



PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH LỰC MÔ MEN TÁC DỤNG VÀO RĂNG GÀU TRONG QUÁ TRÌNH ĐÀO VÀ TÍCH VẬT LIỆU CỦA MÁY XÚC LẬT

Tạ Văn Huy^{1*}, Chu Văn Đạt², Lê Văn Dưỡng³

Tóm tắt: Quá trình tích vật liệu vào gầu của máy xúc lật trong quá trình làm việc là sự kết hợp đồng thời giữa di chuyển máy tạo lực đẩy đồng thời điều khiển cần, gầu để đạt được hiệu quả cao nhất. Chính vì vậy, tổng lực tác dụng lên gầu xúc ngoài phụ thuộc vào tính chất cơ lý của vật liệu còn phụ thuộc vào lực đẩy do máy di chuyển và lực trong các xi lanh điều khiển cần và gầu. Bài báo trình bày phương pháp xác định tổng lực cần và mô men tác dụng vào răng gầu trong quá trình tích vật liệu vào gầu của máy xúc lật thông qua lực dẫn động của máy và lực trong các xi lanh thủy lực.

Từ khóa: Máy xúc lật đổ bên; thiết bị công tác; mô hình động học.

The method of determining the force- torque on the teeth of bucket during digging and loading

Abstract: The bucket filling of a side dump loader during working process is a contemporaneous combination of the moving of the loader and controlling its boom and bucket to achieve maximum efficiency. Therefore, the total force applied to the bucket depends on the mechanical properties of materials, and it also depends on the machine thrust and the forces in the boom and bucket cylinders. This article presents a method of determining the total force and torque applied to the bucket teeth during the filling process by the driven forces of machine and hydraulic cylinders.

Keywords: Side discharge loader; work equipment; kinematics.

Nhận ngày 10/5/2017, sửa xong 7/6/2017, chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 7, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Máy xúc lật được sử dụng rộng rãi với mục đích cơ giới hóa trong các lĩnh vực xây dựng, khai thác mỏ, vận tải... Công dụng chính của máy là bốc xúc đất, đá và vật liệu rời, vận chuyển chúng trực tiếp trong gầu hoặc đổ lên thiết bị vận chuyển khác. Trong một chu trình làm việc, máy thực hiện theo các phân đoạn: tích vật liệu - chuyển tải - dỡ vật liệu. Chi phí thời gian cho các phân đoạn và lượng vật liệu nằm trong gầu xúc sẽ quyết định đến năng suất làm việc của máy. Tính toán lực cản tổng quát tác dụng lên gầu xúc trong quá trình tích vật liệu vào gầu là hết sức quan trọng và cần thiết trong quá trình tính toán thiết kế và vận hành máy xúc lật theo xu thế phát triển và hoàn thiện các dạng máy thi công hiện nay. Đã có một số công trình nghiên cứu về sự tương tác giữa thiết bị công tác và môi trường làm việc nhằm mục đích đưa ra các mô hình tính toán và đưa ra khảo sát ảnh hưởng của các tham số về kết cấu và về cơ tính của vật liệu đến lực cản của vật liệu tác dụng lên gầu xúc. Tuy nhiên, các nghiên cứu chủ yếu đi vào xây dựng mô hình khảo sát trong trường hợp máy đứng yên và thực hiện các thao tác đối với thiết bị công tác để tích vật liệu vào gầu. Tuy nhiên, khi tích vật liệu vào gầu xúc khi chỉ sử dụng nâng hạ cần là không hiệu quả [6]. Quá trình tích đất vào gầu hiệu quả là sự kết hợp giữa quá trình di chuyển tịnh tiến của máy với thao tác điều khiển nâng hạ cần và quay gầu. Bài báo tập trung vào xây dựng mô hình xác định tổng lực cản và mô men tác dụng vào đỉnh răng gầu xúc trong trường hợp máy xúc lật thao tác để tích vật liệu vào gầu khi kết hợp giữa di chuyển máy với điều khiển nâng hạ cần và quay gầu.



2. Xây dựng mô hình tính toán

Bài báo này xây dựng mô hình tính toán đối với máy xúc lật đổ bên VWC E500-1 được chế tạo tại Công ty Cổ phần chế tạo máy - VINACUMIN, thuộc Tập đoàn Than khoáng sản Việt Nam (Hình 1). Cấu tạo máy

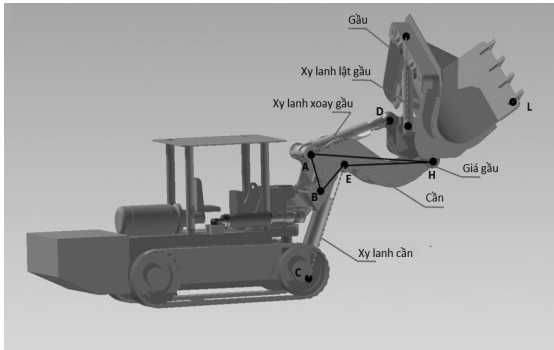
¹ThS, Trường Trung cấp Kỹ thuật công binh, Binh chủng Công binh.

²GS.TS, Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

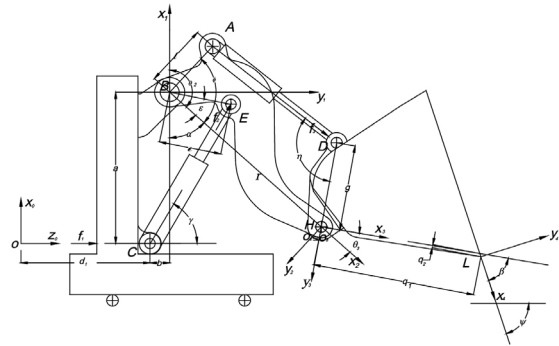
³TS, Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

*Tác giả chính. E-mail: quanghuycb1971@gmail.com.

gồm phần xe cơ sở và phần thiết bị công tác. Thiết bị công tác gồm 3 khâu động liên kết với nhau bởi các khớp bản lề là cần, giá gầu và gầu; tương ứng với nó là 3 xi lanh dẫn động (xi lanh nâng hạ cần, xi lanh quay gầu và xi lanh đổ nghiêng gầu). Trong quá làm việc, khi tích vật liệu vào gầu, xi lanh lật gầu không làm việc, máy di chuyển kết hợp với điều khiển xi lanh cần và xi lanh quay gầu để tích vật liệu vào gầu. Khi vật liệu được tích đầy gầu, nâng gầu lên và di chuyển máy đến vị trí xả vật liệu, điều khiển xi lanh lật gầu để nghiêng gầu xúc đổ vật liệu sang bên.



Hình 1. Sơ đồ kết cấu chung máy xúc lật đổ bên



Hình 2. Mô hình khảo sát ĐLH quá trình tích vật liệu vào gầu của máy xúc lật

Trên cơ sở cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy, tác giả xây dựng mô hình khảo sát động lực học quá trình tích vật liệu vào gầu của máy xúc lật như thể hiện trên Hình 2. Trong mô hình này, để đơn giản hóa, giả sử phần xe cơ sở là một giá trượt mà trên đó có gắn phần thiết bị công tác gồm cần, giá gầu và gầu (trong quá trình tích vật liệu giá gầu và gầu là một khối). Khi đó, trong quá trình tích vật liệu của máy, cơ hệ đồng thời thực hiện hai chuyển động: các phần tử trong hệ chuyển động quay tương đối với nhau trong mặt phẳng thẳng đứng và toàn bộ hệ chuyển động tịnh tiến theo máy. Trên mô hình khảo sát, hệ gồm 3 khâu: Khâu 1 là giá trượt (thân xe), khâu 2 là cần; khâu 3 là giá gầu và gầu. Các khâu liên kết với nhau bằng các khớp bản lề tại B và H. Đặc trưng chuyển động của hệ qua các thông số: dịch chuyển tịnh tiến d_1 , các góc quay θ_2 , θ_3 . Để quan sát các vật trong mặt phẳng thẳng đứng, gắn vào cơ hệ một hệ tọa độ cố định $X_0O_0Z_0$, các hệ tọa độ $X_1O_1Y_1$, $X_2O_2Y_2$, $X_3O_3Y_3$ có gốc gắn tại các điểm liên kết giữa các khâu của thiết bị công tác (Hình 2). Vị trí tương đối của mỗi khâu được xác định bởi 3 thông số: các tọa độ x_i , y_i và góc θ_i ($i = 1, 2, 3$). Hệ tọa độ $X_4O_4Y_4$ đặt tại đỉnh răng gầu xúc nhằm mục đích xác định hướng của gầu xúc thông qua góc ψ .

Áp dụng phép biến đổi Denavit và Hartenberg [7] để xác định ma trận thuần nhất của hai khâu liên kế $[i]$ và $[i-1]$, được viết tổng quát là:

$$A_{(i-1)}^i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\theta_i \cos\theta_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\theta_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Các thông số cấu trúc động học của các khâu được xác định trong Bảng 1 (với α_i , a_i là góc và khoảng cách giữa trục O_iZ_i và $O_{i-1}Z_{i-1}$ đo theo trục x_i ; d_i , θ_i là góc và khoảng cách giữa trục O_iX_i và $O_{i-1}X_{i-1}$ đo theo trục z_i).

Từ công thức (1) và các giá trị trong Bảng 1, ta có các ma trận chuyển vị thuần nhất cho các khâu như sau:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & k \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 + b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & r \cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & r \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & 0 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Ma trận chuyển giữa hai hệ trục tọa độ $X_3O_3Y_3$ và $X_4O_4Y_4$ được xác định:

Bảng 1. Các tham số cấu trúc động học của cơ hệ

Liên kết khâu i	α_i	a_i	d_i	θ_i
1	90°	k	$d_1 + b$	0
2	0	r	0	θ_2
3	0	0	0	θ_3

$$A_4 = \begin{bmatrix} \cos\beta & \sin\beta & 0 & q_1 \\ \sin\beta & -\cos\beta & 0 & q_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \text{const} \quad (3)$$

trong đó: các giá trị khoảng cách k, b, r, q_1, q_2 và góc β là không đổi và được thể hiện trên Hình 2.

Động học quá trình làm việc: Trong quá trình máy thực hiện tích vật liệu vào gầu xúc, ta quan tâm đến quỹ đạo của đỉnh răng gầu (điểm L) và góc xác định hướng của gầu xúc ψ so với hệ tọa độ cố định. Tọa độ của điểm L được xác định thông qua ma trận chuyển:

$$T = A_1 A_2 A_3 A_4 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2 + \theta_3 + \psi) & \sin(\theta_2 + \theta_3 + \psi) & 0 & q_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) - q_2 \cos(\theta_2 + \theta_3) + r \cos \theta_2 + k \\ \sin(\theta_2 + \theta_3 + \psi) & -\cos(\theta_2 + \theta_3 + \psi) & 0 & q_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) - q_2 \sin(\theta_2 + \theta_3) + r \sin \theta_2 + d_1 + b \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Góc ψ xác định hướng của gầu xúc so với hệ tọa độ cố định được xác định thông qua các góc khác theo công thức:

$$\psi = \theta_2 + \theta_3 + \beta - \frac{\pi}{2} \quad (5)$$

Như vậy, tọa độ đỉnh răng gầu L và hướng của gầu xúc trong quá trình thao tác làm việc phụ thuộc vào các góc quay θ_2, θ_3 và dịch chuyển của máy d_1 . Trong thực tế là việc, các giá trị góc θ_2, θ_3 hoàn toàn có thể xác định được bằng cách đo trực tiếp thông qua các thiết bị đo gắn liền trên các khớp B và H . Dịch chuyển của máy d_1 cũng có thể được xác định được bằng cách gắn thiết bị định vị JBS đo dịch chuyển của máy. Trong bài toán động học ngược, nếu tại thời điểm bất kỳ có ba giá trị xác định: góc ψ xác định hướng của gầu xúc, chiều cao của đỉnh răng gầu và khoảng cách từ đỉnh răng gầu với thân máy (tọa độ của đỉnh răng gầu), thì từ phương trình (4) và (5) ta có thể xác định được d_1, θ_2 , và θ_3 tại thời điểm đó.

Tính toán lực-mô men tại đỉnh răng gầu xúc: Trong phần này, trên cơ sở mô hình động lực học quá trình tích vật liệu vào gầu xúc của máy xúc lật, tác giả xây dựng mối quan hệ xác định giá trị của lực cản và mô men tại đỉnh răng gầu trong quá trình tích vật liệu vào gầu trong sự phụ thuộc vào lực đẩy di chuyển máy, lực của các xi lanh thủy lực dẫn động thiết bị công tác và các góc quay θ_2, θ_3 trong quá trình thao tác tích vật liệu. Nếu ta giả thiết trong quá trình tích vật liệu vào gầu, máy di chuyển với vận tốc chậm, khi đó có thể sử dụng ma trận Jacobian của cơ hệ để xác định lực và mô men tại đỉnh răng gầu xúc thông qua lực đẩy của máy và lực của các xi lanh thủy lực. Do cơ hệ khảo sát chỉ có ba bậc tự do trong chuyển động phẳng của các cơ cấu, nên chỉ cần một ma trận Jacobian 3x3 tối giản là đủ. Ma trận này xác định như sau:

$$J = \begin{bmatrix} 0 & -(q_1 S_{23} + q_2 C_{23} + r S_2) & -(q_1 S_{23} + q_2 C_{23}) \\ 1 & (q_1 C_{23} + q_2 S_{23} + r C_2) & (q_1 C_{23} - q_2 S_{23}) \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

trong đó: $S_{23} = \sin(\theta_2 + \theta_3)$, $C_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3)$, $S_2 = \sin \theta_2$ và $C_2 = \cos \theta_2$;

Biểu thức (6) là ma trận Jacobian đối với tọa độ tham chiếu $X_o O_o Z_o$ (tức là $J = J_o$). Khi đó, mối quan hệ giữa vector lực của các khớp nối và vector lực nạp tải tại đỉnh răng gầu được xác định [8]:

$$\tau = J^T F \quad (7)$$

$$\tau = \begin{bmatrix} f_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix}; A_4 = \begin{bmatrix} F_d \\ F_n \\ M \end{bmatrix} \quad (8)$$

trong đó: f_1 là lực đẩy của máy cơ sở; τ_2 là mô men tại khớp quay B ; τ_3 là mô men tại khớp quay H ; F_d là thành phần lực dọc tại đỉnh răng gầu L ; F_n là thành phần lực ngang tại đỉnh răng gầu L ; M là mô men tại đỉnh răng gầu L .

Như vậy, từ phương trình (7) nhận thấy rằng, các thành phần lực và mô men tại đỉnh răng gầu xúc được xác định thông qua lực đẩy của xe cơ sở f_1 và mô men τ_2, τ_3 tại các khớp quay B và H tương ứng. Giá

trị mô men τ_2, τ_3 được xác định thông qua các lực f_2, f_3 của xy lanh nâng hạ cần và xi lanh quay gầu tương ứng; Mô men τ_2 được xác định thông qua lực của xi lanh nâng hạ cần f_2 bằng biểu thức:

$$\tau_2 = -ef_2 \sin\left(\frac{\pi}{2} + \gamma - \alpha - e\right) = -ef_2 \cos(\gamma - \alpha - e) \quad (9)$$

trong đó: các góc α và γ được thể hiện ở Hình 2 và $\varepsilon = \widehat{EBH} = \text{const}$.

Thông qua biến đổi hình học, góc α và γ được xác định như sau:

$$\alpha = \pi - \theta_2 \quad (10)$$

$$\tan \gamma = \frac{k - e \cdot \cos(\alpha + \varepsilon)}{b + e \cdot \cos(\alpha + \varepsilon)} \Rightarrow \gamma = \arctg \left[\frac{k - e \cos(\alpha + \varepsilon)}{b + e \cos(\alpha + \varepsilon)} \right] \quad (11)$$

Thế các phương trình (10), (11) vào phương trình (9), ta được:

$$\tau_2 = -ef_2 \sin(\gamma - \pi + \theta_2 - \varepsilon) = -ef_2 \cos(\pi - \gamma - \theta_2 + \varepsilon) \quad (12)$$

$$\tau_2 = -ef_2 \cos\left(\theta_2 - \varepsilon - \arctg \left[\frac{k - e \cos(\alpha + \varepsilon)}{b + e \cos(\alpha + \varepsilon)} \right]\right)$$

Mô men τ_3 được xác định thông qua lực xi lanh quay gầu f_3 theo biểu thức:

$$\tau_3 = gf_3 \sin \eta \quad (13)$$

trong đó: $g = HD = \text{const}$; $\eta = \widehat{HAD}$

Tọa độ các đỉnh của tam giác DHA so với hệ trục cố định được xác định lần lượt như sau:

$$A: \begin{bmatrix} k + l \cos(\theta_2 - \varphi) \\ 0 \\ d_1 + b + l \sin(\theta_2 - \varphi) \end{bmatrix}; H: \begin{bmatrix} k + r \cos \alpha \\ 0 \\ d_1 + b + r \sin \alpha \end{bmatrix}; D: A_1 A_2 A_3 \begin{bmatrix} 0 \\ -g \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rC_2 + k + gS_{23} \\ 0 \\ rS_2 + b - gC_{23} \end{bmatrix}$$

Nhận được:

$$\overline{DA}: \begin{bmatrix} rC_2 + gS_{23} - l \cos(\theta_2 - \varphi) \\ 0 \\ rS_2 - gC_{23} - l \sin(\theta_2 - \varphi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1(\theta_2, \theta_3) \\ 0 \\ a_2(\theta_2, \theta_3) \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\overline{DH}: \begin{bmatrix} rC_2 + gS_{23} + r \cos \alpha \\ 0 \\ rS_2 - gC_{23} - r \sin \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1(\theta_2, \theta_3) \\ 0 \\ b_2(\theta_2, \theta_3) \end{bmatrix} \quad (15)$$

Khi đó, xác định được góc η theo công thức:

$$\eta = \cos^{-1} \frac{a_1(\theta_2, \theta_3) \cdot b_1(\theta_2, \theta_3) + a_2(\theta_2, \theta_3) \cdot b_2(\theta_2, \theta_3)}{\sqrt{(a_1(\theta_2, \theta_3))^2 + (a_2(\theta_2, \theta_3))^2} + \sqrt{(b_1(\theta_2, \theta_3))^2 + (b_2(\theta_2, \theta_3))^2}} \quad (16)$$

Do góc η không nhận giá trị âm, nên không có giá trị âm trong việc xác định η từ phương trình (16). Nếu trong biểu thức (16) thay $\cos \eta = w$ và kết hợp phương trình (13) nhận được:

$$\tau_3 = gf_3 \sqrt{1 - w^2} \quad (17)$$

Trong thực tế, các giá trị lực f_1, f_2, f_3 hoàn toàn có thể xác định được bằng cách đo đặc trực tiếp trên máy thông qua các đầu đo lực và đầu đo áp suất và lưu lượng của dầu trong các xi lanh thủy lực. Như vậy, hoàn toàn có thể xác định được lực và mô men tác dụng vào đỉnh gầu xúc trong quá trình tích vật liệu vào gầu thông qua các công thức (7), (8), (12) và (17) khi biết được giá trị lực đẩy di chuyển của máy f_1 và lực trong các xi lanh nâng hạ cần và xy lanh quay gầu tương ứng f_2 và f_3 .



3. Kết luận

Bài báo đã xây dựng phương pháp tính toán và đưa ra công thức tính toán tổng lực cần và mô men tại đỉnh răng gầu xúc trong quá trình tích vật liệu vào gầu của máy xúc lật khi kết hợp giữa di chuyển máy và thao tác nâng hạ cần, quay gầu kết hợp. Kết quả bài báo có thể làm cơ sở cho việc nghiên cứu động học, động lực học quá trình làm việc của máy xúc lật.



Tài liệu tham khảo

1. Nezami E., Hashash Y., Zhao D., Ghaboussi J. (2007), "Simulation of front end loader bucket-soil interaction using discrete element method", *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 31:1147-1162.
2. Зеленин А.Н. (1968), *Основы разрушения грунтов механическими способами*, М.: Машиностроение, 375с.
3. Тарасов В.Н. (1975), *Динамика систем управления рабочими процессами землеройно-транспортных машин*, – Омск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, Омское отделение, 182 с.
4. Баумана В.А., Лапира Ф.А. (1976), *Строительные машины: Справочник*, Под ред.. -М.: Машиностроение, (1):502.
5. Chu Văn Đạt, Lê Văn Dưỡng, Tạ Văn Huy (2016), "Nghiên cứu xác định lực cản tổng quát trong quá trình tích vật liệu vào gầu của máy xúc lật", *Tạp chí Nghiên cứu khoa học và Công nghệ quân sự*, 41:166-172.
6. Фисенко Н.И. (1976), *Исследование рабочего оборудования одноковшового фронтального погрузчика*, дис. ...канд. техн. наук: 05.05.04 /Фисенко Николай Ильич-Омск, 170 с.
7. Denavit J., Hartenberg R.S. (1955), "A Kinematic Notation for Lower-Pair Mechanism Based on Matrices", *J. Applied Mechanics*, 215-221.
8. Paul R.P. (1981), *Robot Manipulators: Mathematics, Programming and Control*, MIT Press.