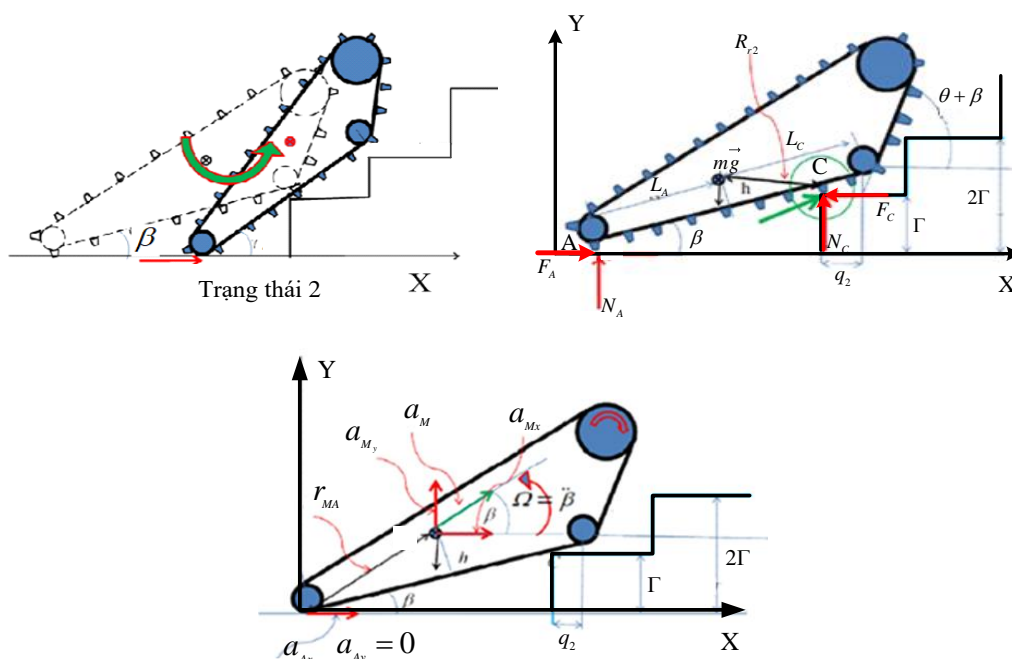
với  $T$  là mômen do động cơ truyền động (động cơ một chiều) sinh ra,  $G$  là tỷ số truyền hộp số,  $E$  là hiệu suất hộp số. Theo điều kiện cân

bằng để robot có thể thực hiện được trạng thái 3, chúng ta chọn:

$$L_C = A_{\Gamma, B} - h \tan \gamma \quad (4)$$

$$L_A = A_{\Gamma, B} + h \tan \gamma$$

Trạng thái 2 bắt đầu khi trạng thái 1 kết thúc (hình 4), lúc này mặt xích đáy tiếp xúc với mũi bậc cầu thang thứ nhất, góc nâng tiếp tục tăng, tâm robot vẫn có xu hướng xoay theo chiều ngược chiều kim đồng hồ, trạng thái 2 kết thúc khi khối tâm robot đi qua mũi bậc thứ nhất chiều theo trục X. Tại trạng thái này, hệ phương trình động lực học của robot sẽ có dạng:



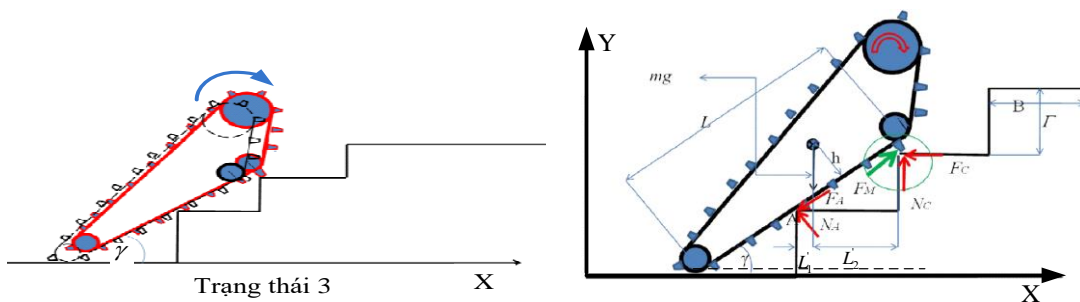
Hình 4. Phân tích động lực học trạng thái 2

$$\begin{cases} \sum F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2} = ma_{Mx} = F_M \cos(\beta + \psi) + F_A - F_C \\ \sum F_y = m \frac{d^2 y}{dt^2} = ma_{My} = F_M \sin(\beta + \psi) + N_A + N_C - mg \\ \sum M_C = (I + mR_{r2}^2)\Omega = N_A(\mu\Gamma - L \cos \beta - q) + (L_C \cos \beta - q + h \sin \beta)mg \\ \frac{d^2 x}{dt^2} = a_{Mx} = a_{Ax} - \ddot{\beta}(L_A \sin \beta + h \cos \beta) \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = a_{My} = \ddot{\beta}(L_A \cos \beta - h \sin \beta) \end{cases} \quad (5)$$

với  $q_2 = (\Gamma - L \sin \beta) / \tan \beta$ ,  $R_{r2} = \sqrt{(L_C \cos \beta - q_2)^2 + (L_A \sin \beta + h \cos \beta - \Gamma)^2}$

Trạng thái 3 bắt đầu khi trạng thái 2 kết thúc, lúc này do khối tâm robot đã vượt qua mũi bậc thứ nhất (theo phương trục Y) do vậy, robot sẽ có xu hướng đổi chiều quay (quay theo chiều

kim đồng hồ) để tiếp cận với mũi bậc thứ 2, đồng thời bánh xích đáy nhấc lên khỏi mặt đất, lúc này tâm quay tại điểm A (hình 5).



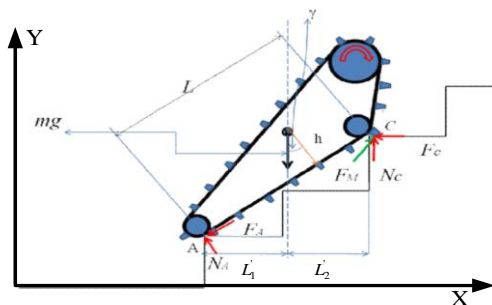
Hình 5. Phân tích động lực học trạng thái 3

$$\begin{cases} \Sigma F_x = ma_{Mx} = F_M \cos\gamma + F_A \cos\gamma - N_A \sin\gamma - F_C \\ \Sigma F_y = ma_{My} = F_M \sin\gamma + F_A \sin\gamma + N_A \cos\gamma - mg + N_C \\ \Sigma M_A = F_M [-\Gamma \cos\gamma + B \sin\gamma] + N_C [\Gamma \mu + B] - mgL_1' \end{cases} \quad (6)$$

với  $B = L_1' + L_2'$

Trạng thái 4 bắt đầu khi bánh xích dưới tiếp xúc với mũi bậc thềm thứ 3. Khi đó hệ phương

trình động học thuận được biểu diễn bởi công thức (7).



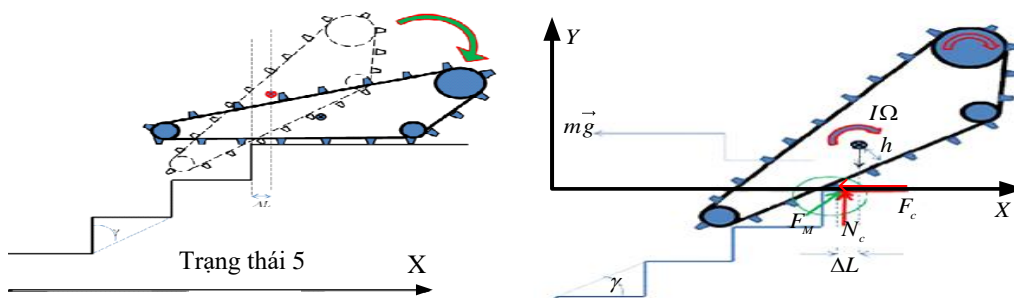
Hình 6. Phân tích động lực học trạng thái 4

$$\begin{cases} \Sigma F_x = ma_{Mx} = F_M \cos\gamma + F_A \cos\gamma - N_A \sin\gamma - F_C \\ \Sigma F_y = ma_{My} = F_M \sin\gamma + F_A \sin\gamma + N_A \cos\gamma - mg + N_C \\ \Sigma M_A = N_C [2\Gamma \mu + 2B \cos\gamma] - F_M [2\Gamma \cos\gamma - 2B \sin\gamma] - mgL_1' \end{cases} \quad (7)$$

với  $2B = L_1' + L_2'$

Sau khi kết thúc trạng thái 4 diễn ra để robot lần lượt leo lên các bậc cầu thang còn lại cho đến trạng thái 5 diễn ra. Trạng thái 5 bắt đầu khi khối tâm robot đi qua mũi bậc thềm trên cùng

và kết thúc khi robot nằm trên mặt phẳng nằm ngang (chiều nghiêng, mặt sàn), khi đó khối tâm robot sẽ có xu hướng quay theo chiều kim đồng hồ. Hệ phương trình động lực học được biểu diễn tại phương trình (8).



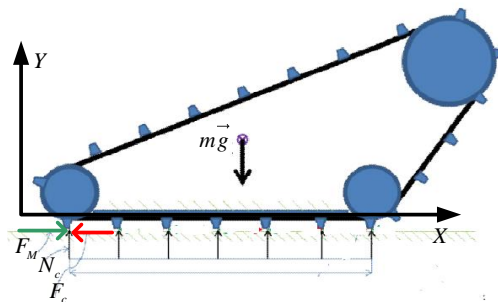
Hình 7. Phân tích động lực học trạng thái 5

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = ma_{Mx} = F_M \cos \beta - F_C \\ \sum F_y = ma_{My} = F_M \sin \beta + N_C - mg \\ \sum M_{CM} = I\Omega \\ \quad = -F_M \cos \beta \left( \frac{h}{\cos \beta} + \Delta L \tan \beta \right) + F_M \Delta L \sin \beta + F_C \left( \frac{h}{\cos \beta} + \Delta L \tan \beta \right) + N_C \Delta L \end{array} \right. \quad (8)$$

Trạng thái 6 là trạng thái robot di chuyển trên mặt phẳng nằm ngang (mặt sàn tầng, dưới đất, chiếu nghỉ...), do vậy robot chỉ có chuyển động

tịnh tiến theo trục X, khi đó phương trình động lực học là:

$$\sum F_x = m\ddot{x} = F_M - F_A = F_M - \mu mg \quad (9)$$



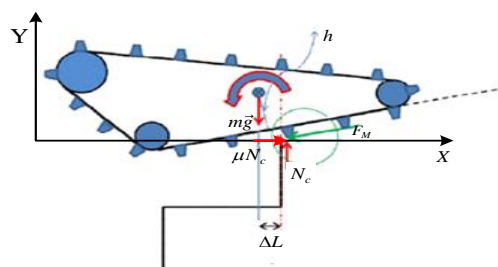
Hình 8. Phân tích động lực học trạng thái 6

### 3.2.2. Phân tích động học robot leo xuống cầu thang

Tương tự như leo lên, quá trình leo xuống cầu thang, robot cũng sẽ trải qua trạng thái lần lượt như sau:

Trạng thái 7 của leo xuống bắt đầu khi khối tâm đi qua mũi bậc cầu thang trên cùng (theo

phương của trục Y), khi đó robot vừa quay vừa tiến, vận tốc quay sẽ tăng theo sự biến đổi của  $\Delta L$ , trạng thái 7 kết thúc khi phần phía trước của mặt xích đáy chạm vào bậc thêm phía dưới. Hệ phương trình động lực học mô tả trạng thái 7 như sau:

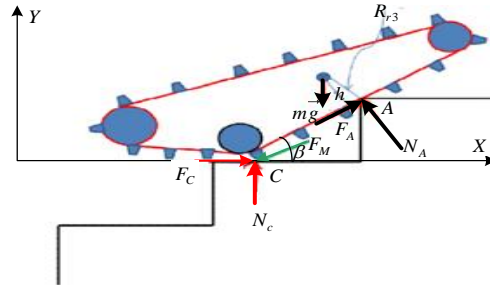


Hình 9. Phân tích động lực học trạng thái 7

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = ma_{Mx} = -F_M \cos \beta + F_C \\ \sum F_y = ma_{My} = -F_M \sin \beta + N_C - mg \\ \sum M_{CM} = I\Omega \\ \quad = -F_M \cos \beta \left( \frac{h}{\cos \beta} + \Delta L \tan \beta \right) - F_M \Delta L \sin \beta + F_C \left( \frac{h}{\cos \beta} + \Delta L \tan \beta \right) + N_C \Delta L \end{array} \right. \quad (10)$$

Trạng thái 8 bắt đầu khi mặt xích đáy tiếp xúc với bậc phía dưới cầu thang, vào kết thúc khi điểm tiếp đầu mặt xích đáy tiếp xúc với mũi

cầu thang phía dưới. Hệ phương trình động lực học biểu diễn trạng thái 8 như sau:



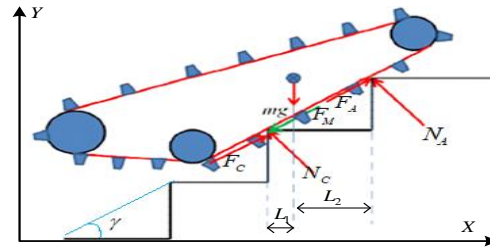
Hình 10. Phân tích động lực học trạng thái 8

$$\begin{cases} \sum F_x = m\ddot{x} = F_C + F_A \cos \beta - N_A \sin \beta - F_M \cos \beta \\ \sum F_y = m\ddot{y} = N_C + N_A \cos \beta - F_A \sin \beta - F_M \sin \beta \\ \sum M_C = (I + m(R_{r3})^2)\Omega \\ = N_A \Gamma \left[ \frac{1}{\tan \beta} (\mu \sin \beta - \cos \beta) - (\sin \beta + \mu \cos \beta) \right] + mg \left[ \frac{\Gamma}{\tan \beta} - \cos \beta (\Gamma \sin \beta - L_c) - h \sin \beta \right] \end{cases} \quad (11)$$

với  $R_{r3} = \sqrt{h^2 + \left( \frac{\Gamma}{\cos \beta} - L_c \right)^2}$

Trạng thái 9 là trạng thái di chuyển mà mặt đáy xích robot tiếp xúc với mũi hai bậc cầu

thang, lúc này hệ phương trình động lực học được biểu diễn tại (12):

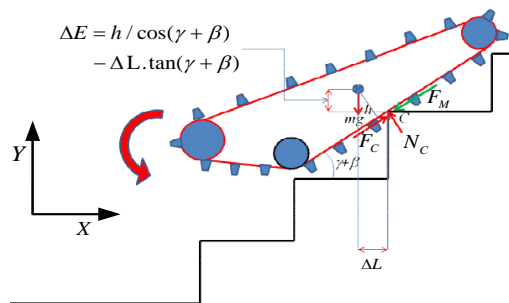


Hình 11. Phân tích động lực học trạng thái 9

$$\begin{cases} \sum F_x = ma_{Mx} = \cos \gamma (-F_M - F_A + F_C) - \sin \gamma (N_A + N_C) \\ \sum F_y = ma_{My} = \sin(\gamma) (-F_M + N_A + N_C) - \cos \gamma (N_A + N_C) - mg \\ \sum M_A = F_M [(2\Gamma \cos \gamma) - B \sin \gamma] - mg L_2 + N_C [2\Gamma (\sin \gamma - \mu \cos \gamma) + B (\cos \gamma + \mu \sin \gamma)] \end{cases} \quad (12)$$

Trạng thái 10 diễn ra tương tự như trạng thái 7 khi khối tâm đi qua mũi bậc thứ hai, khi đó robot sẽ có hiện tượng quay quanh mũi của khối tâm thứ 2. Hệ phương trình biểu diễn trạng thái 10 được mô tả tại (13). Trạng thái 10 kết thúc

khi mặt xích đáy tiếp xúc với bậc cầu thang thứ ba phía dưới. Sau trạng thái 10 thì robot sẽ lặp lại trạng thái 7 và 8 cho tới khi chuyển sang trạng thái 11.



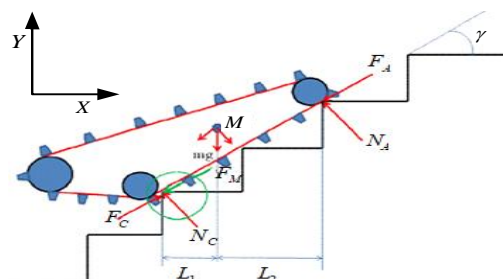
Hình 12. Phân tích động lực học trạng thái 10

$$\begin{cases} \sum F_x = ma_{Mx} = -F_M \cos \beta + F_C \cos \beta - N_C \sin \beta \\ \sum F_y = ma_{My} = -F_M \sin \beta + F_C \sin \beta - mg + N_C \cos \beta \\ \sum M_{CM} = I\Omega = -F_M [\sin(\beta)\Delta L + \cos(\beta)\Delta E] \\ \quad + N_C \{[-\sin(\beta)\Delta L + \mu \cos(B)]\Delta L + \Delta E [\mu \sin(\beta)\Delta L + \cos(B)]\} \end{cases} \quad (13)$$

và  $a_{Mx} = a_{cx} - \Omega \Delta E$ ;  $a_{My} = a_{cy} - \Omega \Delta L$

Trạng thái 11 là trạng thái robot tiếp xúc với

hai mũi bậc cầu thang tại điểm đầu và điểm cuối của mặt xích đáy.



Hình 13. Phân tích động lực học trạng thái 11

$$\begin{cases} \sum F_x = ma_{Mx} = \cos \gamma (-F_M - F_A + F_C) - \sin \gamma (N_A + N_C) \\ \sum F_y = ma_{My} = \sin \gamma (-F_M + N_A + N_C) - \cos \gamma (N_A + N_C) - mg \\ \sum M_A = F_M [2\Gamma \cos \gamma - 2B \sin \gamma] - mgL_2 + N_C [2\Gamma (\sin \gamma - \mu \cos \gamma) + 2B (\cos \gamma + \mu \sin \gamma)] \end{cases} \quad (14)$$

Sau trạng thái 11, robot sẽ lần lượt lặp lại các trạng thái 9 và trạng thái 10 để tiến hành leo xuống các bậc cầu thang tiếp theo cho tới khi trạng thái 12 xảy ra để robot tiếp xúc với mặt đất (hình 13), tại trạng thái 12 sẽ có hiện tượng

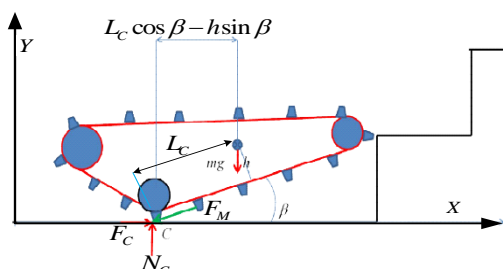
quay, khi đuôi của của mặt xích đáy rời khỏi bậc cầu thang cuối thì trạng thái 12 kết thúc. Khi đó hệ phương trình động lực học được biểu diễn như sau:

$$\begin{cases} \sum F_x = ma_{Mx} = F_C - F_A \cos \beta - N_A \sin \beta - F_M \cos \beta \\ \sum F_y = ma_{My} = N_C + N_A \cos \beta - F_A \sin \beta - F_M \sin \beta \\ \sum M_C = (I + m(R_{r3})^2)\Omega = N_A \Gamma \left[ \frac{1}{\tan \beta} (\mu \sin \beta - \cos \beta) - (\sin \beta + \mu \cos \beta) \right] \\ \quad + mg \left[ \frac{\Gamma}{\tan \beta} - \cos \beta (\Gamma \sin \beta - L_c) - h \sin \beta \right] \end{cases} \quad (15)$$

$$\text{với } R_{r3} = \sqrt{h^2 + \left( \frac{\Gamma}{\cos \beta} - L_c \right)^2}$$

Cuối cùng là trạng thái 13 để robot là quá trình biến đổi để robot tiếp xúc hoàn toàn với mặt đất, kết thúc quá trình leo xuống cầu thang

(hình 13). Khi đó, hệ phương trình động lực học bao gồm:



Hình 14. Phân tích động lực học trạng thái 13



$$\begin{cases} \sum F_x = ma_{M_x} = F_M \cos \beta - F_C \\ \sum F_y = ma_{M_y} = F_M \sin \beta + N_C - mg \\ \sum M_C = I\Omega = F_M \begin{bmatrix} \cos \beta (L_C \cos \beta - h \sin \beta) \\ -\sin \beta (L_C \sin \beta + h \cos \beta) \end{bmatrix} + N_C \begin{bmatrix} (L_C \cos \beta - h \sin \beta) \\ -\mu (L_C \sin \beta + h \cos \beta) \end{bmatrix} \\ a_{M_x} = a_{c_x} - \Omega (L_C \sin \beta - h \cos \beta) \\ a_{M_y} = \Omega (L_C \cos \beta - h \sin \beta) \end{cases} \quad (16)$$

### 3.3. Mô phỏng và thử nghiệm

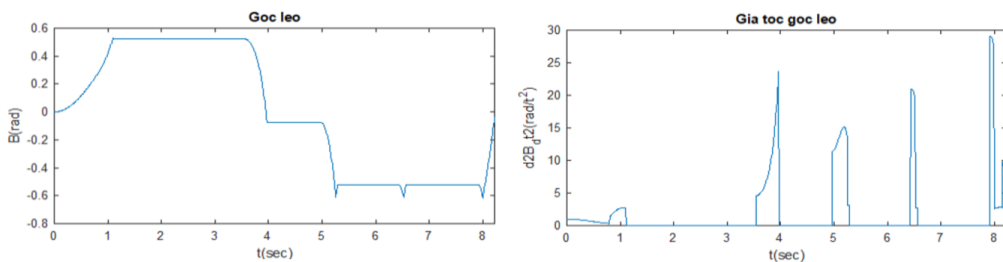
Để khảo sát tính chính xác của hệ phương trình động lực học trong quá trình di chuyển của Robot, đồng thời là cơ sở để lựa chọn động cơ cho hệ thống động lực robot. Nghiên cứu tiến hành mô phỏng các tham số của robot trong quá trình di chuyển leo cầu thang (leo lên, đi trên mặt phẳng, leo xuống).

#### 3.3.1. Kết quả mô phỏng

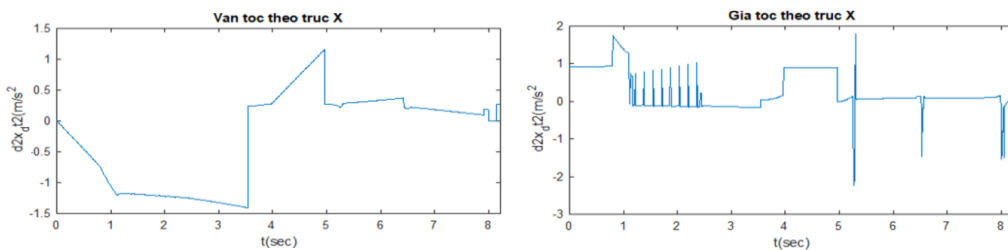
Để tiến hành mô phỏng, nghiên cứu sử dụng mô hình động lực học robot được nghiên cứu tại mục 3.2; sử dụng mô hình động cơ điện một chiều; đồng thời có các giả thiết như không xảy ra hiện tượng trượt trên nền, robot chỉ di chuyển trên một đường thẳng (không có chuyển động

quay ngang trên mặt cầu thang khi leo lên và leo xuống), bỏ qua tác động tức thời khi robot rơi xuống các bậc thang. Đồng thời giả thiết các thông số của robot và cầu thang như Bảng 1.

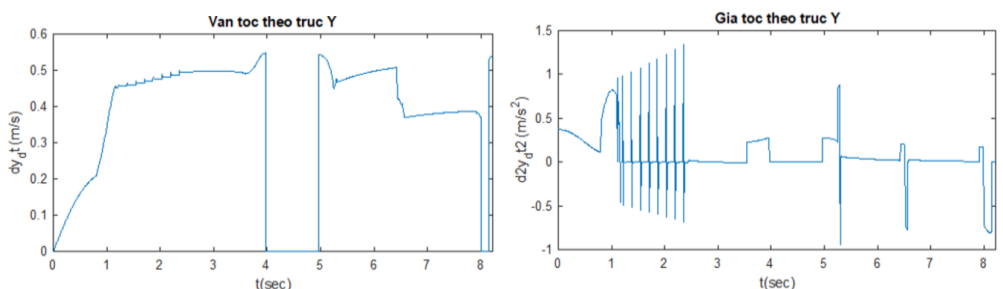
Kết quả mô phỏng được thể hiện trên hình từ Hình 15 tới Hình 18, Hình 15 thể hiện sự thay đổi của góc nâng  $\beta$  trong quá trình leo của robot, hình 16 và hình 17 lần lượt là vận tốc và gia tốc khối tâm robot theo hai trục X và Y. Tương ứng với vận tốc và gia tốc của robot, hình 18 thể hiện vận tốc và gia tốc của động cơ truyền động cho bánh xích robot, đồng thời hình 19 thể hiện momen xoắn quy ra đầu trục động cơ cần sinh ra và công suất của động cơ để robot có thể thực hiện được quá trình leo cầu thang.



Hình 15. Thay đổi góc nâng robot  $\beta$



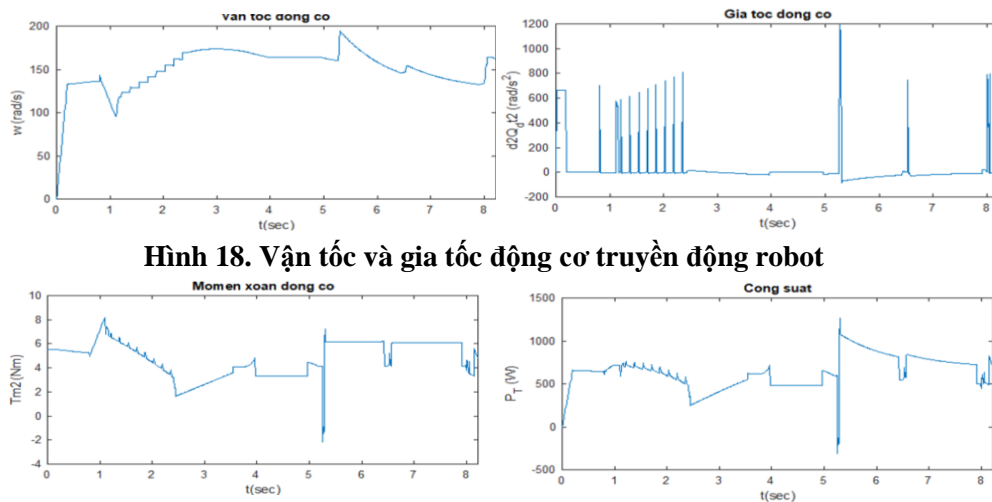
Hình 16. Vận tốc và gia tốc khối tâm robot theo trục X



Hình 17. Vận tốc và gia tốc khối tâm robot theo trục Y

Thông qua sự thay đổi của góc nâng  $\beta$  và tương ứng là vận tốc, gia tốc theo hai trục X, Y trên các hình 15, hình 16, hình 17 chúng ta có thể nhận xét: khoảng thời gian từ 0 s tới 1,1 s là khoảng thời gian robot trải qua trạng thái 3, khi đó có sự thay đổi của góc nâng  $\beta$ ; từ giây thứ 1,1 s tới giây thứ 3,7 s là khoảng thời gian robot trải qua trạng thái 4 với góc nâng được giữ không đổi bằng độ dốc cầu thang ( $\beta = \gamma$ ), đây là giai đoạn robot lần lượt leo lên các bậc cầu thang như đã phân tích tại mục 3.2.1; từ 3,7 s đến 4 s là khoảng thời gian robot trải qua trạng thái 5 để tiếp xúc với mặt sàn trên cùng của cầu

thang, lúc này góc nâng  $\beta$  giảm từ giá trị  $\beta = \gamma$  về giá trị  $\beta = 0 \text{ rad}$ ; từ 4 s đến 5 s thể hiện trạng thái robot di chuyển trên mặt phẳng nằm ngang (mặt sàn tầng trên, mặt đất...). Tương tự như quá trình leo lên, quá trình leo xuống được thực hiện từ giây thứ 5 s, từ 5 s đến 5,3 s robot trải qua trạng thái 7 tới trạng thái 11 tương ứng với sự thay đổi của góc  $\beta$ ; từ 5,3 s đến 8 s là quá trình robot thực hiện quá trình đi xuống với các trạng thái 9, 10, 11 được lặp lại tuần hoàn; từ 8 s tới 8,2 s là trạng thái 12 và trạng thái 13 xảy ra để robot tiếp xúc với mặt đất.



Hình 18. Vận tốc và gia tốc động cơ truyền động robot

Hình 19. Momen xoắn và công suất động cơ truyền động

Thông qua đồ thị về vận tốc, gia tốc, momen xoắn và công suất động cơ (hình 18 và hình 19) là cơ sở để nghiên cứu lựa chọn động cơ truyền động cho bánh xích của robot. Động cơ truyền

động cho bánh xích cần phải thỏa mãn các điều kiện như vận tốc  $\geq 200 \text{ rad/s}$  (tương đương  $\geq 1900 \text{ vòng/phút}$ ), momen xoắn đầu trục  $\geq 8,2 \text{ N/m}$ , công suất động cơ  $\geq 1300 \text{ w}$ .

Bảng 1. Thông số robot và cầu thang sử dụng trong mô phỏng

STT	Tên	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Tốc độ max động cơ max (giả thiết)	$\omega$	RPM	3000
2	Tỷ số truyền hộp số gắn đầu động cơ	G	-	1/60
3	Hiệu suất hộp số	E	-	0.55
4	Bán kính bánh sao chủ động (bánh truyền động cho xích)	r	m	0.1
5	Hệ số ma sát	$\mu$	-	0.6
7	Khối lượng toàn tải robot	m	kg	150
8	Trọng lượng robot toàn tải	mg	N	1500
9	Độ dốc cầu thang	$\gamma$	Rad	40 x 3.14/180
10	Chiều rộng mặt bậc cầu thang	B	m	0.285
11	Chiều cao bậc	$\Gamma$	m	0.2
12	Góc leo robot	$\theta$	Rad	45 x 3.14/180
13	Chiều dài mặt đáy bánh xích	L	m	0.65
14	Chiều cao từ trọng tâm tới đáy robot	h	m	0.3
15	Momen quán tính	I	Kg*m <sup>2</sup>	44
16	Thời gian tăng tốc của robot	t <sub>a</sub>	(s)	0.2

**3.3.2. Kết quả thử nghiệm**

Từ cơ sở kết quả mô phỏng ở trên, nghiên cứu lựa chọn được động cơ một chiều với tham số động cơ được thể hiện trên Bảng 2. Trên cơ sở động cơ được lựa chọn, nghiên cứu đã tiến hành lắp đặt và thử nghiệm tính đáp ứng của động cơ với khả năng leo cầu thang của (kết quả nghiên cứu hệ thống điều khiển chuyển động robot sẽ được các tác giả công bố riêng). Hình

20 thể hiện kết quả thử nghiệm quá trình leo robot với mô hình cầu thang độ dốc thay đổi từ  $\gamma = 20^\circ$  đến  $\gamma = 45^\circ$ , Hình 21 thể hiện kết quả thử nghiệm với cầu thang thực tế. Từ kết quả thử nghiệm này đã chứng minh tính đúng đắn của mô hình động lực học được xây dựng, kết quả mô phỏng từ mô hình động lực học đã giúp nghiên cứu lựa chọn đúng được động cơ truyền động cho hai bánh xích robot.

**Bảng 2. Thông số kỹ thuật động cơ truyền động bánh xích robot**

STT	Tên đặc tính	Thông số kỹ thuật
1	Tên động cơ	Động cơ một chiều
2	Mã hiệu	110BLF 110-630
3	Hãng sản xuất	WOTO
4	Xuất xứ	Đài Loan
5	Số lượng:	2
6	Nguồn điện sử dụng	Nguồn 1 chiều 24-48 V
7	Dòng điện định mức	8.2 A
8	Công suất đầu ra lớn nhất	2000 W
9	Tốc độ max	3000 RPM
10	Dòng điện max	25 A
11	Momen xoắn đầu ra max	20 N/m
12	Khối lượng	7 Kg



**Hình 20. Thử nghiệm khả năng leo của robot với mô hình cầu thang**

(1) - mô hình cầu thang; (2) - robot chữa cháy;  
 (3) - hệ thống đo lường máy tính sử dụng phần mềm đo lường Spider-8 của Đức



**Hình 21. Thử nghiệm khả năng leo cầu thang thực tế**

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu mô hình động lực học của robot chữa cháy trong quá trình leo cầu thang, một chướng ngại vật bắt buộc mà robot buộc phải vượt qua trong tác nghiệp chữa cháy được thực hiện trong nghiên cứu này. Các trạng thái động lực học của robot trong toàn bộ quá trình leo được phân tích, cùng với đó là các hệ phương trình động lực học của robot đã được nghiên cứu xác định. Dựa trên các hệ phương trình động lực học, nghiên cứu đã tiến hành mô phỏng để xác minh tính chính xác của mô hình động lực học được thành lập. Kết mô phỏng ngoài chứng minh tính chính xác của mô hình động lực học còn là cơ sở để nghiên cứu lựa chọn động cơ truyền động cho robot. Kết quả thực nghiệm cho thấy khả năng đáp ứng tốt của động cơ khi robot leo cầu thang, đây cũng là cơ sở chắc chắn để khẳng định độ tin cậy của nghiên cứu lý thuyết

về động lực học chuyển động robot chữa cháy.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Aliff M., Yusof M., Nor Samsiah Sani & Azavitra Zainal (2019). Development of firefighting robot (QROB). Development.
- [2]. Jianwei Zao, Z. Z., Shengyi Liu, Yuanhao Tao & Yushuo Liu (2022). Design and Research of an Articulated Tracked Firefighting Robot. Sensor.
- [3]. Kiran, K. K., Meghana M, Nikitha & Sindhu (2022). A review on Fire Fighting Robot. International Research Journal of Engineering and Technology. 3623–3626.
- [4]. Mangayakarasi V. (2018). Remote Controlled Fire Fighting Robot. International of Trend in Scientific Research and Development. 820-826.
- [5]. Phyo Wai Aung & W. Y. W. (2020). Remote Controlled Fire Fighting Robot. International Journal of Scientific Engineering and Technology Research. 4830–4835.
- [6]. Sampath B. S. (2011). Automatic fire extinguisher robot. In 2011 8th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence Incheon, Korea, IEEE.

## RESEARCH ON DYNAMICS OF FIREFIGHTING ROBOT IN CLIMBING STAIRS OF INDUSTRIAL FACTORIES

Hoang Son<sup>1</sup>, Nguyen Xuan Nguyen<sup>2</sup>, Nguyen Pham Thuc Anh<sup>3</sup>, Nguyen Thi Huyen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vietnam National University of Forestry

<sup>2</sup>Hanoi College for Electro-Mechanics

<sup>3</sup>Hanoi University of Science and Technology

#### ABSTRACT

Fire fighting in industrial factories always has many potential dangers for the forces participating in fire prevention and fighting because they have to face not only with fire and explosion but also with dangerous and toxic chemicals that affect people health. Intelligent automate devices for fire extinguishing using high technology can provide a safe facility for fire fighting and minimize losses when fire breaks out in factories. Mobile robots which can work independently and be controlled from a safe distance are good candidate to extinguish fires without risking the life of the firefighter. In this is paper, the dynamics of fire fighting robot in climbing stairs -a common obstacle that must be overcome when the robot operates in firefighting areas have been formulated and became the basis for selecting driving motors. Simulation and experimental results have proven the reliability and accuracy of the dynamic model when the robot climbs up/down stairs.

**Keywords:** climb stairs, dynamics, fire fighting robot, industrial factorie.

Ngày nhận bài : 17/02/2023

Ngày phản biện : 20/3/2023

Ngày quyết định đăng : 05/4/2023