

# NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC THIẾT BỊ CÔNG TÁC TRÊN CẦU CƠ GIỚI HẠNG NẶNG TRONG QUÁ TRÌNH TRIỂN KHAI Ở GIAI ĐOẠN MỞ NHỊP

RESEARCH ON THE DYNAMICS OF THE WORKING EQUIPMENT ON THE HEAVY MECHANIZED BRIDGE DURING THE DEPLOYMENT PHASE IN THE OPENING STAGE

Trần Đức Thắng<sup>1</sup>, Lê Văn Dương<sup>1,\*</sup>, Chu Văn Đạt<sup>1</sup>

DOI: <http://doi.org/10.57001/huih5804.2024.132>

## TÓM TẮT

Cầu cơ giới hạng nặng là một trong các thiết bị bắc cầu nhanh, tự hành. Đây là trang bị chuyên dụng được sử dụng để phục vụ cả mục đích dân sự hoặc quân sự. Bài báo trình bày mô hình động lực học thiết bị công tác trên cầu cơ giới hạng nặng trong quá trình triển khai ở giai đoạn mở nhịp cầu bằng cơ cấu cáp, trong đó có kể đến biến dạng đàn hồi của cáp. Trên cơ sở mô hình động lực học, các tác giả đã thiết lập hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của cơ hệ bằng cách sử dụng phương trình Lagrang loại II, tiến hành khảo sát quá trình làm việc của thiết bị công tác trong giai đoạn mở nhịp. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để thiết kế phương án điều khiển dẫn động tang cuốn cáp nhằm tăng tốc độ mở nhịp cầu trong khi vẫn đảm bảo được độ ổn định trong quá trình triển khai.

**Từ khóa:** Cầu tạm, cáp đàn hồi, dao động, cầu quân sự, cầu cơ giới hạng nặng.

## ABSTRACT

The heavy mechanized bridge is one of the devices designed for the rapid installation of a temporary bridge. This specialized equipment is used for both civilian and military purposes. The article presents the dynamic model of the operational apparatus on the heavy mechanized bridge during the deployment phase, emphasizing the elastic deformation of the cable. Based on the dynamic model, the author establishes a system of differential equations describing the motion of the system using Lagrangian equations of the second kind. The study examines the operational process of the working apparatus during the deployment phase. The results of the article form the foundation for designing a control solution for the cable winding drive to increase the speed of the bridge opening phase while still ensuring stability during deployment.

**Keywords:** Temporary bridge, elastic cable, oscillation, military bridge, heavy mechanized bridge.

<sup>1</sup>Viện Cơ khí Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự

\*Email: van-duong.le@lqdtu.edu.vn

Ngày nhận bài: 28/02/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/4/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2024

## 1. GIỚI THIỆU

Thiết bị bắc cầu cơ giới nói chung là thiết bị đặc thù, có thể sử dụng cho mục đích quân sự hoặc dân sự, mục đích sử

dụng để triển khai nhanh các cầu cứng tạm thời, tạo đường cơ động cho phương tiện, con người vượt qua vật cản là các khe cạn, sông suối, gọi chung là các chướng ngại có khoảng cách. Thiết bị bắc cầu cơ giới đã được các nước Mỹ, Đan Mạch, Đức, Nga, Séc, Trung Quốc sản xuất và sử dụng từ những năm 1960 [10, 11]. Đây là các thiết bị có khả năng tự hành, có thể di chuyển đến nơi triển khai, hạ đặt và thu hồi cầu. Xe cơ sở của các thiết bị bắc cầu cơ giới là bánh lốp hoặc bánh xích.

TMM-3M là một trong các thiết bị bắc cầu cơ giới điển hình do Nga sản xuất từ những năm 1960, còn được gọi là cầu cơ giới hạng nặng TMM-3M. Hiện nay, trong quân đội vẫn đang biên chế các bộ cầu này [12] và được khai thác sử dụng thường xuyên, song song với đó là quá trình nghiên cứu cải tiến để nâng cao tính năng chiến kỹ thuật của bộ cầu. Xe cơ sở của TMM-3M là xe tải Kraz255B, phần thùng xe được thay thế bằng thiết bị công tác là khối nhịp cầu. Mỗi nhịp cầu gồm hai nửa nhịp được liên kết với nhau bằng khớp bản lề. Việc dẫn động quá trình gập mở và hạ nhịp cầu bằng cơ cấu tời cáp, nhận nguồn động lực từ động cơ đốt trong thông qua cơ cấu truyền lực. Quá trình triển khai cầu cơ giới hạng nặng TMM-3M gồm bốn giai đoạn chính theo thứ tự là: Giai đoạn nâng khung nâng, giai đoạn mở nhịp, giai đoạn hạ nhịp, giai đoạn hạ chân trụ trung gian.



Hình 1. Thiết bị bắc cầu cơ giới TMM-3M [12]

Do tính chất sử dụng không thông dụng ngoài thực tiễn nên các công bố khoa học về cấu cơ giới hạng nặng TMM-3M có số lượng hạn chế, chủ yếu là các công bố ở dạng thông số kỹ thuật [5, 7]. Khi nghiên cứu về quá trình triển khai cấu cơ giới hạng nặng TMM-3M ở giai đoạn mở nhíp, ta thấy có đặc điểm gần giống với quá trình nâng hạ cần trong cần cầu cáp, đây là chủ đề đã được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu và có nhiều công bố khoa học chuyên sâu [1, 2, 8, 9]. Trong bài báo này, nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu động lực học thiết bị công tác cấu cơ giới hạng nặng TMM-3M trong quá trình triển khai ở giai đoạn mở nhíp ở dạng đơn giản với hai bậc tự do. Kết quả của bài báo là cơ sở để tiếp tục nghiên cứu động lực học tổng thể về cấu cơ giới hạng nặng TMM-3M trong cả quá trình triển khai bắc cầu.

**2. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC THIẾT BỊ CÔNG TÁC CỦA CẤU CƠ GIỚI HẠNG NẶNG TMM-3M TRONG QUÁ TRÌNH TRIỂN KHAI Ở GIAI ĐOẠN MỞ NHÍP**

Quá trình mở nhíp cầu khi triển khai cấu cơ giới hạng nặng TMM-3M thực hiện trong điều kiện xe cầu không di chuyển. Trong quá trình mở nhíp, coi như xe cầu đứng trên nền cứng tuyệt đối, hai chân trụ phía sau được hạ xuống nền để khắc phục độ dốc ngang và dốc dọc. Ở giai đoạn này, nửa nhíp cầu đầu tiên được liên kết cứng với khung nâng bởi giá kẹp nhíp. Khung nâng liên kết dạng khớp bản lề với thân xe cơ sở và được đẩy bởi hai xilanh khung nâng đồng thời kéo bởi hai thanh giằng, vì thế khối khung nâng - nửa nhíp cầu thứ nhất được coi như liên kết cứng với xe cơ sở, phù hợp với điều kiện làm việc thực tế. Để xét bài toán cơ sở cho khảo sát tổng thể quá trình triển khai bộ cầu, giả thiết bỏ qua dao động của xe cơ sở và các cầu xe. Khối lượng  $m$  của khối nửa nhíp cầu sau - chân trụ trung gian coi như tuyệt đối cứng và đặt vào trọng tâm  $G$  của khối.

**2.1. Mô tả mô hình nghiên cứu động lực học**

Mô hình mô tả động lực học thiết bị công tác trên cấu cơ giới khi triển khai ở giai đoạn hạ nhíp là mô hình phẳng. Dây cáp mở nhíp cầu được coi là đàn hồi với hệ số độ cứng và hệ số giảm chấn lần lượt là  $k, b$ . Toàn bộ cơ hệ được đặt trong hệ trục tọa độ cố định  $Ox_0y_0$ ; hệ khung nâng - nửa nhíp cầu thứ nhất gắn cứng với thân xe cơ sở và với nền; khối nửa nhíp cầu sau - chân trụ trung gian thực hiện chuyển động quay quanh khớp bản lề  $K$  liên kết hai nửa nhíp cầu. tang cuốn cáp nhận mô men từ động cơ qua hệ truyền lực để dẫn động quá trình mở nhíp cầu. Bỏ qua tải trọng gió, ma sát trong các khớp quay ảnh hưởng đến quá trình mở nhíp. Coi mô men dẫn động từ động cơ quy dẫn về tang cuốn cáp là thành phần ngoại lực không thể duy nhất, mô men này được xác định từ đường đặc tính ngoài của động cơ ứng với các tay số, sẽ được trình bày ở mục sau.

Mô men quán tính khối lượng của khối nửa nhíp cầu sau - chân trụ trung gian đối với trục quay qua  $K$  là  $J$ , mô men quán tính khối lượng của hệ truyền lực quy dẫn về tang cuốn cáp là  $J_t$ . Ta ký hiệu quy ước các thông số hình học như sau:

$$\beta_1 = \angle MKN; \beta_2 = \angle MKG; \beta_3 = \angle HKT; d_1 = KG; d_2 = KN; d_3 = KM; d_4 = KH$$

Quá trình mở nhíp cầu gồm hai thời kỳ. Thời kỳ thứ nhất, dây cáp vẫn tì vào puly cố định tại  $M$  trên nửa nhíp cầu sau. Thời kỳ thứ hai, dây cáp tách khỏi puly  $M$ , khi đó đoạn cáp HN duỗi thẳng. Sự khác nhau về vị trí tiếp xúc của cáp dẫn tới sự thay đổi về cách tính toán độ biến dạng của dây cáp trong hai thời kỳ. Mô hình nghiên cứu động lực học thiết bị công tác trên cấu cơ giới hạng nặng TMM-3M trong thời kỳ đầu khi dây cáp vẫn tựa vào puly  $M$  được thể hiện trên hình 2 và trong thời kỳ sau, dây cáp tách khỏi puly  $M$  thể hiện trên hình 4. Hai thời kỳ nêu trên là liên tiếp nhau, tạo nên tổng thể quá trình mở nhíp.

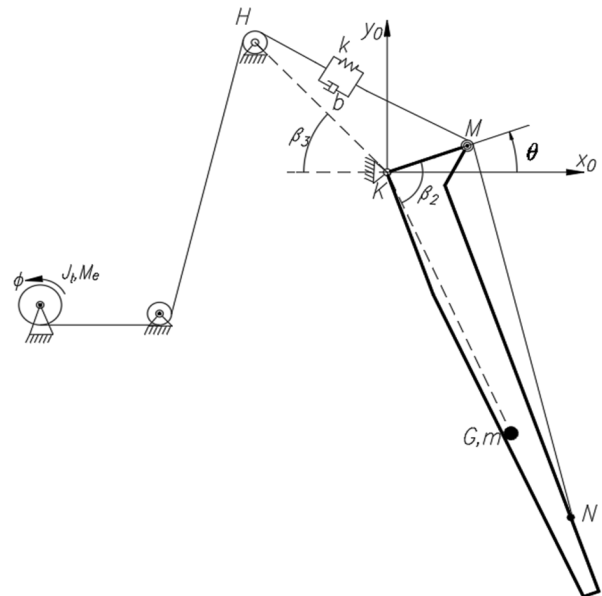
**2.2. Thiết lập hệ phương trình vi phân dao động của cơ hệ trong thời kỳ thứ nhất**

**Các tọa độ suy rộng:**

Mô hình nghiên cứu là hệ gồm 02 tọa độ suy rộng độc lập đủ là:

$\theta$  - góc quay xác định chuyển vị của khối nửa nhíp cầu sau - chân trụ trung gian;

$\varphi$  - góc quay của tang cuốn cáp.



Hình 2. Mô hình động lực học thiết bị công tác trên cấu cơ giới hạng nặng trong quá trình triển khai ở giai đoạn mở nhíp trong thời kỳ đầu

**Động năng của cơ hệ:**

Động năng của cơ hệ bao gồm động năng khối nửa nhíp cầu sau ( $T_1$ ), động năng của các khối lượng quay quy dẫn về tang cuốn cáp ( $T_2$ ) và được xác định theo công thức:

$$T = T_1 + T_2 \tag{1}$$

Tổng động năng của cơ hệ được xác định theo biểu thức như sau:

$$T = \frac{1}{2} m d_1^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} J \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} J_t \dot{\varphi}^2 \tag{2}$$

**Thế năng của cơ hệ:**

Thế năng cơ hệ bao gồm thế năng trọng trường và thế năng đàn hồi. Trước tiên, ta có độ biến dạng cáp nâng  $\Delta l_1$

trong quá trình mở nhíp ở thời kỳ đầu gồm độ biến dạng tĩnh  $\Delta l_{t1}$  và độ biến dạng động  $\Delta l_{d1}$ , được xác định theo biểu thức [1, 8, 9]:

$$\Delta l_1 = \Delta l_{t1} + \Delta l_{d1} \tag{3}$$

Lực căng cáp tĩnh  $F_c$  xuất hiện trên dây cáp thông qua xét phương trình cân bằng mô men của khối nửa nhíp cầu sau đối với trục quay khớp K theo biểu thức sau:

$$\sum M(K) = F_c r_{HM} - mgd_1 \cos(\theta - \beta_2) = 0 \tag{4}$$

Trong đó,  $r_{HM}$  là khoảng cách từ K đến giá của véc tơ lực căng cáp tĩnh  $\vec{F}_c$ . Ta xác định được lực căng cáp tĩnh theo biểu thức:

$$F_c = \frac{mgd_1 \cos(\theta - \beta_2) \sqrt{d_3^2 + d_4^2 + 2d_3d_4 \cos(\theta + \beta_3)}}{d_3d_4 \sin(\theta + \beta_3)} \tag{5}$$

Độ biến dạng tĩnh được xác định từ lực căng cáp tĩnh lớn nhất  $F_{cmax}$  xuất hiện trên dây cáp ở giai đoạn chuyển tiếp giữa hai thời kỳ và được xác định theo biểu thức:

$$\Delta l_{t1} = \frac{F_{cmax}}{k} \tag{6}$$

Với bội suất của hệ palang dẫn động bằng 1, độ biến dạng động  $\Delta l_{d1}$  của cáp trong quá trình mở nhíp ở thời kỳ đầu được xác định như sau:

$$\Delta l_{d1} = S_1 - S_{01} + R_t (\phi - \phi_0) \tag{7}$$

Trong biểu thức (7),  $S_1$  là chiều dài đoạn dây cáp từ H tới M tại thời điểm bất kì;  $S_{01}$  là chiều dài ban đầu của đoạn dây cáp từ H tới M;  $R_t$  là bán kính của tang cuốn cáp;  $\phi_{01}$ ,  $\theta_{01}$  tương ứng là góc quay của tang cuốn cáp và góc xác định vị trí nửa nhíp cầu sau ở thời điểm ban đầu, các đại lượng này được xác định theo các biểu thức sau đây:

$$S_1 = \sqrt{d_3^2 + d_4^2 + 2d_3d_4 \cos(\theta + \beta_3)} \tag{8}$$

$$S_{01} = \sqrt{d_3^2 + d_4^2 + 2d_3d_4 \cos(\theta_{01} + \beta_3)} \tag{9}$$

Ta có biểu thức xác định thế năng tổng cộng của cơ hệ là:

$$\Pi = mgd_1 \sin(\theta - \beta_2) + \frac{1}{2}k(\Delta l_{t1} + S_1 - S_{01} + R_t (\phi - \phi_0))^2 \tag{10}$$

**Hàm hao tán của cơ hệ:**

Tổng năng lượng hao tán của cơ hệ được xác định theo biểu thức sau:

$$\Phi = \frac{1}{2}b(\dot{\Delta l}_1)^2 = \frac{1}{2}b(\dot{S}_1 + R_t \dot{\phi})^2 \tag{11}$$

Trong biểu thức (11), ta xác định  $\dot{S}_1$  là đạo hàm của  $S_1$  theo thời gian như sau:

$$\dot{S}_1 = \frac{-d_3d_4 \sin(\theta + \beta_3) \dot{\theta}}{S_1} \tag{12}$$

**Lực suy rộng:**

Công di chuyển khả dĩ của ngoại lực tác dụng lên cơ hệ là:

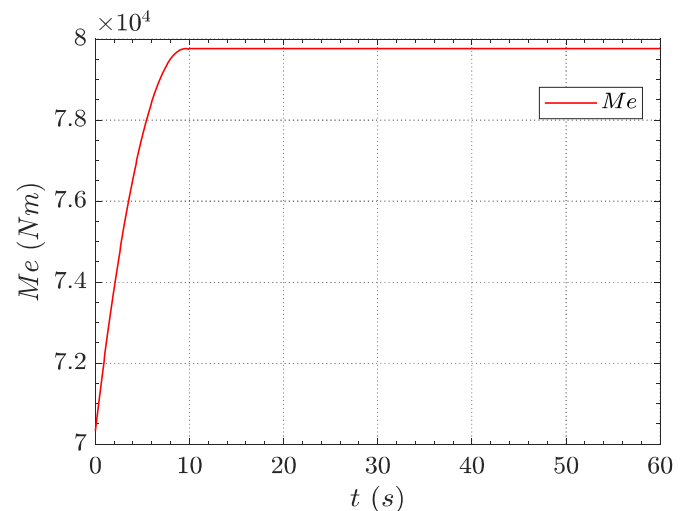
$$\delta A = M_e \delta \phi \tag{13}$$

Trong đó,  $M_e$  là mô men quy dẫn từ động cơ về tang cuốn cáp. Xe cơ sở Kraz255B sử dụng động cơ đốt trong là IAMZ - 238, đường đặc tính ngoài của động cơ và đặc tính làm việc của tang đã được trình bày trong tài liệu [5, 6].

Để giải bài toán lý thuyết, từ đường đặc tính làm việc của tang cuốn cáp theo [5] và cơ chế làm việc thực tế của quá trình mở nhíp cầu, ta cần xây dựng đồ thị biểu diễn mô men  $M_e$  quy dẫn từ động cơ về tang cuốn cáp theo thời gian. Thực tế trong quá trình vận hành mở nhíp cầu, người điều khiển đạp chân ga để tăng tốc độ động cơ từ trạng thái không tải với tốc độ 600 vòng/phút đến tốc độ động cơ là 1400 vòng/phút ứng với mô men xoắn cực đại, sau đó sẽ giữ nguyên chân ga để động cơ quay ổn định ở vòng tua này. Như vậy quá trình tăng tốc của động cơ phụ thuộc vào kỹ năng của người vận hành. Để giải quyết bài toán lý thuyết, giả sử quy luật tăng tốc của động cơ là quy luật bậc nhất, tốc độ động cơ tăng từ 600 vòng/phút lên 1400 vòng/phút trong thời gian 10s. Khi đó ta có quy luật của  $M_e$  được xác định theo biểu thức sau:

$$M_e = \begin{cases} 1,4923 \cdot 10^8 \cdot \left( \frac{0,7 \cdot \frac{1}{2100} + 1,3 \cdot \frac{600+80t}{2100^2}}{\frac{(600+80t)^2}{2100^3}} \right) & (0 \leq t \leq 10) \\ 79747 & (t \geq 10) \end{cases} \tag{14}$$

Đồ thị biến đổi mô men  $M_e$  theo thời gian được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Đồ thị  $M_e$  phụ thuộc thời gian

Véc tơ lực suy rộng tương ứng với các tọa độ được xác định theo biểu thức:

$$[Q_\phi \ Q_\theta]^T = [M_e \ 0]^T \tag{15}$$

Áp dụng phương trình Lagrange loại II [3, 4] để viết hệ phương trình vi phân mô tả dao động của cơ hệ ở dạng:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} = Q_i \quad (i=1 \div 2) \tag{16}$$

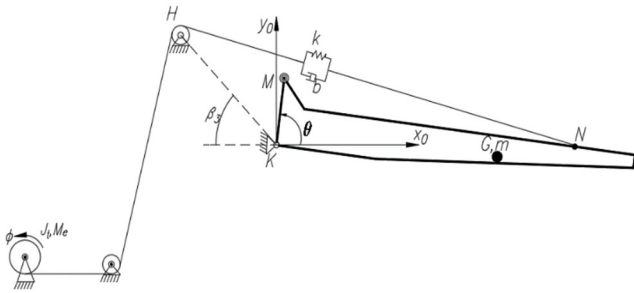
Thế các biểu thức động năng, thế năng, hàm hao tán ta nhận được hệ phương trình vi phân mô tả động lực học thiết bị công tác trên cầu cơ giới hạng nặng TMM-3M trong quá trình triển khai thiết bị bắc cầu ở giai đoạn mở nhịp trong thời kỳ thứ nhất như sau:

$$J_t \ddot{\phi} + kR_t (\Delta l_{t1} + S_1 - S_{01} + R_t (\phi - \phi_{01})) + b(\dot{S}_1 + R_t \dot{\phi}) R_t = M_e \quad (17)$$

$$(J + md_1^2) \ddot{\theta} + b(\dot{S}_1 + R_t \dot{\theta}) \frac{-d_3 d_4 \sin(\theta + \beta_3)}{S_1} + mgd_1 \cos(\theta - \beta_2) + \dots + k(\Delta l_{t1} + S_1 - S_{01} + R_t (-_{01})) \frac{-d_3 d_4 \sin(\theta + \beta_3)}{S_1} = 0 \quad (18)$$

### 2.3. Thiết lập hệ phương trình vi phân dao động của cơ hệ trong thời kỳ thứ hai

Ở thời kỳ thứ hai, dây cáp HN duỗi thẳng, cơ hệ được xét vẫn gồm hai bậc tự do  $\varphi$  và  $\theta$  (hình 4). Động năng của cơ hệ được xác định theo biểu thức (2).



Hình 4. Mô hình động lực học thiết bị công tác trên cầu cơ giới hạng nặng trong quá trình triển khai ở giai đoạn mở nhịp trong thời kỳ sau

Độ biến dạng tĩnh được xác định theo (6). Ở Độ biến dạng động  $\Delta l_{d2}$  của cáp trong quá trình mở nhịp ở thời kỳ sau được xác định như sau:

$$\Delta l_{d2} = S_2 - S_{02} + R_t (\phi - \phi_{02}) \quad (19)$$

Trong biểu thức (19),  $S_2$  là chiều dài đoạn dây cáp từ H tới N tại thời điểm bất kỳ;  $S_{02}$  là chiều dài ban đầu của đoạn dây cáp từ H tới N;  $\phi_{02}$ ,  $\theta_{02}$  tương ứng là góc quay của tang cuốn cáp và góc xác định vị trí nửa nhịp cầu sau ở thời điểm ban đầu và được xác định tương ứng với giá trị ở cuối thời kỳ thứ nhất. Ta có:

$$S_2 = \sqrt{d_2^2 + d_4^2 + 2d_2 d_4 \cos(\theta - \beta_1 + \beta_3)}$$

$$S_{02} = \sqrt{d_2^2 + d_4^2 + 2d_2 d_4 \cos(\theta_{02} - \beta_1 + \beta_3)} \quad (20)$$

Biểu thức xác định thế năng tổng cộng của cơ hệ ở thời kỳ thứ hai là:

$$\Pi = mgd_1 \sin(\theta - \beta_2) + \frac{1}{2} k (\Delta l_{t2} + S_2 - S_{02} + R_t (\phi - \phi_{02}))^2 \quad (21)$$

Tổng năng lượng hao tán của cơ hệ ở thời kỳ thứ hai được xác định theo biểu thức sau:

$$\Phi = \frac{1}{2} b (\dot{\Delta l}_2)^2 = \frac{1}{2} b (\dot{S}_2 + R_t \dot{\phi})^2 \quad (22)$$

Trong biểu thức (22), ta xác định  $\dot{S}_2$  là đạo hàm của  $S_2$  theo thời gian như sau:

$$\dot{S}_2 = \frac{-d_2 d_4 \sin(\theta - \beta_1 + \beta_3) \dot{\theta}}{S_2} \quad (23)$$

Thời điểm bắt đầu thời kỳ thứ hai cũng là thời điểm cuối thời kỳ thứ nhất. Mô men trên tang cuốn cáp quy dẫn từ động cơ theo quy luật liên tục, xác định theo biểu thức (14).

Áp dụng phương trình Lagrange loại II, ta có hệ phương trình vi phân mô tả dao động của cơ hệ ở thời kỳ thứ hai như sau:

$$J_t \ddot{\phi} + kR_t (\Delta l_{t2} + S_2 - S_{02} + R_t (\phi - \phi_{02})) + b(\dot{S}_2 + R_t \dot{\phi}) R_t = M_e \quad (24)$$

$$(J + md_1^2) \ddot{\theta} + b(\dot{S}_2 + R_t \dot{\theta}) \frac{-d_2 d_4 \sin(\theta - \beta_1 + \beta_3)}{S_1} + mgd_1 \cos(\theta - \beta_2) + \dots + k(\Delta l_{t2} + S_2 - S_{02} + R_t (-_{02})) \frac{-d_2 d_4 \sin(\theta - \beta_1 + \beta_3)}{S_2} = 0 \quad (25)$$

Thông số đầu vào để giải hệ phương trình vi phân (17-18) và (24-25) được cho trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số đầu vào để giải hệ phương trình vi phân dao động

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
m	3400	d <sub>4</sub>	1,8
J	7485	β <sub>1</sub>	82°
J <sub>t</sub>	12000	β <sub>2</sub>	89°
R <sub>t</sub>	0,1	β <sub>3</sub>	67°
d <sub>1</sub>	2,57	k	2300000
d <sub>2</sub>	4,29	b	500
d <sub>3</sub>	0,9	g	9,81

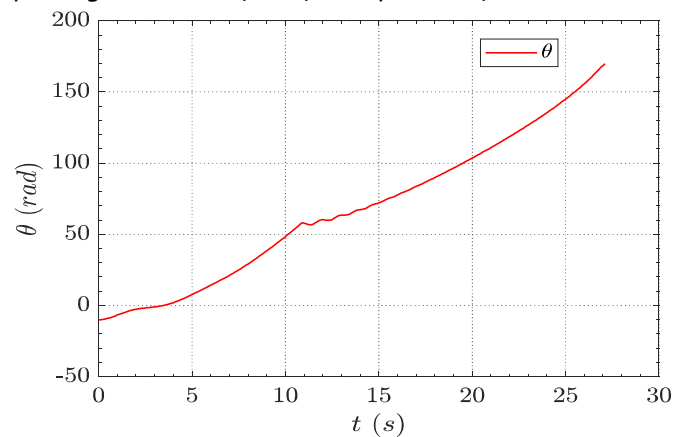
Trong bảng trên, tất cả các đơn vị của các thông số được lấy theo hệ đơn vị SI.

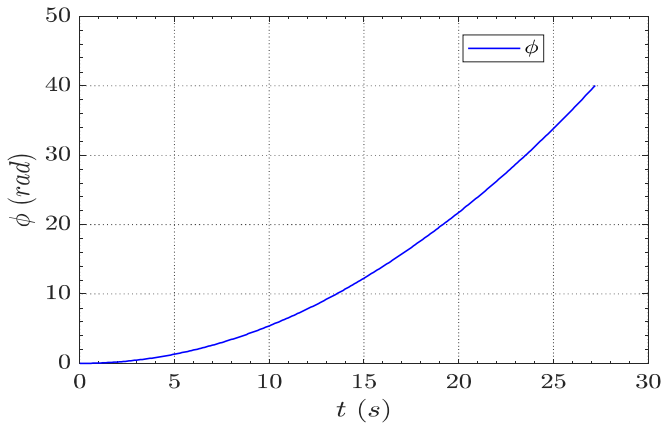
Điều kiện ban đầu để giải bài toán động lực học như sau:

$$[\phi_{01} \ \theta_{01}]^T = [0 \ 0]^T; [\phi_{01} \ \theta_{01}]^T = [0 \ 0]^T$$

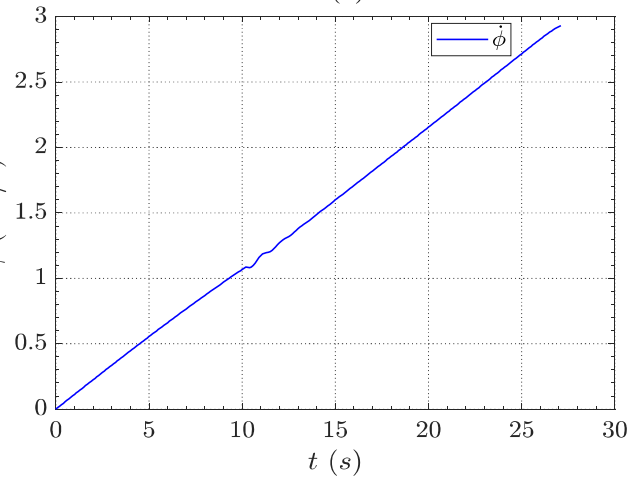
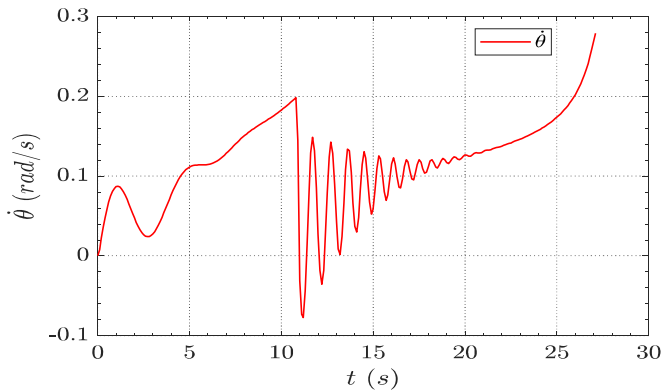
### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi tính toán trên phần mềm Matlab để giải hệ phương trình (23) nhận được kết quả thể hiện ở các hình 5 - 7.

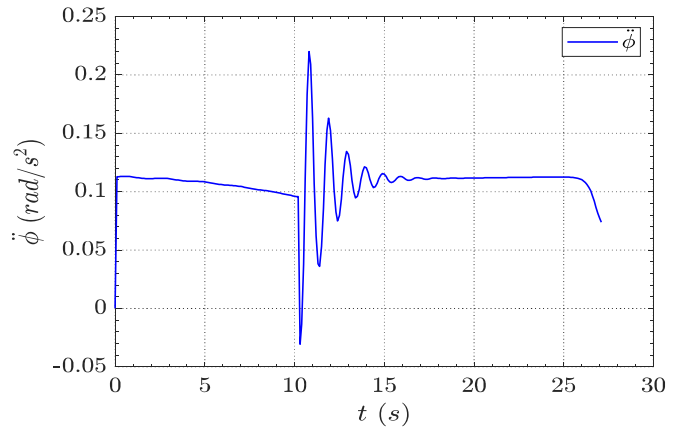
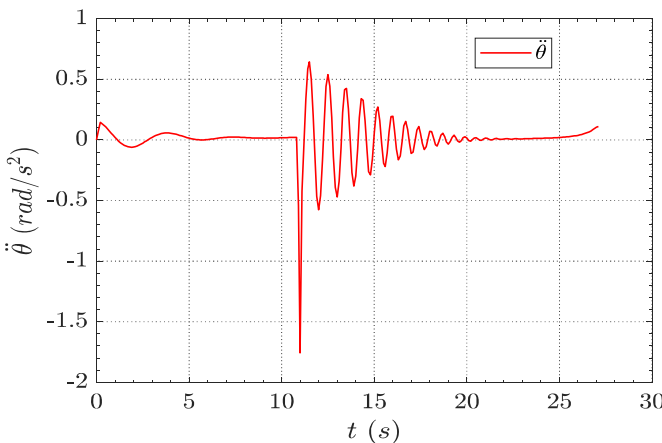




Hình 5. Chuyển vị góc của nửa nhíp cầu sau và tang cuốn cáp



Hình 6. Vận tốc góc của nửa nhíp cầu sau và tang cuốn cáp



Hình 7. Gia tốc góc của nửa nhíp cầu sau và tang cuốn cáp

Từ đồ thị hình 5 ÷ 7 ta rút ra nhận xét sau:

Đồ thị trên hình 5 thể hiện góc quay của nửa nhíp cầu sau có xu hướng tăng dần theo thời gian nhưng không tăng đều. Từ thời điểm ban đầu đến thời điểm 10,2s ta thấy góc quay  $\theta$  tăng chậm. Bắt đầu từ thời điểm 10,2s, góc quay nửa nhíp cầu  $\theta$  dao động với biên độ nhỏ, kéo dài trong khoảng 5 giây sau đó tăng gần như đều. Biên độ dao động nhỏ của góc quay này thể hiện trên hình 6 khi vận tốc góc  $\dot{\theta}$  có giá trị không lớn và biến thiên chậm khi gia tốc  $\ddot{\theta}$  nhỏ, thể hiện trên hình 7. Thời điểm 10,2s chính là thời điểm chuyển tiếp giữa hai thời kỳ của giai đoạn mở nhíp cầu ứng với góc quay  $\theta = 58^\circ$ . Khi góc quay  $\theta = 170^\circ$  vào thời điểm 27,1s là kết thúc quá trình mở nhíp, hai nửa nhíp cầu được duỗi thẳng. Càng gần về cuối giai đoạn mở nhíp, tốc độ quay của nửa nhíp cầu càng tăng lên, nguyên nhân là do mô men dẫn động từ động cơ truyền đến được giả thiết không đổi theo (14) và cánh tay đòn của trọng lực tác dụng lên nửa nhíp cầu so với tâm quay K giảm dần đến mô men cản quay giảm theo.

Góc quay của tang cuốn cáp tăng dần và đều từ 0 đến xấp xỉ 39,5rad tương đương với 6,3 vòng quay của tang cuốn. Quy đổi ra chiều dài cáp cuốn vào tang khoảng 3,9m. Sự biến thiên của góc quay tang  $\varphi$  tương ứng với biến thiên góc quay của nửa nhíp cầu. Ở thời điểm 10,2s, góc quay tang  $\varphi$  cũng có sự dao động nhẹ, thể hiện ở vận tốc góc  $\dot{\varphi}$  trên hình 6 có dao động với biên độ rất nhỏ. Khoảng 1,5s cuối giai đoạn mở nhíp, tốc độ góc  $\dot{\varphi}$  của tang cuốn tăng đều, điều này được thể hiện trên hình 7 khi gia tốc ở giai đoạn cuối có khuynh hướng giảm. Tuy nhiên xét về tổng thể quá trình mở nhíp, quy luật tốc độ góc của tang cuốn cáp gần đúng theo quy luật tuyến tính. Sự tăng này phù hợp với quy luật thay đổi mô men dẫn động và mô men cản quay sinh ra bởi trọng lực tác dụng lên nửa nhíp cầu.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày mô hình động lực học và thiết lập hệ phương trình vi phân mô tả dao động của thiết bị công tác trên bộ cấu cơ giới hạng nặng TMM-3M trong quá trình triển khai ở giai đoạn mở nhíp là mô hình hai bậc tự do tương ứng với hai thời kỳ của giai đoạn mở nhíp. Trên cơ sở mô hình đã xây dựng, tác giả đã khảo sát dao động của cơ hệ với giả thiết

cho trước quy luật tăng tốc của động cơ. Kết quả đạt được của bài báo có thể làm cơ sở cho bài toán tính toán, thiết kế phương án điều khiển tang cuốn cáp để tăng tốc độ mở nhíp trong điều kiện vẫn đảm bảo khả năng ổn định làm việc của thiết bị.

---

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bui Khac Gay, *Nghien cuu khao sat dong luc hoc cua can truc*. Doctoral Thesis, Military Technical Academy, Hanoi, 1998.
- [2]. Bui Khac Gay, *May nang van chuyen*, tap I, II. Military Technical Academy, Hanoi, 2001.
- [3]. Vu Cong Ham, *Dao dong co hoc*. Military Technical Academy, Hanoi, 2016.
- [4]. Nguyen Van Khang, *Dao dong ky thuat*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, 2001.
- [5]. Le Hong Quang, *Research to determine the dynamic parameters of the folding and opening structure of the TMM-3M bridge*. Master Thesis, Military Technical Academy, Hanoi, 2017.
- [6]. Le Van Thai, "The working ability when transport of logs under drag and adhesive conditions of the truck THACO HD72 made in Vietnam," *Journal of Forestry Science and Technology*, 3, 177-184, 2018.
- [7]. Phan Van Thong, *Nghien cuu nang cao kha nang chiu tai cua bo cau TMM trong qua trinh bao dam co dong cho cac loai xe may quan su*. Master Thesis, Military Technical Academy, Hanoi, 2014.
- [8]. Le Anh Tuan, Soon-Geul Lee, "Modeling and advanced sliding mode controls of crawler cranes considering wire rope elasticity and complicated operations," *Mechanical Systems and Signal Processing*, 103, 250-263, 2018. DOI: [doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.09.045](https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.09.045)
- [9]. Le Van Duong, Le Anh Tuan, "Modeling and observer-based robust controllers for telescopic truck cranes," *Mechanism and Machine Theory*, 173, 104869, 2022 DOI: [doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2022.104869](https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2022.104869)
- [10]. Russell BR, Thrall AP, "Portable and rapidly deployable bridges: historical perspective and recent technology developments," *J Bridge Eng*, 18: 1074-1085, 2013.
- [11]. Yail J. Kim, Rusmir Tanovic, R. Gordon Wight, "Load Configuration and Lateral Distribution of NATO Wheeled Military Trucks for Steel I-Girder Bridges," *J. Bridge Eng.*, 15:740-748, 2010. DOI: [10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000113](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000113).
- [12]. <https://kienthuc.net.vn/quan-su-viet-nam>.

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Tran Duc Thang, Le Van Duong, Chu Van Dat**

Institute of Vehicle & Energy Engineering, Military Technical Academy, Vietnam