



## Tối ưu thông số thiết kế hệ thống đệm cách dao động cabin máy xúc lật

Cảnh Chí Huân<sup>1</sup>, Nguyễn Tiến Hán<sup>2</sup>, Lê Văn Quỳnh<sup>3\*</sup>, Tô Ngọc Thiện<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup> Khoa Ô tô và Năng lượng, Trường Đại học Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

<sup>2</sup> Trung tâm Công nghệ Ô tô và Đào tạo lái xe, Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>4</sup> Khoa Cơ khí-Ô tô và Xây dựng, Trường Đại học Điện lực

\*Email: lequynh@tnut.edu.vn

### Abstract

*The construction machinery market not only requires high operating efficiency but also demands improved ride comfort under harsh operating conditions. In this study, a three-dimensional dynamic model of a wheel loader is established to analyze its dynamic characteristics and to identify suitable parameters of the vibration isolation system of, thereby improving the ride comfort of the driver. The optimization problem is solved using a genetic algorithm (GA) combined with a weighted multi-objective approach. The evaluation criteria are formulated based on the root mean square (RMS) vertical acceleration of driver's seat as well as the RMS pitch and roll angular accelerations of the cab. The optimization results indicate that all three objective functions are reduced when vehicle on ISO class D surface road, the speed of  $v = 5$  km/h and full load. Specifically, machine ride comfort is improved by 13.57%, 24.02% and 12.56% compared with the original design parameter set. The obtained results provide a reliable scientific basis for the design and optimization of cab's vibration isolation systems for construction machinery.*

**Keywords:** Wheel loader, vibration isolation system, vibration model, ride comfort.

### Tóm tắt

*Thị trường máy xây dựng hiện nay không những yêu cầu hiệu quả làm việc cao mà còn yêu cầu bảo đảm máy hoạt động êm dịu trong môi trường khắc nghiệt. Trong nghiên cứu này, một mô hình dao động không gian của máy xúc lật được thiết lập để phân tích đặc tính động lực học và tìm ra bộ thông số phù hợp cho hệ thống cách ly dao động cabin nhằm cải thiện độ êm dịu cho người điều khiển máy. Bài toán tối ưu được giải quyết bằng thuật toán di truyền kết hợp với cách tiếp cận tối ưu đa mục tiêu có trọng số. Các hàm mục tiêu được xây dựng dựa trên gia tốc bình phương trung bình theo phương thẳng đứng của ghế người người lái, cùng với các dao động góc lắc dọc và lắc ngang của cabin. Kết quả tối ưu đã chỉ ra rằng các giá trị của ba hàm mục tiêu đều giảm khi máy chuyển động trên mặt đường xấu ISO cấp E với vận tốc  $v = 5$  km/h và đầy tải; điều này cho thấy độ êm dịu của máy xúc lật với bộ thông số tối ưu được cải thiện lần lượt 13,57%, 24,02% và 12,56% so với bộ thông số thiết kế nguyên bản. Các kết quả thu được cung cấp cơ sở khoa học đáng tin cậy cho quá trình thiết kế và tối ưu hệ thống cách ly dao động cabin cho máy xây dựng.*

**Từ khóa:** Máy xúc lật, đệm cách ly dao động, mô hình dao động, độ êm dịu.

### 1. MỞ ĐẦU

Máy xây dựng là loại máy thường xuyên hoạt động trên mặt đường phức tạp, kết cấu của máy thường không trang bị hệ thống treo nổi đàn hồi giữa cầu xe và khung xe, dao động phát sinh trong quá trình làm việc của máy có xu hướng lan truyền đến



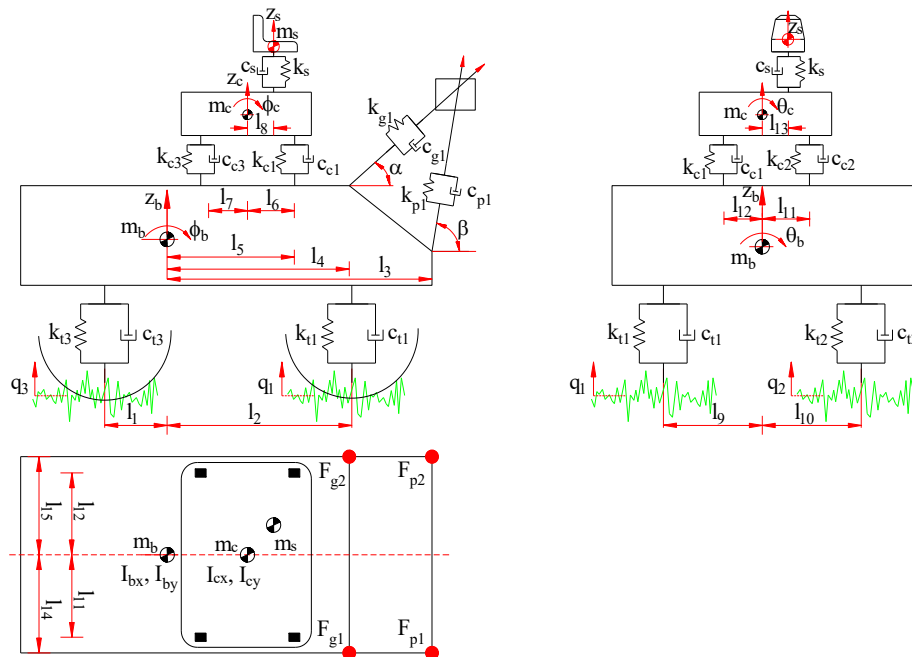
người điều khiển thông qua hệ thống cách ly dao động cabin và hệ thống treo ghế. Hostens và Ramon [1] đã chỉ ra rằng các dao động truyền từ cabin đến cột sống người lái có thể vượt ngưỡng gây khó chịu, kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng Các phân tích cho thấy đặc tính giảm chấn của hệ thống treo ghế kết hợp với hệ thống cách ly dao động cabin có ảnh hưởng đáng kể đến mức độ êm dịu trong quá trình vận hành máy xây dựng và máy nông nghiệp. Trong một nghiên cứu liên quan, Le Van Quynh và cs. [2] đã xây dựng mô hình dao động phi tuyến của máy lu rung bánh đơn nhằm phân tích ảnh hưởng của các điều kiện làm việc khác nhau đến đặc tính êm dịu trong dải tần kích thích thấp. Các kết quả phân tích cho thấy các kích thích dao động từ mặt nền đóng vai trò chi phối đối với mức độ êm dịu của người điều khiển. Le Van Quynh và Vi Thi Phuong Thao [3] đã tiếp cận bài toán đánh giá độ êm dịu của máy lu rung bánh kép thông qua việc xây dựng mô hình dao động 07 bậc tự do. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng các thông số thiết kế của hệ thống cách ly dao động cabin giữ vai trò quan trọng trong việc chi phối đặc tính êm dịu của máy. Vu Ngoc Quynh và cs. [4] đã tiếp cận bài toán đánh giá độ êm dịu của máy xúc lật thông qua mô hình dao động, qua đó phân tích tác động của các thông số thiết kế hệ thống cách ly dao động cabin. Các kết quả phân tích cho thấy những thông số này có ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính êm dịu của máy. Huan và cs. [5] đã phân tích đặc tính cản của hệ thống đệm cách ly dao động cao su – thủy lực thông qua mô hình dao động của máy xúc, cho thấy hệ số cản thủy lực có tác dụng rõ rệt trong việc suy giảm dao động ở vùng tần số kích thích thấp. Tiếp cận này tiếp tục được mở rộng trong nghiên cứu của Huan và cs.[6], một mô hình dao động không gian của máy xúc lật được phát triển để đánh giá ảnh hưởng của đặc tính cản thủy lực qua khe vành khuyên của đệm cao su – thủy lực. Kết quả cho thấy đặc tính cản thủy lực có ảnh hưởng đáng kể đến độ êm dịu của máy trong điều kiện kích thích từ mặt đường với biên độ lớn và tần số thấp. Trong những năm gần đây, vấn đề nâng cao độ êm dịu của máy xây dựng đã được nghiên cứu theo nhiều hướng tiếp cận khác nhau, bao gồm phân tích thực nghiệm, mô hình hóa dao động và tối ưu thiết kế hệ thống cách ly dao động cabin. Một số nghiên cứu đã tập trung vào việc đề xuất các phương pháp tối ưu thiết kế đệm cách ly dao động cabin dựa trên kết quả phân tích dao động và thí nghiệm thực tế [7], [8]. Song song với đó, các chiến lược điều khiển bán chủ động cũng được phát triển nhằm cải thiện hiệu quả giảm dao động. Các nghiên

cứ của Le Van Quynh và cs. [9] và Hoang Anh Tan và cs.[10] cho thấy việc điều chỉnh đặc tính cản của hệ thống cách ly dao động cabin bằng các bộ điều khiển thông minh có thể nâng cao đáng kể độ êm dịu của máy trong điều kiện làm việc khắc nghiệt. Mặc dù nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của các giải pháp tối ưu thiết kế và điều khiển bán chủ động đối với hệ thống cách ly dao động cabin, việc nâng cao độ êm dịu của máy xúc lật trong điều kiện kích thích mặt đường có biên độ lớn và tần số thấp vẫn là một vấn đề cần tiếp tục được nghiên cứu. Trên cơ sở đó, bài báo này tập trung xây dựng mô hình dao động không gian của máy xúc lật nhằm phân tích đặc tính động lực học và xác định bộ thông số thiết kế tối ưu cho hệ thống đệm cách dao động cabin. Quá trình tối ưu được thực hiện bằng thuật toán di truyền trong bài toán tối ưu đa mục tiêu, trong đó các hàm mục tiêu được thiết lập theo tiêu chuẩn đánh giá độ êm dịu ISO 2631 (1997).

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH DAO ĐỘNG TOÀN MÁY

### 2.1. Mô hình dao động toàn máy

Trên cơ sở phân tích đặc tính động lực học, mô hình dao động không gian của hệ thống đệm cách ly dao động cao su truyền thống được thiết lập để làm cơ sở cho việc phân tích và tối ưu các thông số thiết kế, được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Một mô hình dao động không gian với 7 bậc tự của máy xúc lật



Các ký hiệu được sử dụng trong Hình 1 được quy ước như sau. Các khối lượng của hệ gồm khối lượng ghế người điều khiển, cabin và thân xe, tương ứng ký hiệu là  $m_s, m_c, m_b$ ; Mô men quán tính của cabin và thân xe theo các phương  $x$  và  $y$  được ký hiệu lần lượt là  $I_{cx}, I_{bx}$  và  $I_{cy}, I_{by}$ ; Đặc tính đàn hồi và giảm chấn của hệ thống treo ghế, hệ thống đệm cách dao động cabin và lớp xe được biểu diễn thông qua các tham số độ cứng  $k_s, k_{ci}, k_{ti}$  và các hệ số cản tương ứng  $c_s, c_{ci}, c_{ti}$ ; Đối với các xy lanh điều khiển nghiêng và nâng gầu xúc ở hai bên, độ cứng và hệ số cản tương đương được ký hiệu là  $k_{gl,2}, k_{pl,2}$  và  $c_{gl,2}, c_{pl,2}$  với các lực tác dụng tương ứng là  $F_{gl,2}$  và  $F_{pl,2}$ ; Các chuyển vị theo phương thẳng đứng của ghế người điều khiển, cabin và thân xe lần lượt được ký hiệu là  $z_s, z_c, z_b$ ; Các góc lắc dọc và lắc ngang của cabin và thân xe được mô tả thông qua các biến  $\phi_c, \phi_b$  và  $\theta_c, \theta_b$ ; Kích thích mặt đường tại các bánh xe được ký hiệu là  $q_i$ ; trong khi các khoảng cách hình học trong mô hình được ký hiệu bởi  $l_j$ , với  $i=1-4$  và  $j=1-10$ .

Chuyển động của các vật trong cơ hệ có thể được mô tả thông qua nhiều cách tiếp cận khác nhau, bao gồm phương trình Lagrange loại II, nguyên lý D'Alembert, nguyên lý Jourdain hoặc phương pháp Newton–Euler. Trong nghiên cứu này, nhằm thuận lợi cho việc mô phỏng số và xác định các thông số thiết kế bằng máy tính, nguyên lý D'Alembert được áp dụng trên cơ sở lý thuyết hệ nhiều vật để xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả dao động của xe. Trên cơ sở mô hình trình bày ở Hình 1, các phương trình chuyển động của hệ được thiết lập như sau.

Phương trình chuyển động của ghế người điều khiển

$$m_s \ddot{z}_s = -F_s \quad (1)$$

Các phương trình chuyển động của cabin

$$m_c \ddot{z}_c = F_s - \sum_{i=1}^4 F_{ci} \quad (2)$$

$$I_{cy} \ddot{\phi}_c = \sum_{i=1}^2 F_{ci} l_{i6} - \sum_{i=3}^4 F_{ci} l_{i7} - F_s l_8 \quad (3)$$

$$I_{cx} \ddot{\theta}_c = (F_{c2} + F_{c4}) l_{12} - (F_{c1} + F_{c2}) l_{11} - F_s l_{13} \quad (4)$$

Các phương trình chuyển động của thân xe



$$m_b \ddot{z}_b = \sum_{i=1}^4 F_{ci} - \sum_{i=1}^4 F_{ti} + \sum_{i=1}^2 F_{gi} \sin \alpha + \sum_{i=1}^2 F_{pi} \sin \beta \quad (5)$$

$$I_{by} \ddot{\phi}_b = \sum_{i=1}^2 F_{ti} l_2 - \sum_{i=3}^4 F_{ti} l_1 - \sum_{i=1}^2 F_{ci} l_5 - \sum_{i=3}^4 F_{ci} (l_5 - l_6) - \sum_{i=1}^2 F_{gi} l_4 \sin \alpha - \sum_{i=1}^2 F_{pi} l_3 \sin \beta \quad (6)$$

$$I_{bx} \ddot{\theta}_b = (F_{t2} + F_{t4}) l_{10} - (F_{t1} + F_{t3}) l_9 + (F_{c1} + F_{c3}) l_{12} - (F_{c2} + F_{c4}) l_{11} - (F_{g2} \sin \alpha + F_{p2} \sin \beta) l_{15} + (F_{g1} \sin \alpha + F_{p1} \sin \beta) l_{14} \quad (7)$$

Mấp mô mặt nền đường: Mấp mô mặt đường có thể được biểu diễn theo nhiều cách khác nhau, từ các hàm xác định đến các mô hình ngẫu nhiên. Trong nghiên cứu này, đặc tính mấp mô của mặt đường được mô tả theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016 [11]. Theo tiêu chuẩn này, mấp mô mặt đường được đặc trưng bởi mật độ phổ công suất  $S_q(n_0)$ , được xác định thông qua quan hệ thực nghiệm sau [12]:

$$S_q(n) = S_q(n_0) \left( \frac{n}{n_0} \right)^{-\omega} \quad (8)$$

trong đó  $n$  là tần số sóng của mặt đường (chu kỳ/m),  $n_0$  là tần số chuẩn (chu kỳ/m),  $S_q(n)$  biểu thị mật độ phổ chiều cao của mấp mô mặt đường ( $m^3/\text{chu kỳ}$ ), còn  $S_q(n_0)$  giá trị mật độ phổ tại tần số chuẩn. Tham số  $\omega$  là số mũ đặc trưng của phổ mấp mô, thường nhận giá trị bằng 2.

Quá trình mấp mô mặt đường ngẫu nhiên được giả thiết tuân theo phân bố Gauss và được tổng hợp bằng phương pháp Fourier ngẫu nhiên ngược, với biểu thức:

$$q(t) = \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{2vn_0^2 S_q(n_0)}{f_{mid,i}^2}} \Delta f \cos(2\pi f_{mid,i} t + \varphi_i) \quad (9)$$

trong đó  $f_{mid,i} = f_l + \frac{2i-1}{2} \Delta f$  với  $i=1,2,3\dots n$  và  $\varphi_i$  là các pha ngẫu nhiên phân bố đều trong khoảng từ 0 đến  $2\pi$ .

### 3. THIẾT KẾ TỐI ƯU DI TRUYỀN

Có nhiều thuật toán tối ưu được sử dụng để tìm thông số thiết kế tối ưu của hệ thống đệm cách ly dao động cabin, như thuật toán di truyền (GA) [13], [14], [16], [17], cùng với các biến thể tối ưu đa mục tiêu của nó như NSGA-II (Nondominated Sorting



Genetic Algorithm II) [15], thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO), cùng với các biến thể tối ưu đa mục tiêu của nó như thuật toán MOPSO, (Multi-objective Particle Swarm Optimization, Algorithm) [18], thậm chí thuật toán bầy cá nhân tạo cải tiến IAFSA (Improved Artificial Fish Swarm Algorithm) [19]. Trong bài báo này, mô hình dao động của máy xúc lật được xem mô hình tuyến tính, do vậy GA được lựa chọn sử dụng để tìm các thông số thiết kế tối ưu. Thuật toán di truyền (GA) bắt nguồn từ các nguyên lý tiến hóa sinh học tự nhiên, được xây dựng dựa trên thuyết tiến hóa của Darwin (1809–1882), bao gồm chọn lọc, lai ghép và đột biến. Trong thuật toán di truyền, việc tạo ra nghiệm mới được thực hiện thông qua các toán tử nhất định. Các toán tử này vận hành theo cách mà chi phí tạo ra nghiệm mới (con) thấp hơn chi phí của các nghiệm hiện có (cha/mẹ). Một thuật toán GA đơn giản gồm ba toán tử cơ bản: tái tạo, lai ghép, và đột biến. Thuật toán di truyền được xây dựng dựa trên các toán tử cơ bản như tái tạo, lai ghép và đột biến. Quá trình tối ưu bắt đầu bằng việc khởi tạo ngẫu nhiên một quần thể ban đầu, sau đó các thế hệ mới được hình thành một cách tuần tự. Ở mỗi thế hệ, các cá thể được đánh giá thông qua giá trị hàm thích nghi, đồng thời các giá trị này được chuẩn hóa để phục vụ cho quá trình so sánh và lựa chọn. Trên cơ sở đó, các cá thể có mức thích nghi cao hơn sẽ có xác suất được chọn làm cha mẹ lớn hơn. Cơ chế chọn lọc tinh hoa được áp dụng nhằm bảo toàn một số cá thể tốt nhất và chuyển trực tiếp sang thế hệ tiếp theo. Các cá thể mới được tạo ra thông qua các toán tử lai ghép và đột biến, và quần thể hiện tại sẽ được thay thế bởi quần thể con tương ứng. Quá trình lặp tiếp tục cho đến khi điều kiện dừng đã xác định được thỏa mãn.

Trong nghiên cứu này, ba đại lượng phản ánh mức độ dao động được sử dụng làm hàm mục tiêu, bao gồm gia tốc bình phương trung bình theo phương thẳng đứng của ghế người điều khiển ( $a_{ws}$ ), cùng với gia tốc bình phương trung bình của góc lắc dọc và lắc ngang của cabin ( $a_{w\phi}$  và  $a_{w\psi}$ ). Các hàm mục tiêu này được xác định theo công thức (10).

Theo tiêu chuẩn ISO 2631-1:1997 [20], gia tốc bình phương trung bình được tính toán dựa trên biểu thức.

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a(t) dt \right]^2 \quad (10)$$

trong đó:  $a_w$  là giá trị gia tốc bình phương trung bình,  $m/s^2$ ;  $a(t)$  là biểu thị gia tốc theo thời gian,  $m/s^2$  và  $T$  là thời gian khảo sát, s.

Hàm mục tiêu

$$F(X) = w_1 a_{ws} + w_2 a_{wphi} + w_3 a_{wcteta} \rightarrow \min \quad (11)$$

trong đó,  $X = [k_{ci}, c_{ci}]$  là vector biến thiết kế;  $a_{ws}$ ,  $a_{wphi}$  và  $a_{wcteta}$  là các hàm mục tiêu,  $w_1, w_2, w_3$  là hệ số trọng số ( $w_1=0.4, w_2=0.3, w_3=0.3$ ).

Ràng buộc biến thiết kế:

$$s.t. \begin{cases} \Delta z_c = (z_{ci} - z_{bi}) \leq \Delta z_{c \max} \\ 0.7k_{ci0} \leq k_{ci} \leq 1.3k_{ci0} \\ 1.2c_{ci0} \leq c_{ci} \leq 2.4c_{ci0} \end{cases} \quad (12)$$

trong điều kiện ràng buộc trên,  $\Delta z_c$  biểu thị chuyển vị tương đối giữa cabin và khung máy, trong khi  $\Delta z_{c \max}$  là giá trị chuyển vị tương đối lớn nhất cho phép giữa cabin và khung, với  $\Delta z_{c \max} = 0.005m$ . Các tham số  $k_{ci0}$  và  $c_{ci0}$  tương ứng là độ cứng và hệ số cản của đệm cách ly dao động cao su cabin máy xúc lật nguyên bản.

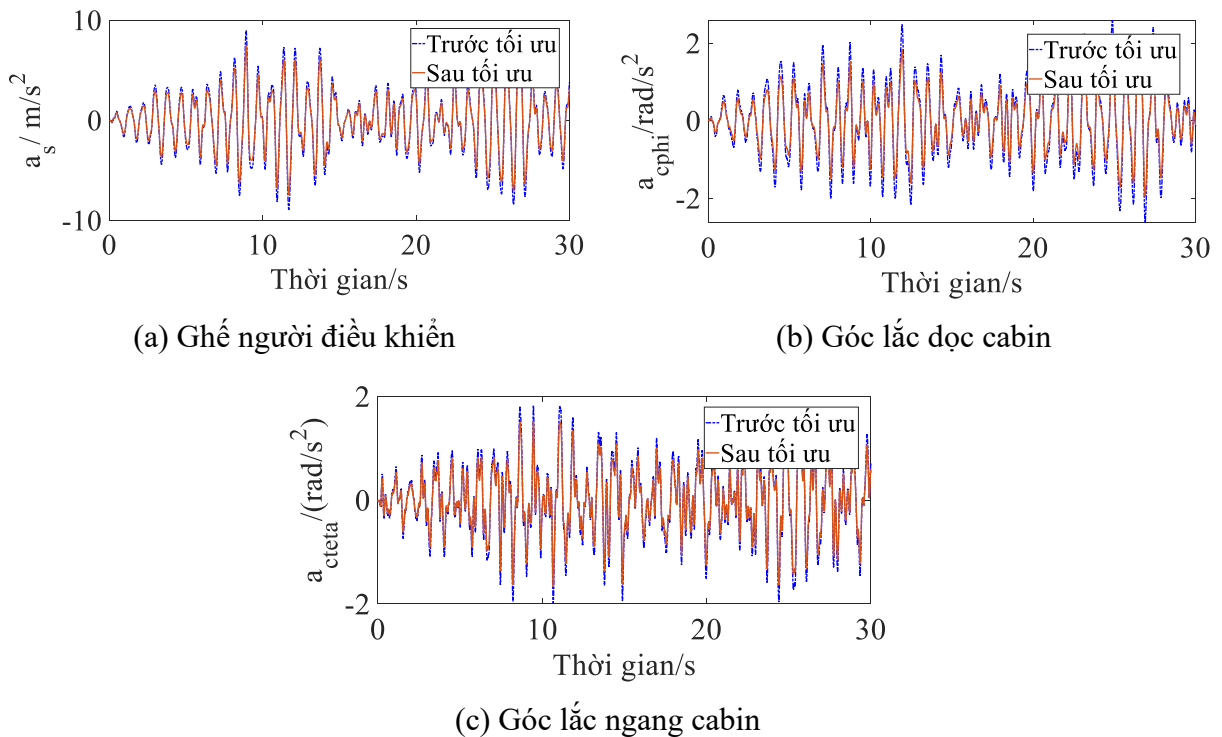
#### 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để tìm ra một bộ thông số thiết kế tối ưu của hệ thống đệm cách ly dao động cabin máy xúc lật, Matlab/simulink được sử dụng để mô phỏng và tìm ra với bộ thông số tham khảo [21] khi máy di chuyển trên mặt nền công trường xấu ISO cấp E, vận tốc  $v=5km/h$  và trạng thái đầy tải. Thuật toán di truyền (GA) được triển khai với kích thước quần thể là 100 cá thể, xác suất lai ghép bằng 0,1 và xác suất đột biến bằng 0,7. Chương trình GA được lập trình trong môi trường Matlab và liên kết với mô hình động lực học trong Simulink, trong đó giá trị hàm mục tiêu của toàn bộ quần thể được tính toán để cập nhật các thông số thiết kế qua từng thế hệ. Các bộ thông số tối ưu thu được từ GA được so sánh với bộ thông số thiết kế ban đầu của hệ thống đệm cách dao động cabin, và các kết quả tương ứng được trình bày trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Thông số thiết kế của đệm cách ly dao động cabin trước và sau tối ưu.

Thông số	Nguyên bản	Tối ưu	Tăng/giảm (%)
$k_{ci}$ (N/m)	19335	16500	-14,66
$c_{ci}$ (Ns/m)	1350	1560	+15,56

Để phân tích mức độ cải thiện độ êm dịu của hệ thống đệm cách ly dao động cabin sau quá trình tối ưu, các gia tốc phản ứng trong miền thời gian theo phương thẳng đứng của ghế người điều khiển ( $a_s$ ) cũng như các gia tốc góc lắc dọc và lắc ngang của cabin ( $a_{cphi}$  và  $a_{cteta}$ ) được thể hiện trong Hình 2. Kết quả cho thấy, khi áp dụng bộ thông số thiết kế tối ưu, biên độ gia tốc đặc trưng của các đáp ứng đều có xu hướng giảm so với cấu hình ban đầu của hệ thống đệm cách ly cabin, trong điều kiện máy làm việc trên mặt đường xấu cấp ISO E, với vận tốc 5 km/h và trạng thái đầy tải. Những kết quả này khẳng định hiệu quả của quá trình tối ưu trong việc cải thiện đáng kể độ êm dịu chuyển động của máy xúc lật trong điều kiện kích thích ngẫu nhiên biên độ lớn và tần số kính thích thấp.



**Hình 2.** Gia tốc phản ứng theo thời gian trước và sau tối ưu

Dựa trên kết quả thể hiện trong Hình 2, các giá trị gia tốc đặc trưng  $a_{ws}$ ,  $a_{wcphi}$  và  $a_{wcteta}$  được xác định và tổng hợp trong Bảng 2. Kết quả phân tích cho thấy, khi áp



dụng bộ thông số thiết kế sau tối ưu, các đại lượng  $a_{ws}$ ,  $a_{w\phi}$  và  $a_{w\tau}$  lần lượt giảm 13,57%, 24,02% và 12,56% so với cấu hình ban đầu của máy trong điều kiện làm việc trên mặt đường xấu cấp ISO E, với vận tốc 5 km/h và trạng thái đầy tải. Sự suy giảm rõ rệt của các chỉ tiêu dao động này cho thấy bộ thông số tối ưu của hệ thống đệm cách ly cabin đã góp phần cải thiện đáng kể mức độ êm dịu vận hành của máy xúc lật. Tuy nhiên, trong thiết kế đệm cao su truyền thống, việc đạt được hệ số giảm chấn lớn vẫn gặp nhiều thách thức cho nhà thiết kế do đặc tính nội ma sát của vật liệu cao su thấp.

**Bảng 2.** Các giá trị  $a_{ws}$ ,  $a_{w\phi}$  và  $a_{w\tau}$  trước và sau khi tối ưu

Giá trị	$a_{ws}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{w\phi}$ (rad/s <sup>2</sup> )	$a_{w\tau}$ (rad/s <sup>2</sup> )
Trước tối ưu	2,6651	0,6979	0,5767
Sau tối ưu	2,3035	0,5302	0,5049
Giảm %	13,57	24,02	12,56

## 5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, một mô hình dao động không gian với 07 bậc tự do của máy xúc lật đã được xây dựng nhằm mô phỏng đáp ứng động lực học của hệ thống dưới tác động kích thích ngẫu nhiên từ mặt đường xấu, đặc trưng bởi biên độ mấp mô lớn và miền tần số kích thích thấp. Trên cơ sở mô hình đề xuất, thuật toán di truyền được áp dụng kết hợp với cách tiếp cận tối ưu đa mục tiêu có trọng số để xác định bộ thông số thiết kế tối ưu cho hệ thống đệm cách ly dao động cabin. Các hàm mục tiêu được lựa chọn dựa trên gia tốc bình phương trung bình theo phương thẳng đứng của ghế người điều khiển, cùng với các gia tốc góc lắc dọc và lắc ngang của cabin. Kết quả phân tích cho thấy, khi áp dụng bộ thông số thiết kế thu được từ quá trình tối ưu, các chỉ tiêu đáp ứng  $a_{ws}$ ,  $a_{w\phi}$  và  $a_{w\tau}$  lần lượt giảm 13,57%, 24,02% và 12,56% so với thông số của hệ thống nguyên bản dưới điều kiện máy hoạt động trên mặt đường xấu cấp ISO E, với vận tốc 5 km/h và trạng thái đầy tải, điều đó đã cải thiện đáng kể độ êm dịu của máy xúc lật. Kết quả nghiên cứu này góp phần tạo cơ sở lý thuyết cho việc cải tiến hệ thống đệm cách ly dao động cabin máy xây dựng, đồng thời kết quả là cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm nâng cao độ êm dịu hoạt động của máy xây dựng. Các kết quả đạt được không chỉ góp phần làm rõ cơ sở lý thuyết cho việc phân tích và tối ưu hệ thống đệm cách ly dao động cabin trên máy xây dựng, mà còn cung cấp nền tảng tham khảo hữu ích cho các nghiên cứu tiếp theo hướng tới cải thiện chất lượng làm



việc và sự thoải mái của người điều khiển trong điều kiện khai thác thực tế khắc nghiệt.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hostens, I. and Ramon, H. (2003). Descriptive analysis of combine cabin vibrations and their effect on the human body, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 266, No. 3, pp. 453–464. [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(03\)00578-9](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(03)00578-9).
- [2] Le Van Quynh, Zhang Jianrun, Liu Xiaobo, Wang Yuan, Thoan, P.V. (2013). Ride comfort evaluation of vibratory roller under different soil ground, *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, Vol. 29, No. 9, pp. 39–47.
- [3] Le Van Quynh and Vi Thi Phuong Thao (2019). Study on Influence of Design Parameters of Drum’s Metal Rubber Isolation System of Tandem Vibratory Roller on Ride Comfort, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol. 6, No. 6, pp. 1347–1354.
- [4] Vu Ngoc Quynh, Canh Chi Huan, Nguyen Tien Han (2025). Effect of Design Parameters of Cab’s Isolation System on a Wheel Loader Ride Comfort, *World Journal of Research and Review (WJRR)*, Vol. 20, No. 5, pp. 01–04. DOI: <https://doi.org/10.31871/WJRR.20.5.3>.
- [5] Huan, C.C., Ha, D.V., Vu, L.A., Thoan, T.V., Quynh, L.V. (2023). Ride comfort evaluation for a wheel loader with cab’s hydraulic isolation system. *Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 602, Springer, Cham. [doi:10.1007/978-3-031-22200-9\\_89](https://doi.org/10.1007/978-3-031-22200-9_89).
- [6] C. C. Huan, B. V. Cuong, L. V. Quynh, N. T. Han, and N. T. T. Hang, (2025). Enhanced ride comfort of wheel loaders using liquid-filled cab vibration isolation: a full-vehicle nonlinear dynamic model. *Vibroengineering Procedia*, Vol. 59, pp. 139–146, Sep. 2025, <https://doi.org/10.21595/vp.2025.25237>.
- [7] Quynh, L. V., Zhang, J. R., Jiao, G. W., Liu, X. B., & Wang, Y. (2011). Vibration Analysis and Optimal Design for Cab’s Isolation System of Vibratory Roller. *Advanced Materials Research*, 199–200, 936–940. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.199-200.936>.
- [8] L. V. Quynh, Z. Jianrun, N. V. Liem, B. V. Cuong, L. X. Long, and D. T. Phuong, (2020). Experimental modal analysis and optimal design of cab’s isolation system for

<https://doi.org/10.65153/r6w43710>



a single drum vibratory roller. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 31, pp. 52–56, May 2020, <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21325>.

[9] Le Van Quynh, Dang Viet Ha, Bui Van Cuong, Le Anh Vu, and Tran Van Thoan (2021). Improvement of Ride Comfort Quality for an Earth-Moving Machinery with Semi-Active Cab Isolation System, *E3S Web of Conferences*, Vol. 304, pp. 02012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130402012>.

[10] Hoang Anh Tan, Bui Van Cuong, Nguyen Dinh Tan, Nguyen Minh Chau, and Canh Chi Huan, (2023). Improvement of ride quality for a wheel loader with semi-active cab isolation system via fuzzy self tuning of PID controller. *JMST*, no. FEE, pp. 197–203, <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2023.197-203>.

[11] ISO 8068 (2016). Mechanical Vibration-Road Surface Profiles-Reporting of Measured Data. International Organization for Standardization, 2016.

[12] Dodds C J, Robson J D., (1973). The description of road surface roughness. *Journal of Sound and Vibration*, 1973, Vol.31(2), p. 175–183.

[13] N. V. Tuan, et al. (2020). Optimal design parameters of air suspension systems for semi-trailer truck. Part 1: modeling and algorithm. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 33, pp. 72–77, (2020), <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21562>.

[14] N. V. Tuan, et al., (2020). Optimal design parameters of air suspension systems for semi-trailer truck. Part 2: results and discussion. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 33, pp. 147–152, (2020), <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21563>.

[15] Le, V.Q., Nguyen, K.T., 2018. Optimal Design Parameters of Cab's Isolation System for Vibratory Roller Using a Multi-Objective Genetic Algorithm. *AMM* 875, 105–112. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.875.105>.

[16] L. V. Quynh, V. T. P. Thao, and T. T. Phong, (2020). Optimal design parameters of drum's isolation system for a double-drum vibratory roller. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 31, pp. 74–79, <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21445>.

[17] Van Quynh, L., Duy, N.T., Van Liem, N., Van Cuong, B., Long, L.X. (2021). Optimal Design of Cab's Isolation System for a Single-Drum Vibratory Roller. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 178. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64719-3\\_68](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64719-3_68).



- [18] Yao Yuru, Bi Fengrong, Jing Yabing, Qi Bin, Tian Sailong, Tian Congfeng (2017). Co-simulation of Cab Mounting System Optimization using MOPSO Algorithm. *Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering*, 2017, 36(4): 610-615. DOI: [10.13433/j.cnki.1003-8728.2017.0419](https://doi.org/10.13433/j.cnki.1003-8728.2017.0419).
- [19] Nguyen Tien Dung, Bui Van Cuong, Le Van Quynh, & Hoang Anh Tan, (2024). Optimization of electric vehicle suspension parameters using improved artificial fish swarm algorithm. *Journal of Military Science and Technology*, (FEE), 191–197. <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2024.191-197>.
- [20] ISO 2631-1 (1997). Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part I: General requirements, The International Organization for Standardization.
- [21]. Cảnh Chí Huân (2020). Nghiên cứu nâng cao hiệu quả đệm cách dao động cabin máy xây dựng. Đề tài cấp cơ sở, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên.