

TẠP CHÍ

GIAO THÔNG

ISSN 2354-0818

CƠ QUAN THÔNG TIN CỦA BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI

THÁNG 03/2023 (NĂM THỨ 64) | tapchigiaothong.vn | e-ISSN 2615-9751

vận tải

**NỖ LỰC CHẤN CHỈNH
CÔNG TÁC ĐĂNG KÝ
SAU SỰ CỐ**



Phân tích đặc trưng ngẫu nhiên dao động bộ máy với nhiều tham số ngẫu nhiên bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo

■ **TS. NGUYỄN VĂN THUẬN**^(*)

Trường Đại học Nha Trang

■ **KS. NGUYỄN DUY BÌNH**

Trường Trung cấp nghề Diên Khánh

Email:^(*)thuannv@ntu.edu.vn

TÓM TẮT: Phân tích bộ dao động bộ máy với nhiều biến ngẫu nhiên đã và đang là chủ đề nghiên cứu được quan tâm trong nhiều năm qua bởi vì nó có vai trò qua trọng trong việc giảm rung động, an toàn và toàn bộ tính năng hoạt động của động cơ. Nghiên cứu này phân tích đặc trưng ngẫu nhiên tần số dao động của mô hình bộ mát bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Phương trình dao động của mô hình bộ máy với sáu bậc tự do được thiết lập bằng cách sử dụng phương trình Lagrange. Mô hình bốn bậc tự do được sử dụng để nghiên cứu ứng xử dao động tự do của bộ máy với nhiều biến ngẫu nhiên. Độ cứng và khối lượng được giả thiết theo biến ngẫu nhiên Gaussian. Giá trị trung bình và phương sai của các tần số riêng thu được của phương trình dao động tự do có chứa biến ngẫu nhiên trong ma trận khối lượng và ma trận độ cứng của hệ. Phân tích ngẫu nhiên dao động cũng sử dụng phương pháp mô phỏng Monte Carlo (MCS) với nhiều biến ngẫu nhiên.

TỪ KHÓA: Tần số riêng, ngẫu nhiên, mô phỏng Monte Carlo, bộ máy.

ABSTRACT: Block foundations dynamic analysis with random parameters has been a hot research topic for many years because of its important role in reduce vibration, safety, and overall engine performance. This study deal with the response variability in the natural frequency of block foundation by Monte Carlo simulation approach. The governing equations for the natural frequency of foundation blocks are derived from Lagrange equations. A six degree of freedom a foundation block model is used to study the vibration response of foundation block with uncertain parameters. The randomness in mass density and stiffness of springs are assumed to be a Gaussian random variables. Mass matrix and stiffness matrix can be simulated with respect to the mean of the system random variables. The stochastic analysis of foundation blocks vibration is performed in Monte Carlo simulation (MCS) with uncertain in multiple parameters.

KEYWORDS: Natural frequencies, random, Monte Carlo simulation, block foundations.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

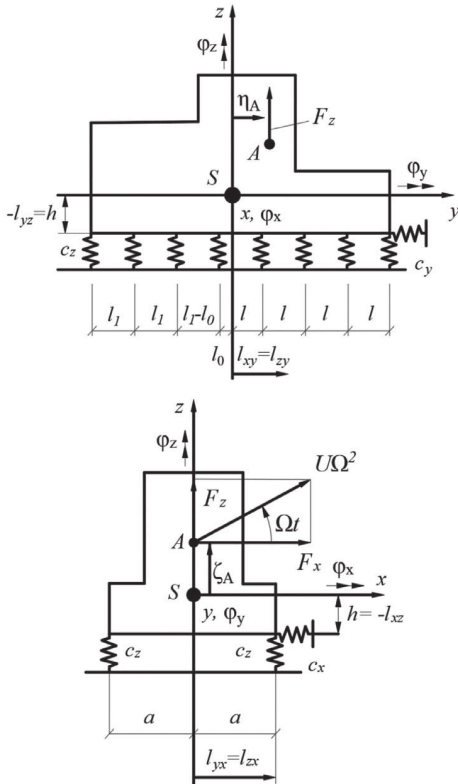
Bộ máy có công dụng giúp thiết bị máy, động cơ đốt trong... làm việc êm dịu, giảm rung động, từ đó làm tăng tuổi thọ của các chi tiết trong động cơ. Tuy nhiên, quá trình chế tạo bộ máy không thể tránh khỏi những lỗi liên quan đến vật liệu, điều này sẽ ảnh hưởng đến cơ tính của hệ thống. Nghiên cứu sự thay đổi của dao động bộ máy bằng việc giả thiết sự không chắc chắn của các biến đầu vào nhằm dự đoán sự sai lệch của tần số dao động riêng là hết sức cần thiết. Hiện chủ đề nghiên cứu trên nhận được sự quan tâm của nhiều tác giả trong nước và ngoài nước. Nghiên cứu của tác giả Nguyễn Văn Đạt đã giới thiệu phương pháp tính tần số dao động riêng cụm bộ máy đặt trên tàu vỏ composite [1]. Tính toán giảm rung động của bộ máy động cơ đốt trong với việc khảo sát xác định tần số và biên độ dao động được đề cập trong công trình của Hoàn Văn Thành [2]. Tác giả Vishal Shankar Chavan và cộng sự đã phân tích tần số dao động bộ máy của máy phát điện động cơ diesel [3]. Nghiên cứu tần số dao động nền đàn hồi bằng việc sử dụng phương pháp lý thuyết và thực nghiệm được thể hiện trong các nghiên cứu của tác giả Nguyễn Hữu Hưng và Đỗ Xuân Quý [4, 5]. Tuy nhiên, tất cả các nghiên cứu trên đều tính toán tần số dao động với bài toán tiền định, việc giả thiết các thông số tính toán là không chắc chắn thì chưa được đề cập. Việc tính toán dao động với các thông số đầu vào ngẫu nhiên giúp góp phần dự đoán sự thay đổi của tần số dao động trong thực tế. Theo hướng này, nhóm tác Nguyễn Văn Thuận và Tạ Duy Hiến đã sử dụng các phương pháp phi thống kê, phương pháp mô phỏng Monte Carlo để phân tích đặc trưng ngẫu nhiên của tần số dao động riêng của ô tô với nhiều tham

số ngẫu nhiên [6]. Tác giả Gaurav cùng cộng sự sử dụng phương pháp Chaos trong phân tích ngẫu nhiên dao động ô tô với nhiều tham số vật liệu là không chắc chắn [7]. Nghiên cứu của nhóm tác giả Dahlberg và Narayanan cũng đã đề cập đến dao động ngẫu nhiên của ô tô cho mô hình hai bậc tự do với các tham số ngẫu nhiên liên quan đến mặt đường và vật liệu của hệ thống treo [8, 9]. Những công trình nghiên cứu trên cho thấy chủ đề ngẫu nhiên dao động đã và đang được các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước quan tâm. Mặc dù vậy, số lượng nghiên cứu ngẫu nhiên dao động của bộ máy với các thông số ngẫu nhiên còn chưa được quan tâm nhiều.

2. XÂY DỰNG CÔNG THỨC TÍNH TOÁN NGẪU NHIÊN DAO ĐỘNG CỦA MÔ HÌNH BỆ MÁY

2.1. Phương trình dao động của mô hình bộ máy

Nghiên cứu này, nhóm tác giả thiết lập tính toán dao động bộ máy với động cơ đặt trên trong mặt phẳng, mô hình giả thiết với các thông số và hệ tọa độ được giới thiệu như Hình 2.1. Trong đó, khối lượng động cơ (m); mô-men quán tính đối với trục qua trọng tâm $S(J_{xx}, J_{yy}, J_{zz})$ và độ cứng của lò xo theo các trục tọa độ là c_x, c_y và c_z .



Hình 2.1: Mô hình bộ máy giả định

Từ mô hình dao động bộ máy giả thiết, xây dựng biểu thức động năng và thế năng của hệ:

$$K = \frac{1}{2} m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) + \frac{1}{2} J_{xx} \dot{\varphi}_x^2 + \frac{1}{2} J_{yy} \dot{\varphi}_y^2 + \frac{1}{2} J_{zz} \dot{\varphi}_z^2 \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{2} \sum c_x (x + \varphi_x l_{xz} - \varphi_z l_{xy})^2 + \frac{1}{2} \sum c_y (y - \varphi_y l_{yz} + \varphi_z l_{yx})^2 + \frac{1}{2} \sum c_z (z + \varphi_x l_{zy} - \varphi_y l_{zx})^2 \quad (2)$$

Sử dụng phương trình Lagrange ta tìm được phương

trình dao động:

$$M\ddot{q} + Cq = 0 \quad (3)$$

Trong đó: $q = [x \ y \ z \ \varphi_x \ \varphi_y \ \varphi_z]$

Ma trận khối lượng:

$$M = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_{zz} \end{bmatrix}$$

Ma trận khối lượng:

$$C = \begin{bmatrix} 16c_x & 0 & 0 & 0 & -16c_x h & 0 \\ 0 & 16c_y & 0 & 16c_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 16c_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 16c_y & 0 & 132l^2 c_z + 16c_y h^2 & 0 & 0 \\ -16c_x & 0 & 0 & 0 & 16(c_x h^2 + c_x a^2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 132l^2 c_x + 16a^2 c_y \end{bmatrix}$$

Tần số dao động bộ máy sẽ được xác định bằng cách giải phương trình đặc trưng để xác định trị riêng.

$$\det([C] - \lambda[M]) = 0 \quad (4)$$

Giải phương trình (4) ta thu được tần số dao động riêng:

$$f_i = \frac{\sqrt{\lambda_i}}{2\pi}$$

Trong nghiên cứu này, phương trình (4) là phương trình chứa các biến ngẫu nhiên nên việc giải sẽ gặp nhiều khó khăn, phần tiếp theo sẽ trình bày cách giải phương trình này.

2.2. Tính toán đặc trưng ngẫu nhiên tần số dao động riêng bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo

Thực tế, tham số đầu vào của hệ sẽ có các sai số nhất định do quá trình chế tạo cũng như sai lệch về khi đo các thông số này. Khi có số liệu thống kê đủ lớn thì chúng ta có thể tính toán hồi quy đưa ra quy luật ngẫu nhiên gần đúng của các thông số đầu vào. Nghiên cứu này khi chưa có số liệu thống kê thì độ cứng của lò xo, khối lượng, mô-men quán tính giả thiết là các biến ngẫu nhiên biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} c_x &= c_{x0} (1 + \sigma_1 r_1) \\ c_y &= c_{y0} (1 + \sigma_2 r_2) \\ c_z &= c_{z0} (1 + \sigma_3 r_3) \\ m &= m_0 (1 + \sigma_4 r_4) \\ J_{xx} &= J_{x0} (1 + \sigma_4 r_4) \\ J_{yy} &= J_{y0} (1 + \sigma_4 r_4) \\ J_{zz} &= J_{z0} (1 + \sigma_4 r_4) \end{aligned} \quad (5)$$

Các giá trị trung bình $c_{x0}, c_{y0}, c_{z0}, m_0, J_{x0}, J_{y0}, J_{z0}$. Các biến ngẫu nhiên r_1, r_2, r_3, r_4 có các độ lệch chuẩn là $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$. Với dạng biểu diễn như công thức (5) thì hệ số biến thiên

của các biến ngẫu nhiên độ cứng của lò xo, khối lượng, mô-men quán tính trong công thức chính là $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$. Để tính toán đặc trưng ngẫu nhiên của tần số dao động, chúng ta sử dụng phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Các biến ngẫu nhiên sẽ được mô phỏng với số mẫu 10.000 lần thông qua việc sử dụng phần mềm Matlab. Mỗi một lần mô phỏng, các biến ngẫu nhiên sẽ giải tính được các tần số dao động riêng, từ đó tính toán thống kê được đặc trưng ngẫu nhiên của tần số dao động riêng như giá trị trung bình và độ lệch chuẩn. Sự biến đổi của ngẫu nhiên đặc trưng tần số dao động được đánh giá thông qua công thức hệ số biến thiên (HSBT) như sau:

$$HSBT = \frac{\sqrt{\sigma_f}}{|\mu_f|} \quad (6)$$

Trong đó: μ_f - Giá trị trung bình; σ_f - Độ lệch chuẩn.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

3.1. Số liệu tính toán

Mô hình dao động bộ máy như Hình 2.1 với các giá trị trung bình của các tham số đầu vào được giả thiết trong Bảng 3.1, giá trị sử dụng tính toán tại bảng được tham khảo trong tài liệu về động lực học máy [10].

Bảng 3.1. Số liệu đầu vào tính toán tần số dao động ô tô

Thông số	Giá trị	Đơn vị
m	20.000	kg
$a=h$	1	m
l	0,5	m
$I_0=0,4l$	0,2	m
$I_1=1,6l$	0,8	m
J_{xx}	48.10^3	$kg.m^2$
J_{yy}	14.10^3	$kg.m^2$
J_{zz}	52.10^3	$kg.m^2$
$c_x=c_y=c_H$	$1,5.10^5$	N/m
c_z	3.10^5	N/m
n (số giảm chấn)	16	

3.2. Kết quả tính toán

Để kiểm chứng chương trình tính toán tần số dao động riêng của bộ máy xây dựng bằng phần mềm với bài toán tiền định ứng với các giá trị trung bình của tham số đầu vào. Kết quả tính toán tần số dao động riêng với 6 tần số dao động đầu tiên được thể hiện trong Bảng 3.2. Với kết quả tính toán tần số dao động thu được từ chương trình của nhóm nghiên cứu là hoàn toàn trùng lặp với kết quả trong nghiên cứu của H. Dresig and F. Holzweibig [10].

Bảng 3.2. Tần số dao động tại 6 dạng dao động riêng đầu tiên (Hz)

Dạng dao động riêng	H. Dresig and F. Holzweibig	MCS
1	3,769	3,769
2	2,716	2,716
3	2,466	2,466
4	1,467	1,467
5	1,365	1,365
6	1,892	1,892

Với bài toán động lực học ngẫu nhiên, trong nghiên cứu này sẽ tính toán giá trị trung bình, độ lệch chuẩn của 3 tần số dao động riêng f_1, f_2, f_3 . Các tham số đầu vào tính toán giả định với các trường hợp khác nhau về giá trị biến thiên của tham số đầu vào. Các giá trị của khảo sát được giả định là $\sigma = 0,05; 0,1$ và $0,15$.

Khảo sát sự biến thiên tần số dao động riêng với các giá trị độ lệch chuẩn đầu vào trong trường hợp $\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4$. Bảng 3.3 trình bày kết quả tính toán với độ lệch chuẩn đầu vào (σ) trong tất cả các biến ngẫu nhiên là 0,1 bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo cho ba dạng dao động riêng đầu tiên. Nghiên cứu khảo sát các giá trị trung bình của ba tần số dao động riêng đầu tiên. Kết quả, sai số giá trị trung bình phương pháp mô phỏng Monte Carlo so với tần số dao động riêng của bài toán phân bố từ 0,44% đến 0,81%.

Bảng 3.3. Dạng dao động riêng với độ lệch chuẩn đầu vào = 0,1

Dạng dao động riêng	H. Dresig and F. Holzweibig	MCS	Sai số [%]
1	3,769	3,795	0,68
2	2,716	2,738	0,81
3	2,466	2,477	0,44

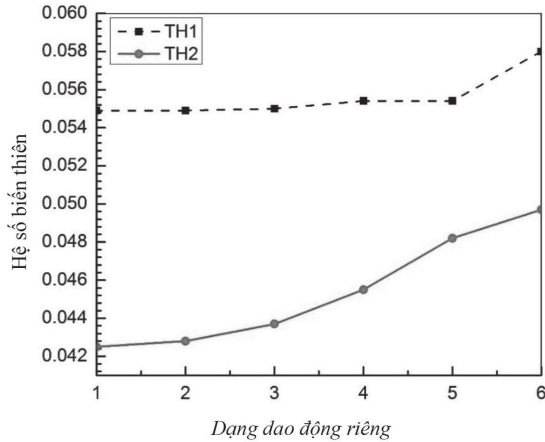
Khảo sát đặc trưng ngẫu nhiên của các tần số dao động riêng với tham số đầu vào của các khối lượng và độ cứng của các lò xo khác nhau trong hai trường hợp:

$$TH1: \begin{cases} \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 0,05 \\ \sigma_4 = 0,1 \end{cases} \quad (7)$$

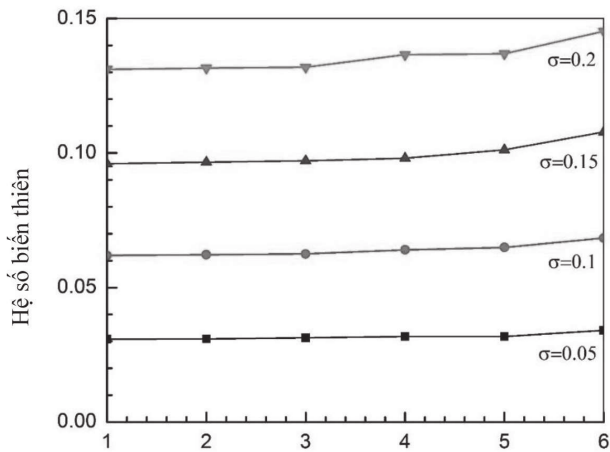
Hình 3.1 trình bày kết quả tính toán của 2 trường hợp với độ lệch chuẩn ban đầu của biến khối lượng và độ cứng được khảo sát là 0,05 và 0,1. Khảo sát sự thay đổi của hệ số biến thiên khi thay đổi độ lệch chuẩn đầu vào của biến khối lượng và độ cứng bằng mô phỏng Monte Carlo. Kết quả trên mô phỏng cho thấy rằng, hệ số biến thiên trong trường hợp 1 cao hơn trường hợp 2. Có thể thấy rằng, xu hướng ảnh hưởng hệ số biến thiên độ cứng đến tần số riêng lớn hơn ảnh hưởng của hệ số biến thiên về khối lượng.

Ứng xử của hệ số biến thiên tần số dao động riêng tại

6 dạng dao động đầu tiên với các giá trị độ lệch chuẩn đầu vào được với kết quả được trình bày trên Hình 3.2. Độ lệch chuẩn đầu vào được giả định lần lượt là $= 0,05; 0,1; 0,15$ và $0,2$. Kết quả nhận được là hệ số biến thiên tần số dao động trong tất cả các trường hợp khảo sát chỉ đạt được từ 55% đến 70% so với giá trị độ lệch chuẩn giả định.



Hình 3.1: Hệ số biến thiên và sự thay đổi độ lệch chuẩn của biến độ cứng và khối lượng



Hình 3.2: Hệ số biến thiên và độ lệch chuẩn

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày nghiên cứu tính toán biến thiên của tần số dao động ngẫu nhiên của mô hình dao động bộ máy khi xét đến các tham số ngẫu nhiên của hệ bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Kết quả nghiên cứu cho thấy tần số dao động riêng của mô hình bộ máy ảnh hưởng bởi các tham số ngẫu nhiên.

Phân tích thể hiện rằng, trong tất cả các trường hợp, hệ số biến thiên của tần số dao động riêng chỉ đạt được gần 70% so với giá trị đầu vào. Điều đó cho thấy xu hướng giảm sự thay đổi của tần số so với các tham số đầu vào. Một kết quả khảo sát trong nghiên cứu cũng cho biết hệ số biến thiên của khối lượng ảnh hưởng nhiều hơn đến hệ số biến thiên của tần số dao động riêng so với hệ số biến thiên của tham số về độ cứng.

Tài liệu tham khảo

[1]. N. V. Đạt (2004), *Tính tần số dao động riêng cụm kết cấu bộ máy - đáy tàu vỏ composite*, Tuyển tập công trình Hội nghị Khoa học Toàn quốc Cơ học vật rắn biến dạng lần thứ 7.

[2]. H. V. Thành (2005), *Nghiên cứu khả năng giảm rung của động cơ đốt trong trên bộ máy*, Luận văn Thạc sĩ.

[3]. V. S. Chavan, R. Askhedkar and S. B. Sanap (2013), *Analysis of anti-vibration mounts for vibration isolation in Diesel engine generator Set*, Int. J. Eng. Res. Appl., vol.3, no.3, pp.1423-1428.

[4]. Đ. M. Hùng và N. H. Hưng (2019), *Xác định tham số dao động của dầm bằng phương pháp Rayleigh*, tập 70, số 04, tr.320-329.

[5]. Đ. X. Quý, L. X. Bình, H. V. Tuấn, T. T. Hiền and V. T. Nga (2020), *Xác định miền tần số dao động tự do của dầm có liên kết dệ hướng bằng phương pháp thực nghiệm*, Tạp chí Khoa học GTVT, tập 71, số 05, tr.514-525.

[6]. Nguyễn Văn Thuận và Tạ Duy Hiền (2021), *Phân tích đặc trưng ngẫu nhiên của tần số dao động riêng của ô tô với nhiễu tham số ngẫu nhiên*, Tạp chí Khoa học GTVT, tập 72, số 02, tr.215-226.

[7]. G. Kewlani, J. Crawford and K. Iagnemma (May 2012), *A polynomial chaos approach to the analysis of vehicle dynamics under uncertainty*, Veh. Syst. Dyn. - VEH SYST DYN, vol.50, pp.1-26, doi: 10.1080/00423114.2011.639897.

[8]. T. Dahlberg (May 1978), *Ride comfort and road holding of A 2-DOF vehicle travelling on a randomly profiled road*, J. Sound Vib., vol.58, pp.179-187.

[9]. S. Narayanan and S. Senthil (Apr. 1998), *Stochastic optimal active control of a 2-DOF quarter car model with non-linear passive suspension elements*, J. Sound Vib., vol.211, pp.495-506.

[10]. H. Dresig and F. Holzweißig (2010), *Dynamics of Machinery: Theory and Applications*, Springer.

Ngày nhận bài: 10/01/2023

Ngày chấp nhận đăng: 22/01/2023

Người phản biện: TS. Nguyễn Hữu Thật

TS. Huỳnh Lê Hồng Thái