NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC MÁY ĐẦM CÓC KHI THI CÔNG TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM

DYNAMIC ANALYSIS OF TAMPING RAMMER OPERATION UNDER CONSTRUCTION CONDITIONS IN VIETNAM

Lê Trọng Tuấn[1], Nguyễn Minh Kha[1,*], Nguyễn Quý Tằng[1], Đào Mạnh Quyền[2]

DOI: https://doi.org/10.57001/huih5804.2025.331

TÓM TẮT

Máy đầm cóc là thiết bị đầm lèn nhỏ có tính cơ động, được sử dụng phổ biến trong ngành xây dựng, giúp tăng độ chặt và ổn định nền móng. Trong quá trình thi công hiệu quả của quá trình đầm phụ thuộc vào tính chất cơ lý của đất. Bài báo trình bày mô hình động lực học của máy đầm cóc thi công trong điều kiện Việt Nam. Mô hình động lực học có xét đến hệ số độ đàn hồi, giám chấn của đất và lò xo máy đầm. Trên cơ sở mô hình động lực học, bài báo sử dụng định luật hai Newton để xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của cơ hệ. Đồng thời, bài báo tiến hành khảo sát ảnh hưởng của tốc độ vòng quay tới quá trình làm việc của máy đầm cóc. Kết quả bài báo là cơ sở để đánh giá hiệu quả làm việc và là luận cứ để để tiến hành cải tiến kết cấu và lựa chọn chế độ làm việc hợp lý của máy đầm cóc nhằm nâng cao chất lượng đầm lèn trong điều kiện thi công tại Việt Nam.

Từ khóa: *Máy đầm cóc, động lực học, thông số kết cấu, điều kiện Việt Nam.*

ABSTRACT

The tamping rammer is a compact and mobile compaction device widely used in the construction industry to enhance soil density and foundation stability. During operation, the effectiveness of the compaction process depends on the geotechnical properties of the soil. This paper presents a dynamic model of the tamping rammer under construction conditions in Vietnam. The dynamic model takes into account the elasticity and damping characteristics of both the soil and the machine's spring system. Based on this model, the Newton's second law is applied to formulate a system of differential equations that describe the motion of the mechanical system. Furthermore, the study investigates the influence of the rotational speed on the operational behavior. The results provide a basis for evaluating the operational efficiency of the tamping rammer and constitute an argument for structural improvements and the selection of appropriate operating modes to enhance compaction quality under construction conditions in Vietnam.

***Keywords*:** *Tamping rammer, dynamics, structural parameters, Vietnamese conditions.*

[1]Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn
[2]Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Công nghệ giao thông vận tải
[*]Email: minhkha97@lqdtu.edu.vn
Ngày nhận bài: 02/7/2025
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 08/9/2025
Ngày chấp nhận đăng: 28/9/2025

1. GIỚI THIỆU

Máy đầm cóc thuộc nhóm máy đầm lèn chuyên dụng được sử dụng tương đối phổ biến để tăng độ chặt của đất, đặc biệt máy rất hiệu quả ở những khu vực có diện tích nhỏ hẹp hoặc nơi có địa hình phức tạp như các khu vực biên giới. Máy hoạt động dựa trên nguyên lý rung động theo phương thẳng đứng, tạo ra lực đập mạnh xuống mặt đất, giúp lèn chặt nền đất. Hiệu quả của quá trình đầm lèn phụ thuộc vào điều kiện thi công trong đó có hai yếu tố đặc trưng là đặc tính nền đất và chế độ làm việc. Đã có nhiều công trình nghiên cứu động lực học máy đầm lèn nói chung và máy đầm cóc nói riêng.

Trong [1], các tác giả đã nghiên cứu xây dựng mô hình máy đầm cóc từ đó xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả quá trình làm việc. Bài báo đã đưa ra kết quả lực đầm ứng với các loại máy đầm khác nhau, từ đó đánh giá hiệu

quả đầm của từng loại máy. Công trình [2] đã nghiên cứu khả năng làm việc của ba loại máy đầm cóc khác nhau dựa trên độ dịch chuyển của bàn đầm, khung máy và lực đầm. Nền đất được mô hình hóa bằng mô hình Kelvin-Voigt, kết hợp tính chất đàn hồi và nhớt, phù hợp để mô tả tương tác giữa máy và đất trong quá trình đầm lèn. Trong [3], các tác giả đã nghiên cứu quá trình làm việc của máy đầm cóc thông qua mô hình động lực học ba bậc tự do. Đặc biệt, nghiên cứu tập trung vào việc mô hình hóa tương tác giữa thiết bị đầm và mô hình nền đất dạng phi tuyến bao gồm bốn thành phần cơ bản: phần tử đàn hồi, bộ giảm chấn nhớt, phần tử dẻo và lực ma sát khô. Nghiên cứu [4] tập trung vào việc xây dựng mô hình động lực học mô tả sự tương tác giữa máy đầm cóc và nền đất trong quá trình thi công. Các tác giả đã sử dụng mô hình tương đối đơn giản gồm khối lượng - lò xo - cản để biểu diễn hệ cơ học của máy, từ đó thiết lập hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động dao động và lực đầm tác dụng lên nền đất. Có thể thấy các công trình [1 - 4] đã tập trung nghiên cứu động lực học máy đầm cóc tuy nhiên chưa nghiên cứu khi sử dụng trong điều kiện Việt Nam cũng như chưa tập trung khảo sát ảnh hưởng tốc độ vòng quay tới hiệu quả làm việc đối với một loại máy cụ thể.

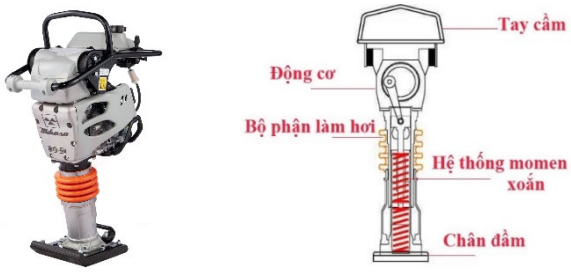
Các công trình [5 - 7] cũng đề cập đến đối tượng nghiên cứu là máy đầm cóc. Trong nghiên cứu [5] đã đề xuất một phương pháp đo lực đầm của máy đầm cóc trong quá trình đầm lèn. Phương pháp này tập trung vào việc xác định thời điểm tiếp xúc giữa bàn đầm và vật liệu nền, đo khoảng cách và thời gian di chuyển từ vị trí bắt đầu tiếp xúc đến điểm thấp nhất bằng cách sử dụng camera tốc độ cao và thước đo. Trong [6, 7], các tác giả đã trình bày phương pháp tối ưu hóa thiết kế cụm lò xo trong máy đầm cóc với mục tiêu cải thiện hiệu suất làm việc và độ tin cậy của thiết bị. Nhóm tác giả đã xây dựng mô hình thiết kế tối ưu sử dụng thuật toán di truyền, với hàm mục tiêu là tối thiểu hóa khối lượng của cụm lò xo, đồng thời đảm bảo các điều kiện ràng buộc như ứng suất cho phép, độ võng, dao động riêng, độ bền mỏi và ổn định dọc trục. Tuy vậy, đối tượng thi công là nền đất tại Việt Nam chưa được xét đến do đó chưa thể đánh giá được hiệu quả quá trình làm việc của máy đầm cóc khi thi công tại Việt Nam.

Quá trình làm việc của máy đầm cóc, ta thấy có đặc điểm gần giống với quá trình làm việc của máy lu rung. Các công trình [8 - 10] đã nghiên cứu động lực học của máy lu rung thi công trong điều kiện nền đường tuần tra biên giới tại Việt Nam. Các công trình đã tập trung khảo sát đưa ra các thông số động lực học đồng thời khảo sát ảnh hưởng một số thông số kết cấu tới hiệu quả đầm.

Như vậy, có thể thấy hiện nay chưa có công trình nghiên cứu nào xét mô hình động lực học máy đầm cóc thi công trong điều kiện Việt Nam. Trong bài báo này, các tác giả xây dựng mô hình động lực học dựa trên kết cấu của máy đầm cóc Mikasa MTX-60 khi thi công trên nền đường tuần tra biên giới tại Việt Nam. Trên cơ sở mô hình khảo sát, các tác giả đưa ra kết quả biên độ chuyển vị, vận tốc chuyển vị, gia tốc chuyển vị của các khâu và xét ảnh hưởng chế độ làm việc (tốc độ vòng quay) tới lực đầm của máy.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC MÁY ĐẦM CÓC

Các giả thiết khi xây dựng mô hình: Mô hình động lực học (hình 2) được xây dựng dựa trên cấu tạo thực tế của máy đầm cóc Mikasa MTX-60 (hình 1). Một số giả thiết sau được chấp nhận: Xem xét các chuyển động của máy trong quá trình làm việc theo phương thẳng đứng; Khối lượng của khung máy, động cơ và hộp giảm tốc được quy dẫn về khối lượng là m_1; Khối lượng của cụm piston, thanh truyền và các lò xo được quy dẫn về khối lượng là m_2; Khối lượng của chân đầm là m_3; Các khối lượng tập trung chỉ xét dao động theo phương thẳng đứng; Toàn bộ các bộ phận kết cấu (khung máy, thanh truyền, piston, chân đầm...) đều được coi là vật rắn tuyệt đối, không biến dạng trong quá trình làm việc; Động cơ truyền động và các bộ phận liên kết được mô hình hóa như một đĩa quay; Ma sát giữa các bề mặt tiếp xúc (giữa bàn đầm và đất hoặc giữa các bộ phận bên trong máy) được coi là không đáng kể; Độ cứng và giảm chấn của khối lượng đất đầm được quy đổi thành một lò xo đàn hồi và giảm chấn. Các giả thiết để xây dựng mô hình để đơn giản trong quá trình tính toán, đồng thời dựa trên kết cấu thật của máy đầm cóc Mikasa MTX-60.



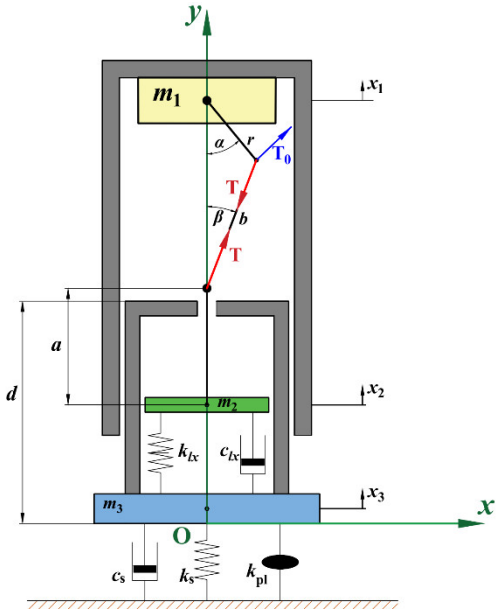
a) b)

Hình 1. Máy đầm cóc Mikasa MTX-60: a) Hình ảnh thực tế; b) Cấu tạo máy đầm cóc

Các thông số trên mô hình: x_1: dịch chuyển của của khung máy, động cơ và hộp giảm tốc, (m); x_2: dịch chuyển của cụm piston, thanh truyền, (m); x_3: dịch chuyển của bàn đầm, (m); m_1: khối lượng của khung máy, động cơ và hộp giảm tốc, (kg); m_2: khối lượng của cụm piston, thanh

truyền và các lò xo, (kg); m_3: khối lượng của chân đầm, (kg); k_{lx}: hệ số độ cứng của lò xo liên kết khung máy và bàn đầm, (N/m); c_{lx}: hệ số cản nhớt của giảm chấn liên kết khung máy và bàn đầm, (Ns/m); k_{pl}: hệ số biến dạng đàn hồi của nền đất, (N/m); k_s: hệ số độ cứng của nền đất, (N/m); c_s: hệ số cản nhớt của nền đất, (Ns/m); Mô men truyền từ động cơ qua giảm tốc đến cơ cấu khuỷu trục thanh truyền tương ứng với góc quay α (rad) là T_0, (Nm); β là góc tạo với thanh truyền so với phương thẳng đứng, (rad); Các thông số kết cấu của máy đầm cóc r, b, a, d (hình 2), (m).

Tọa độ suy rộng: $q=\left[q_i\right]^T=\left[x_1\ x_3\right]^T \quad (i=1\div 2)$



Hình 2. Mô hình động lực học máy đầm cóc Mikasa MTX-60

Mối quan hệ hình học:

$$\alpha=\omega t;\frac{b}{\sin\alpha}=\frac{r}{\sin\beta}\Rightarrow\sin\beta=\frac{r}{b}\sin\alpha$$
$$\Rightarrow\beta=\arcsin\left(\frac{r}{b}\sin\alpha\right) \quad (1)$$

Trong đó: $\omega=\frac{2\pi n}{60}$ với n là tốc độ vòng quay dẫn động từ động cơ qua hộp giảm tốc tới trục khuỷu (vòng/phút).

Từ (1) suy ra:

$$\dot\beta=\frac{\frac{r}{b}\omega\cos\alpha}{\sqrt{1-\frac{r^2}{b^2}\sin^2\alpha}}=\frac{r\omega\cos\alpha}{b\cos\beta} \quad (2)$$
$$\Rightarrow\ddot\beta=\frac{\left(-r\omega^2\sin\alpha\right)\left(b\cos\beta\right)-\left(r\omega\cos\alpha\right)\left(-b\dot\beta\sin\beta\right)}{b^2\cos^2\beta}$$
$$\Rightarrow\ddot\beta=\frac{r\omega b\dot\beta\cos\alpha\sin\beta-r\omega^2 b\sin\alpha\cos\beta}{b^2\cos^2\beta}$$
$$=\frac{b\dot\beta^2\sin\beta-r\omega^2\sin\alpha}{b\cos\beta}$$

Do thanh truyền là cứng tuyệt đối:

$$x_2=x_1-\left(r\cos\alpha+b\cos\beta+a\right) \quad (3)$$

Áp dụng định luật hai Newton xác định chuyển động của các khối lượng m_1, m_2 và m_3:

- Phương trình chuyển động của vật m_1:

$$m_1\ddot x_1=m_1g-T_0\sin\alpha+T\cos\beta$$
$$\Rightarrow T\cos\beta=m_1\ddot x_1-m_1g+T_0\sin\alpha \quad (4)$$

- Phương trình chuyển động của vật m_2:

$$m_2\ddot x_2=-m_2g+T\cos\beta-\left(k_{lx}\Delta l+c_{lx}\Delta\dot l\right) \quad (5)$$

Trong đó, Δl là biến dạng của lò xo:

$$\Delta l=l-l_0=x_2-x_3-l_0=x_1-x_3-r\cos\alpha-b\cos\beta-a-l_0$$
$$\Rightarrow\Delta\dot l=\dot x_1-\dot x_3+r\omega\sin\alpha+b\dot\beta\sin\beta \quad (6)$$

Từ (4) và (6) ta có:

$$m_2\frac{d^2}{dt}(x_1-r\cos\alpha-b\cos\beta-a)=-m_2g+T\cos\beta-k_{lx}\Delta l-c_{lx}\Delta\dot l$$
$$\Rightarrow m_2\frac{d^2}{dt}(x_1-r\cos\alpha-b\cos\beta-a)$$
$$=-m_2g+T\cos\beta-k_{lx}\left(x_1-x_3-r\cos\alpha-b\cos\beta-a-l_{02}\right) \quad (7)$$
$$-c_{lx}\left(\dot x_1-\dot x_3+r\omega\sin\alpha+b\dot\beta\sin\beta\right)$$

Ta lại có:

$$\frac{d^2}{dt}(x_1-r\cos\alpha-b\cos\beta-a)=\frac{d}{dt}\left(\dot x_1+\omega r\sin\alpha+b\dot\beta\sin\beta\right)$$
$$=m_1\ddot x_1+r\omega^2\cos\alpha+b\ddot\beta\sin\beta+b\dot\beta^2\cos\beta$$

Do đó phương trình (7) trở thành:

$$m_2\left(\ddot x_1+\omega^2 r\cos\alpha+b\ddot\beta\sin\beta+b\dot\beta^2\cos\beta\right)=-m_2g$$
$$+T\cos\beta-k_{lx}\left(x_1-x_3-r\cos\alpha-b\cos\beta-a-l_0\right) \quad (8)$$
$$-c_{lx}\left(\dot x_1-\dot x_3+r\omega\sin\alpha+b\dot\beta\sin\beta\right)$$

Từ (5) và (8) ta có phương trình chuyển động của vật m_2:

$$m_2\left(\ddot x_1+\omega^2 r\cos\alpha+b\ddot\beta\sin\beta+b\dot\beta^2\cos\beta\right)=-m_2g$$
$$-m_1\ddot x_1-m_1g+T_0\sin\alpha$$
$$-k_{lx}\left(x_1-x_3-r\cos\alpha-b\cos\beta-a-l_0\right)$$
$$-c_{lx}\left(\dot x_1-\dot x_3+r\omega\sin\alpha+b\dot\beta\sin\beta\right)$$

$$\Rightarrow (m_1+m_2)\ddot{x}_1 = -(m_1+m_2)g + T_0\sin\alpha - k_{lx}(x_1 - x_3 - r\cos\alpha - b\cos\beta - a - l_0) - c_{lx}\left(\dot{x}_1 - \dot{x}_3 + r\omega\sin\alpha + b\dot{\beta}\sin\beta\right) - m_2\left(\omega^2 r\cos\alpha + b\ddot{\beta}\sin\beta + b\dot{\beta}^2\cos\beta\right) \quad (9)$$

- Chuyển động của vật m_3:

$$m_3\ddot{x}_3 = -m_3 g + k_{lx}\Delta l + c_{lx}\Delta\dot{l} + F_s \quad (10)$$

Trong đó, F_s là lực bàn đầm tiếp xúc đất và được xác định:

$$F_s = \begin{cases} (k_s + k_{pl})x_3 + c_s\dot{x}_3 & (x_3 < 0) \\ 0 & (x_3 \geq 0) \end{cases} \quad (11)$$

Do vậy, hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của cơ hệ:

$$\begin{cases} (m_1+m_2)\ddot{x}_1 = -(m_1+m_2)g + T_0\sin\alpha \\ \quad - k_{lx}(x_1 - x_3 - r\cos\alpha - b\cos\beta - a - l_0) \\ \quad - c_{lx}\left(\dot{x}_1 - \dot{x}_3 + r\omega\sin\alpha + b\dot{\beta}\sin\beta\right) \\ \quad - m_2\left(\omega^2 r\cos\alpha + b\ddot{\beta}\sin\beta + b\dot{\beta}^2\cos\beta\right) \\ m_3\ddot{x}_3 = -m_3 g + k_{lx}\Delta l + c_{lx}\Delta\dot{l} + F_s \end{cases} \quad (12)$$

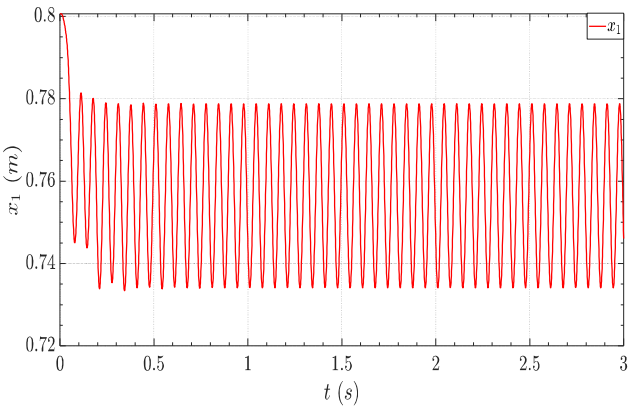
3. KẾT QUẢ

Bộ tham số đầu vào cho máy đầm cóc Mikasa MTX-60 [1]: m_1 = 45 (kg); m_2 = 5 (kg); m_3 = 25 (kg); r = 0,0275 (m); b = 0,21 (m); d = 0,52 (m); l_1 = 0,13 (m); l_2 = 0,13 (m); M = 15 (Nm); n = 700 (vòng/phút); $k_1 = 1{,}5.10^6$ (N/m), c_1 = 500 (Ns/m). Theo [3]: k_{pl} = 20000 (N/m). Theo [9]: $k_s = 87.10^6$ (N/m, c_s = 3440 (Ns/m). Giải hệ phương trình vi phân (12) bằng Matlab ta thu được kết quả các thông số động lực học như hình (3) - (6).

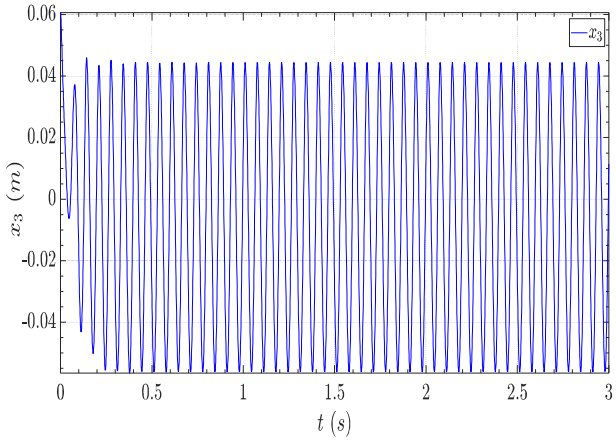
Đồ thị dịch chuyển các khâu như thể hiện trên hình 3.

Quan sát kết quả khảo sát ta thấy: Ban đầu khi cơ hệ chuyển từ trạng thái tĩnh sang trạng thái động, chuyển vị của các khâu dịch chuyển với biên độ lớn. Cụ thể: Khung máy, động cơ và hộp giảm tốc dịch chuyển với biên độ khoảng 5cm; cụm piston, thanh truyền dịch chuyển với biên độ khoảng 6cm. Sau một khoảng thời gian rất ngắn dưới tác dụng giảm chấn của lò xo, nền đất nên độ dịch chuyển các khâu ổn định dần theo quy luật hình sin và có tính đối xứng qua vị trí cân bằng. Trong đó: Khung máy, động cơ và hộp giảm tốc dịch chuyển với biên độ khoảng 1,5cm; cụm piston, thanh truyền và các lò xo dịch chuyển với biên độ khoảng 4cm.

Đồ thị vận tốc các khâu như thể hiện trên hình 4. Ban đầu khi cơ hệ chuyển từ trạng thái tĩnh sang trạng thái động, vận tốc các khâu chưa theo một quy luật nhất định có xu hướng tăng dần; sau một khoảng thời gian rất ngắn dưới tác dụng giảm chấn của lò xo và nền đất nên cơ hệ ổn định dần theo quy luật hình sin và có tính đối xứng qua vị trí cân bằng. Tại n = 700 vòng/phút, vận tốc dịch chuyển của khung máy, động cơ và hộp giảm tốc khoảng 2m/s; vận tốc dịch chuyển của cụm piston, thanh truyền dịch chuyển khoảng 5m/s.

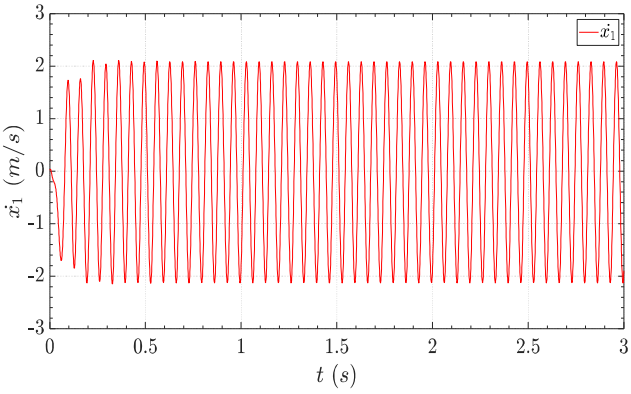


a)

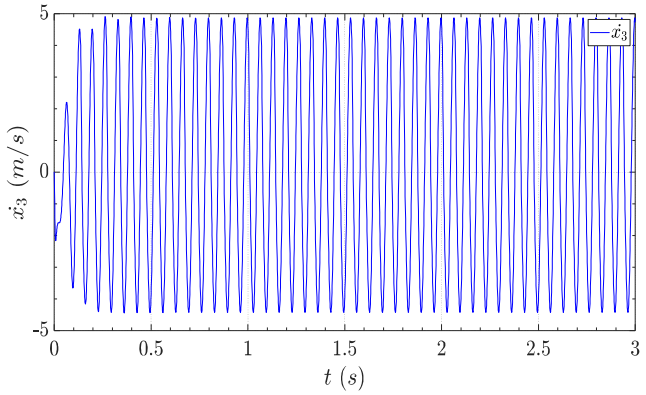


b)

Hình 3. Chuyển vị của khung máy, động cơ và hộp giảm tốc (a), và khối lượng của cụm piston, thanh truyền và các lò xo (b)



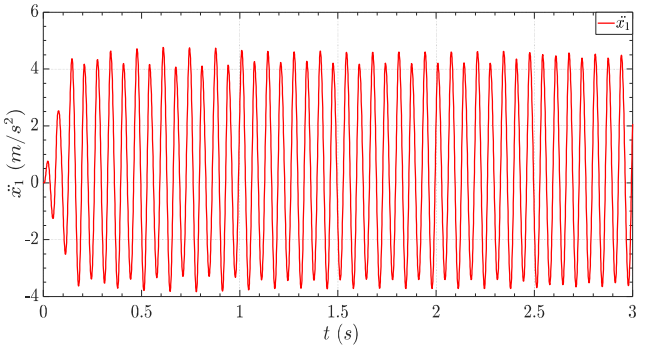
a)



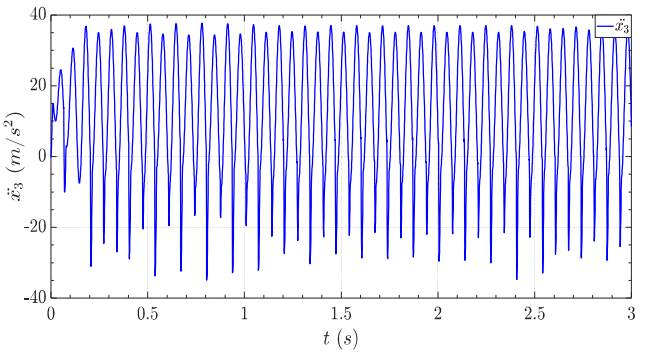
b)

Hình 4. Vận tốc dịch chuyển khung máy, động cơ và hộp giảm tốc (a), và khối lượng của cụm piston, thanh truyền và các lò xo (b)

Đồ thị gia tốc các khâu như thể hiện trên hình 5. Quan sát kết quả khảo sát ta thấy: Ban đầu khi cơ hệ chuyển từ trạng thái tĩnh sang trạng thái động, gia tốc các khâu chưa theo một quy luật nhất định và có xu hướng tăng dần theo thời gian. Sau một khoảng thời gian rất ngắn dưới tác dụng giảm chấn của lò xo và nền đất nên gia tốc cơ hệ ổn định dần. Tại n = 700 vòng/phút gia tốc dịch chuyển của khung máy, động cơ và hộp giảm tốc khoảng 5m/s^2; gia tốc dịch chuyển của cụm piston, thanh truyền dịch chuyển khoảng 40m/s^2.



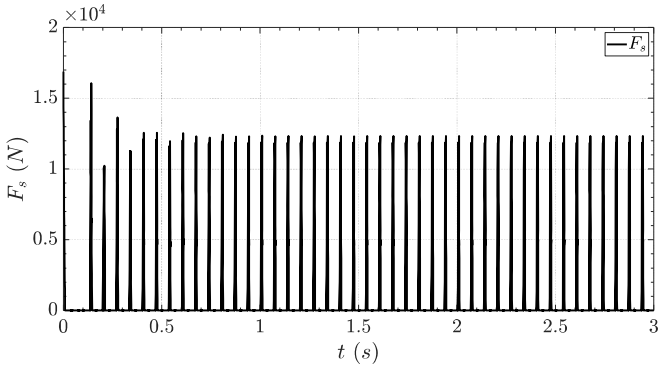
a)



b)

Hình 5. Gia tốc dịch chuyển khung máy, động cơ và hộp giảm tốc (a), và khối lượng của cụm piston, thanh truyền và các lò xo (b)

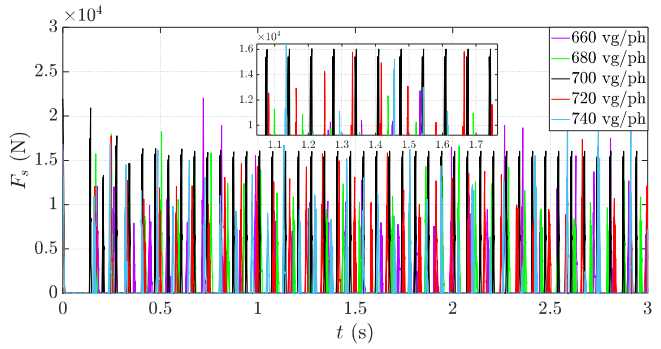
Đồ thị lực đẩm như thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Lực đẩm máy đẩm cóc Mikasa MTX-60

Ban đầu khi cơ hệ chuyển từ trạng thái tĩnh sang trạng thái động, đồ thị lực đẩm chưa theo quy luật nhất định. Trong khoảng thời gian đầu do quán tính lực đẩm tăng đột ngột (khoảng 20kN), sau đó lực đẩm có xu hướng ổn định dẩm và nằm trong khoảng 13kN. Kết quả khảo sát thu được gần bằng với giá trị lực đẩm của máy đẩm cóc Mikasa MTX-60 (13,7kN) do nhà sản xuất đưa ra [1]. Do đó có thể khẳng định, mô hình có độ tin cậy và chấp nhận được.

Khi nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ vòng quay đến khả năng làm việc của máy đẩm cóc Mikasa MTX-60, để đánh giá khả năng làm việc của máy đẩm cóc thì một trong những tiêu chí quan trọng đó là lực đẩm. Trong bài báo này, tác giả tiến hành khảo sát ảnh hưởng tốc độ trục khuỷu tới lực đẩm của máy ở các tốc độ vòng quay 660 vòng/phút, 680 vòng/phút, 700 vòng/phút, 720 vòng/phút, 740 vòng/phút và thu được kết quả như trên hình 7.



Hình 7. Khảo sát ảnh hưởng tốc độ vòng quay tới lực đẩm

Từ kết quả khảo sát, ta có thể thấy khi giảm tốc độ vòng quay xuống 660 vòng/phút, 680 vòng/phút thì lực đẩm theo thời gian không có sự ổn định (biên độ chênh lệch lớn), trong đó sai lệch khi ở 660 vòng/phút lớn hơn khi vận hành ở 680 vòng/phút. Kết quả cho thấy nhìn chung lực đẩm sẽ giảm xuống tương ứng là khoảng 10kN và khoảng 13kN. Khi tăng tốc độ vòng quay lên 720

vòng/phút, nhìn chung lực đầm sẽ tăng lên khoảng 14kN giữa các lần đầm, và cũng có sự sai lệch không đồng đều như khi vận hành ở tốc độ 700 vòng/phút. Nếu tiếp tục tăng lên 740 vòng/phút thì lực đầm nhìn chung lại có xu hướng bắt đầm giảm dần. Do đó, trong quá trình vận hành máy nên điều chỉnh tốc độ vòng quay trong dải 680 ÷ 720 vòng/phút để bảo đảm độ ổn định giữa các lần đầm cũng như độ lớn lực đầm.

4. KẾT LUẬN

Như vậy, trong bài báo này tác giả đã xây dựng được mô hình động lực học máy đầm cóc Mikasa MTX-60 khi thi công trong điều kiện Việt Nam. Trên cơ sở mô hình động lực học, tác giả đã tiến hành khảo sát độ chuyển vị, vận tốc dịch chuyển và gia tốc dịch chuyển của các khâu (khung máy, động cơ và hộp giảm tốc; cụm piston, thanh truyền, lò xo và bàn đầm). Đây là các thông số để đánh giá hiệu quả làm việc khi tiến hành cải tiến kết cấu của máy đầm cóc. Đồng thời, bài báo đã tiến hành khảo sát ảnh hưởng của tốc độ vòng quay truyền của trục khuỷu tới lực đầm. Kết quả khảo sát cho thấy trong quá trình làm việc nên điều chỉnh tốc độ vòng quay trong dải 680 ÷ 720 vòng/phút. Kết quả này là cơ sở để lựa chọn chế độ làm việc hợp lý của máy đầm cóc Mikasa MTX-60 nói riêng và các loại máy đầm có kết cấu tương tự nói chung khi thi công trong điều kiện Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Adina Veronica Crișan, Radu Mircea Morariu-gligor, "A study on the impact force in case of tamping rammers", *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 16, 1/2019, 78-83, 2019.

[2]. Radu Mircea Morariu-Gligor, "The Study of the Dynamic Behavior for a Tamping Rammer", *Symmetry,* 14, 980, 2022, https://doi.org/10.3390/sym14050980

[3]. Carmen Debeleac, Gheorghe Oproescu, "Non-linear Behaviour of a Soil Compaction Equipment", in *5th International Vilnius Conference*, 114-119, 2009.

[4]. Lê Trọng Tuấn, Nguyễn Quý Tằng, "Nghiên cứu quá trình tương tác của máy đầm cóc với nền đất", *Tạp chí Cơ khí Việt Nam,* tháng 11 , 220-224, 2024.

[5]. Aleksandar Ivanov, Mihaela Ivanova, Tsvetelina Georgieva, "Methodology for measuring the impact force of compaction rammers", *TEM Journal,* 11, 3, 1002-1006, 2022. https://doi.org/10.18421/TEM113-02

[6]. Lucian Tudose, Radu Mircea Morariu-gligor, Simion Haragâș, "Optimal design of helical compression springs from tamping rammers", in *The 2nd International Conference on Advanced Engineering in Mechanical Systems,* 279-284, 2009.

[7]. A. Hamza, S. Ayadi, E. Hadj-Taïeb, "Propagation of deformation and strain waves in a tamping rammers springs", in *1st Euro-Mediterranean Conference on Structural Dynamics and Vibroacoustics*, 1-4, 2013.

[8]. Trần Hữu Lý, *Nghiên cứu xác định chế độ làm việc hợp lý của máy lu rung thi công đất nền đường tuần tra biên giới*. Luận án Tiến sĩ, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 2012.

[9]. Nguyễn Minh Kha, Lê Văn Dưỡng, Trần Đức Thắng, "Nghiên cứu rung động tác động lên người lái khi vận hành máy lu hai bánh rung", *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 76, 3, 282-293, 2025. https://doi.org/10.47869/tcsj.76.3.7

[10]. Chu Văn Đạt, Trần Hữu Lý, Trịnh Văn Hải, "Nghiên cứu động lực học máy lu hai bánh rung tự hành", *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật*, 144, 34-39, 2011.

AUTHORS INFORMATION

Le Trong Tuan[1], Nguyen Minh Kha[1], Nguyen Quy Tang[1], Dao Manh Quyen[2]

[1]Institute of Vehicle and Energy Engineering, Le Quy Don Technical University, Vietnam

[2]Institute of Mechanical Engineering, University of Transport Technology, Vietnam