

Phân tích dao động xe buýt có hệ thống treo khí nén dưới tác dụng mặt đường ngẫu nhiên

Trần Hữu Nhân*



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Mô hình động lực học dạng $\frac{1}{4}$ ô tô được sử dụng để phân tích dao động dưới tác dụng của mặt đường ngẫu nhiên với các cấp độ mặt đường khác nhau. Mô hình toán học mô tả mấp mô mặt đường được sử dụng cho phép thay đổi chủng loại mặt đường khảo sát bằng cách chọn lựa thông số mật độ phổ công suất tương ứng của cấp đường theo tiêu chuẩn ISO 8608. Các mấp mô mặt đường ngẫu nhiên được khảo sát trong miền tần số từ 0 đến 50(Hz). Thông số độ cứng bộ phận đàn hồi khí nén và hệ số giảm chấn của bộ phận giảm chấn được xác định trên cơ sở tham khảo thông số xe thực tế được thiết kế và chế tạo. Biên độ biến thiên chuyển vị tương đối hệ thống treo trong miền khảo sát là nhỏ, độ cứng bộ phận đàn hồi được sử dụng trong tính toán là hằng số không đổi. Các kết quả tính toán thu được tương ứng với các cấp độ mấp mô mặt đường khác nhau bao gồm thông số về chuyển vị và gia tốc. Chuyển vị tương đối là thông số giúp đánh giá khả năng đảm bảo an toàn làm việc hệ thống treo. Gia tốc được sử dụng để đánh giá độ êm dịu của xe. Kết quả tính toán được phân tích làm cơ sở đánh giá sự ảnh hưởng thông số độ cứng bộ phận đàn hồi và điều kiện mặt đường đến độ êm dịu của xe, làm cơ sở để thay đổi độ cứng bộ phận đàn hồi phù hợp thông qua việc điều chỉnh áp suất theo chủng loại chất lượng mặt đường.

Từ khóa: Dao động ô tô, biên dạng mặt đường ngẫu nhiên, hệ thống treo khí nén

GIỚI THIỆU

Với yêu cầu ngày càng cao của thị trường về độ êm dịu của các dòng xe vận tải hành khách được thiết kế và sản xuất trong nước hiện nay, hệ thống treo khí nén được thiết kế và sản xuất lắp ráp trên xe ngày càng nhiều hơn. Với hệ thống treo khí nén, áp suất bầu khí nén trực tiếp ảnh hưởng đến thông số độ cứng của bộ phận đàn hồi hệ thống treo. Do vậy, việc tính toán và phân tích dao động ô tô buýt có bộ phận đàn hồi dạng bầu khí nén có vai trò rất quan trọng góp phần cải tiến thiết kế làm tăng độ êm dịu của xe. Độ êm dịu của đoàn xe chuyển động với biên dạng mấp mô ngẫu nhiên của mặt đường được tính toán bằng mô hình động lực học hệ nhiều vật liên kết¹. Các mô hình tính toán dao động ô tô, chương trình xử lý số liệu đo đạc, và tính toán các thông số hệ thống treo được thực hiện^{2,3}.

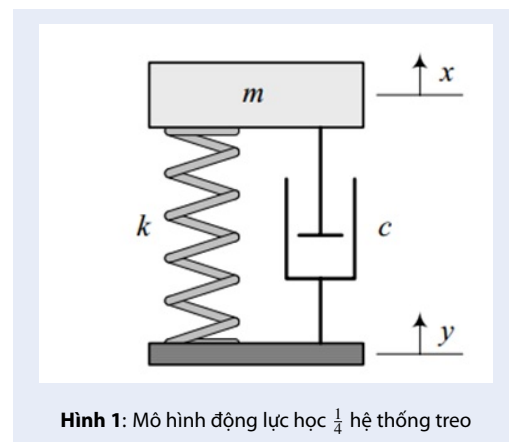
Tuy nhiên, vấn đề tính toán cụ thể với chủng loại xe buýt hoạt động theo điều kiện đường ở nước ta, cũng như để có thể phân tích được trọn vẹn sự khác biệt của thông số độ cứng bộ phận đàn hồi đến độ êm dịu của xe vẫn chưa được thực hiện. Vì vậy, trong bài báo này thông số đánh giá độ êm dịu của xe được tính toán với thông số độ cứng bộ phận đàn hồi khác nhau dưới tác dụng của biên dạng ngẫu nhiên mặt đường theo các cấp độ khác nhau. Kết quả có thể làm cơ sở để có thể

thiết kế cải tiến hệ thống treo nâng cao độ êm dịu cho các dòng xe buýt nói riêng và các chủng loại xe khác nói chung.

PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

Mô hình động lực học $\frac{1}{4}$ hệ thống treo ô tô

Mô hình động lực học $\frac{1}{4}$ hệ thống treo ô tô dưới tác dụng mấp mô mặt đường được thể hiện Hình 1.



Hình 1: Mô hình động lực học $\frac{1}{4}$ hệ thống treo

Mô hình $\frac{1}{4}$ bộ gồm phần khối lượng được treo m, liên kết với hệ thống treo gồm bộ phận đàn hồi có độ cứng

Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM,
Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Trần Hữu Nhân, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: thnhan@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 30-8-2019
- Ngày chấp nhận: 10-3-2021
- Ngày đăng: 07-5-2021

DOI: 10.32508/stdjet.v3iSI2.576



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Trích dẫn bài báo này: Nhân T.H. Phân tích dao động xe buýt có hệ thống treo khí nén dưới tác dụng mặt đường ngẫu nhiên. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 3(S12):SI186-SI191.

k, bộ phận giảm chấn có hệ số giảm chấn c. Phương trình động lực học mô tả chuyển động cơ hệ được viết dưới dạng³:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky \quad (2.1)$$

Có thể được viết dưới dạng khác như sau:

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = -m\ddot{y} \quad (2.2)$$

với: $z = x - y$ là biến chuyển vị tương đối. Biến x là chuyển vị tuyệt đối của phần khối lượng được treo, và y là chuyển vị tương đối của mốp mô mặt đường tác dụng.

Dạng đường mốp mô ngẫu nhiên

Mốp mô mặt đường ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn ISO 8608, tiêu chuẩn ISO 8608 mô tả một phương pháp thống nhất để trình bày và phân tích các dữ liệu thu được từ quá trình đo thực nghiệm mốp mô mặt đường theo phương thẳng đứng trong các điều kiện khác nhau như: Đường phố, đường cao tốc hay các đường địa hình phức tạp. Tiêu chuẩn cũng nêu ra các phương pháp để đánh giá chất lượng từng loại đường dựa trên mật độ phổ công suất $\phi(\Omega)$.

Theo tiêu chuẩn ISO 8608 về mốp mô mặt đường, mật độ phổ công suất của mốp mô mặt đường theo phương thẳng đứng được cho bởi phương trình⁴:

$$\phi(\Omega) = \phi(\Omega_0) \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{-w} \quad (2.3)$$

trong đó:

$\Omega = 2\pi/L$: tần số sóng mặt đường, [rad/m];

$\phi_0 = \phi(\Omega_0)$, [m²/rad/m]: giá trị mật độ phổ công suất tại tần số mẫu $\Omega_0 = 1$ [rad/m].

w : độ giảm biên độ

Theo tiêu chuẩn ISO 8608, mặt đường có mốp mô ngẫu nhiên được phân chia thành các loại khác nhau ký hiệu từ A đến E. Với giá trị độ giảm biên độ $w=2$, mỗi loại mặt đường được định nghĩa bằng giá trị tham chiếu ϕ_0 ⁴. Cụ thể theo Bảng 1,⁵.

Biên dạng mốp mô ngẫu nhiên của mặt đường được tính toán xấp xỉ cộng tác dụng của nhiều ($N \rightarrow \infty$) sóng hình **sin**, theo (2.4),⁴.

$$z_R(s) = \sum_1^N A_i \sin(\Omega_i s - \psi_i) \quad (2.4)$$

trong đó:

A_i : biên độ của mỗi sóng hình **sin**

Ω_i : tần số sóng mặt đường

ψ_i : góc lệch pha, là tập hợp ngẫu nhiên bất kỳ trong khoảng từ $0 \div 2\pi$.

Biên độ của mỗi sóng hình **sin** được xác định theo (2.5), khi đã có giá trị phổ công suất theo (2.3),⁴.

$$A_i = \sqrt{2\phi(\Omega_i) \Delta\Omega}, \quad i = 1 \div N \quad (2.5)$$

với số sóng Ω_i được chọn bằng giá trị tương ứng với N khoảng bước chia bằng nhau giá trị $\Delta\Omega$.

THÔNG SỐ TÍNH TOÁN

Độ cứng bộ phận đàn hồi

Thông số đặc tính chuyển vị bộ phận đàn hồi là bầu khí nén biến thiên theo tải trọng tác dụng tại giá trị áp suất là 5,57 (bar), được xác định trên cơ sở tham khảo xe thực tế. Xử lý số liệu thực nghiệm, và nội suy đa thức cho ta kết quả mối quan hệ độ cứng bầu khí nén biến thiên phi tuyến so với chuyển vị. Trong khoảng biến thiên chuyển vị $\pm 0,05$ (m), độ cứng bộ phận đàn hồi không đổi, giá trị này được xem là giá trị tuyến tính độ cứng, $k_{linear} = 118056,08$ (N/m).

Hệ số giảm chấn

Biến thiên vận tốc và giá trị lực đo đạc được được tham khảo theo dữ liệu tham khảo xe thực tế. Giá trị lực trong hai trường hợp dân và nén biến thiên theo vận tốc theo số liệu thực nghiệm được nội suy đa thức. Trong đó, mô hình tuyến tính mô tả sự biến thiên của lực theo vận tốc cũng được tính toán và thể hiện. Do vậy, giá trị hệ số giảm chấn tuyến tính đối với cả 2 trường hợp dân và nén chính là hệ góc của 2 đường tuyến tính tương ứng. Giá trị hệ số giảm chấn tuyến tính được chọn là giá trị trung bình của 2 trường hợp dân và nén: $c_{linear} = 20610,21$ (Ns/m).

Thông số khối lượng

Xét với trường hợp xe đẩy tải, ta xác định được phần tử khối lượng cho mô hình $\frac{1}{4}$ cho cầu trước ($m_f = 1942,5$ kg) và sau ($m_r = 3580$ kg), giá trị các phần tử khối lượng cầu sau gần 2 lần so với cầu trước, đồng thời với thực tế thiết kế xe cầu sau với 2 bầu khí nén và 2 giảm chấn. Do vậy, ta chỉ cần chọn xét mô hình $\frac{1}{4}$ cho cầu trước để thực hiện tính toán, với phần tử khối lượng không được treo chọn bằng khoảng 10% khối lượng được treo, hay $m_{s,f} = 0,9m_f = 1748,3$ (kg).

Thông số khảo sát

Mặt đường được chọn là loại đường nhựa tốt loại A có tần số mặt đường từ $0,5 \div 50$ (Hz); $w = 2,1$ và $\phi_0 = 4,8 * 10^{-7}$,⁶.

Để khảo sát ảnh hưởng thông số đàn hồi và giảm chấn hệ thống treo, ta cũng giả định điều chỉnh áp suất bầu khí nén và góc đặt giảm chấn để có bộ thông số giả định như trên, cụ thể:

- Ta sẽ chọn giả định một giảm chấn có thông số $c_{assumed} = 0,5 * c_{linear}$, tương ứng tỉ lệ giảm chấn $\xi = 0,36$.
- Độ cứng bộ phận đàn hồi giả định $k_{assumed} = 0,75 * k_{linear}$, tương ứng tần số riêng $f_n = 1,15$ (Hz).

Bảng 1: Phân loại các cấp mặt đường theo tiêu chuẩn ISO 8608

Cấp đường	$\phi_0 = \phi (\Omega_0) (m^2/rad/m) \times 10^{-6}$
	Khoảng biến thiên
A (Rất tốt)	<2
B (Tốt)	2÷8
C (Trung bình)	8÷32
D (Xấu)	32÷128
E (Rất xấu)	128÷512

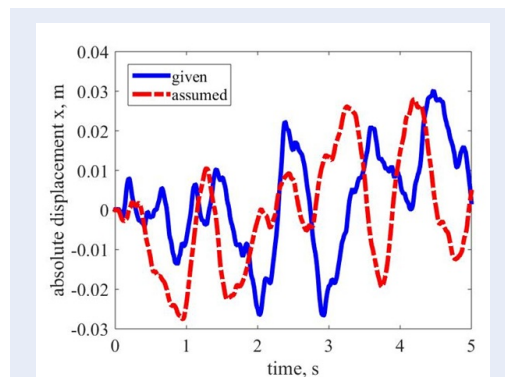
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mặt đường ngẫu nhiên loại rất tốt (loại A)

Với điều kiện ban đầu là thông số kích động từ mặt đường ngẫu nhiên và các thông số tính toán mô hình $\frac{1}{4}$ hệ thống treo như mục 3, vận tốc chuyển động ô tô là 60 (km/h), là giá trị trung bình vận hành của xe. Thực hiện tính toán mô hình động lực học dạng $\frac{1}{4}$ ô tô cho ta kết quả chuyển vị tuyệt đối, chuyển vị tương đối, và gia tốc và theo thời gian.

Chuyển vị tuyệt đối

Biến thiên chuyển vị tuyệt đối thay đổi theo thời gian được thể hiện ở Hình 2. Giá trị căn quân phương $RMS(x_given) = 0,0134(m)$, và $RMS(x_assumed) = 0,0143(m)$, lần lượt với hệ thống treo ban đầu và giả định, rất nhỏ do tính toán được thực hiện cho mặt đường nhựa tốt.

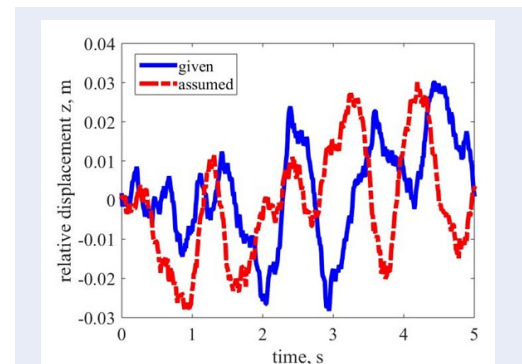


Hình 2: Biến thiên chuyển vị tuyệt đối theo thời gian

Chuyển vị tương đối.

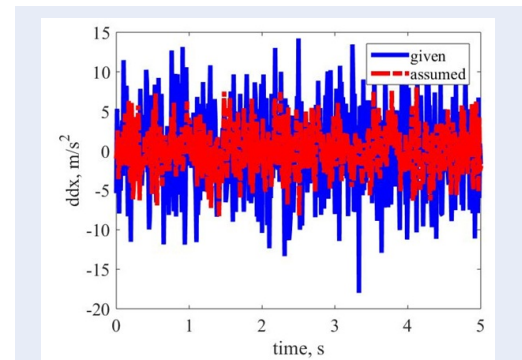
Tương tự như chuyển vị tuyệt đối, chuyển vị tương đối biến thiên theo thời gian được thể hiện ở Hình 3, giá trị chuyển vị tương đối hệ thống treo giả định là lớn hơn không đáng kể so với hệ thống treo ban đầu.

Cho thấy sự cần thiết trong điều chỉnh thông số hệ thống treo hiện hữu.



Hình 3: Biến thiên chuyển vị tương đối theo thời gian

Biến thiên gia tốc



Hình 4: Biến thiên gia tốc theo thời gian

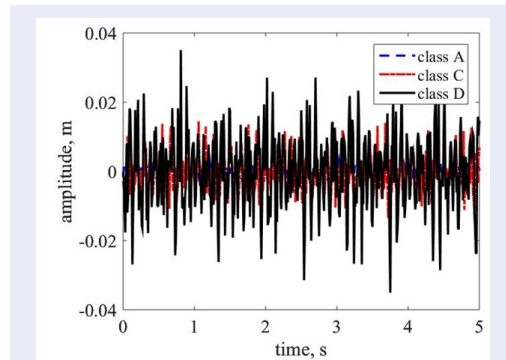
Biến thiên của gia tốc theo thời gian khi xe chuyển động với $v=60(km/h)$ và mặt đường ngẫu nhiên loại đường nhựa tốt được thể hiện ở Hình 4.

Giá trị căn quân phương của gia tốc ở đây là thông số rất quan trọng được sử dụng để so sánh chuẩn và

đánh giá độ êm dịu của xe được thiết kế với hệ thống treo có thông số được sử dụng để tính toán ban đầu $RMS(\ddot{x}_{given}) = 5,5 (m/s^2)$, và với hệ thống treo giả định $RMS(\ddot{x}_{given}) = 2,9(m/s^2)$, so với chuẩn giá trị là $0,315 (m/s^2)$. Kết quả điều chỉnh thông số hệ thống treo là rất ấn tượng, chỉ với độ cứng giảm 25%, hệ số giảm chấn giảm 50%, tất cả nhằm đưa thông số đàn hồi và giảm chấn về miền giá trị trong phạm vi thông thường của ô tô (cụ thể $f_n=1,15 Hz$; $\xi=0,36$), ta có được căn quân phương gia tốc giảm đến gần 50% so với hệ thống treo ban đầu.

Khảo sát theo chủng loại mặt đường ngẫu nhiên.

Thay đổi thông số mấp mô mặt đường, tiến hành khảo sát kết quả với 3 chủng loại mặt đường lần lượt là: $\phi_0 = 4.8 * 10^{-7}$; $\phi_0 = 8 * 10^{-6}$; và $\phi_0 = 32 * 10^{-6}$, tương ứng loại A (rất tốt), loại C (trung bình) và loại D (xấu), theo Bảng 1. Giá trị trung bình bình phương biên độ mấp mô ngẫu nhiên tương ứng lần lượt của 3 loại đường là 0,0012 ; 0,0053 ; và 0,011(m). Biến thiên biên độ mấp mô mặt đường của 3 chủng loại khác nhau được thể hiện ở Hình 5. Thực hiện tính toán với hệ thống treo ban đầu với các thông số khác như trên cho ta kết quả chuyển vị tuyệt đối, chuyển vị tương đối và gia tốc theo thời gian.

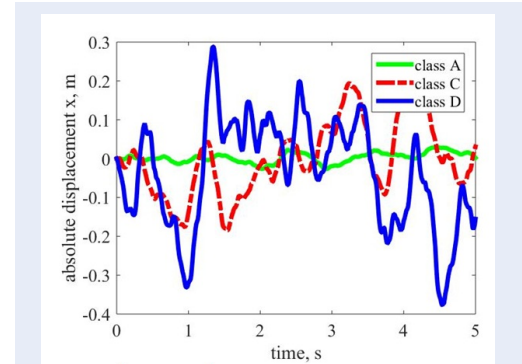


Hình 5: Biến thiên biên độ mấp mô mặt đường theo thời gian

Chuyển vị tuyệt đối.

Biến thiên chuyển vị tuyệt đối thay đổi theo thời gian với 3 chủng loại mặt đường khác nhau được thể hiện ở Hình 6. Giá trị căn quân phương $RMS(x_{classA}) = 0,013(m)$, và $RMS(x_{classC}) = 0,093(m)$, và $RMS(x_{classD}) = 0,15(m)$ lần lượt với cho loại mặt đường nhựa tốt, trung bình và xấu. Giá trị chuyển vị tuyệt đối với loại đường xấu loại D là rất cao, vượt ra ngoài khoảng không gian làm việc cho

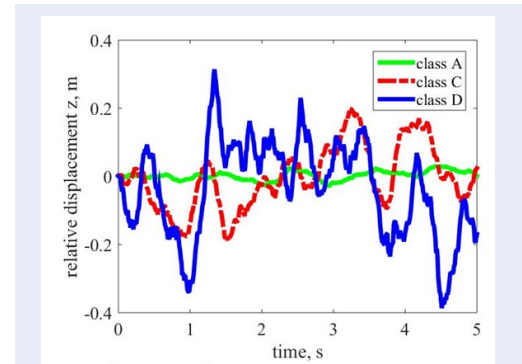
phép của hệ thống treo xe, do vậy đối với loại đường này xe không thể chuyển động được trong thực tế theo điều kiện như trên.



Hình 6: Chuyển vị tuyệt đối theo thời gian với các chủng loại mặt đường

Chuyển vị tương đối

Biến thiên chuyển vị tương đối theo thời gian với các chủng loại đường khác nhau được thể hiện ở Hình 7. Giá trị căn quân phương của chuyển vị tương đối hệ thống treo lần lượt cho 3 chủng loại mặt đường: $RMS(z_{classA}) = 0,013(m)$, và $RMS(z_{classC}) = 0,093(m)$, và $RMS(z_{classD}) = 0,15(m)$. Kết quả cho thấy hệ thống treo không có khả năng làm việc với chủng loại mặt đường xấu loại D khi chuyển động với vận tốc 60 (km/h), vì chuyển vị tương đối vượt quá hành trình cho phép của các bộ phận hệ thống treo xe.

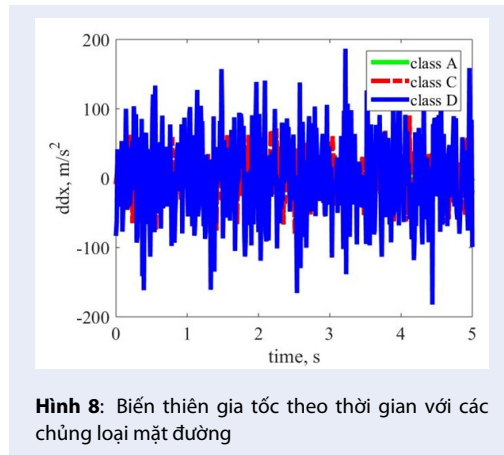


Hình 7: Chuyển vị tương đối theo thời gian với các chủng loại mặt đường

Biến thiên gia tốc

Biến thiên của gia tốc theo thời gian khi xe chuyển động với $v=60(km/h)$ và 3 chủng loại mặt đường ngẫu

nhiên được thể hiện ở Hình 8. Giá trị căn quân phương của gia tốc lần lượt với đường tốt loại A, $RMS(ddd_classA) = 5,5(m/s^2)$; Với đường trung bình loại C, $RMS(ddd_classC) = 30,3(m/s^2)$; Và với đường xấu loại D, $RMS(ddd_classD) = 60,5(m/s^2)$. Kết quả cho thấy độ êm dịu xe chịu ảnh hưởng rất lớn bởi điều kiện mặt đường. Đặc biệt là với mặt đường xấu với cùng vận tốc chuyển động thì độ êm dịu giảm xuống hơn 10 lần so với mặt đường tốt.



Hình 8: Biến thiên gia tốc theo thời gian với các chủng loại mặt đường

KẾT LUẬN

Kết quả tính toán được thực hiện với thông số áp suất bầu khí nén lớn nhất, điều này tương ứng với giá trị độ cứng bộ phận đàn hồi là rất cao, làm cho tần số riêng của hệ thống treo thiết kế đạt giá trị 1,31(Hz) lớn hơn so với giá trị thông thường đối với ô tô là từ 1 đến 1,2(Hz). Bên cạnh đó, với thông số bộ giảm chấn thực tế sử dụng, có giá trị hệ số giảm chấn $c_linear = 20610,21$ (Ns/m), tương ứng giá trị tỉ lệ giảm chấn $\xi = 0,76$, ở đây cũng lớn hơn so với giá trị thông thường khi thiết kế hệ thống treo trên ô tô là trong khoảng $0,04 < \xi < 0,5$.

Việc điều chỉnh thông số hệ thống treo là rất ấn tượng, chỉ với độ cứng giảm 25%, hệ số giảm chấn giảm 50%, tất cả nhằm đưa thông số đàn hồi và giảm chấn về miền giá trị trong phạm vi thông thường của ô tô (cụ thể $f_n = 1,15$ Hz ; $\xi = 0,36$), ta có được giá trị căn quân phương gia tốc giảm đến gần 50% so với hệ thống treo ban đầu.

Điều kiện mặt đường ảnh hưởng rất lớn đến độ êm dịu, khoảng không gian và hành trình làm việc các bộ phận hệ thống treo xe.

XUNG ĐỘNG LỢI ÍCH

Bài báo này là sản phẩm của tác giả, các giải thích, kết quả thu được, và kết luận trong bài báo thể hiện quan điểm của tác giả trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Ảnh hưởng thông số độ cứng của bộ phận đàn hồi đến độ êm dịu của xe dưới tác dụng mặt đường ngẫu nhiên có các cấp độ khác nhau được phân tích dựa vào giá trị gia tốc. Kết quả bài báo có thể tham khảo làm cơ sở xác định độ cứng bộ phận đàn hồi phù hợp thông qua việc điều chỉnh thay đổi áp suất bộ phận đàn hồi khí nén của hệ thống treo nhằm nâng cao độ êm dịu của xe.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nhân TH, Lâm TQ, Đức T, Nguyễn NV. Phân tích động lực học theo phương thẳng đứng của tổ hợp xe đầu kéo - sơ mi rơmoóc bằng Matlab/Simmechanics, Khoa học công nghệ Giao thông vận tải. 2019;31(8).
2. Hu F. Road profile recovery using vertical acceleration data. University of Windsor,;
3. Jazar RN. Vehicle Dynamics Theory and Application. Springer. 2008;p. 583–659. Available from: https://doi.org/10.1007/978-0-387-74244-1_10.
4. Rill G. Road Vehicle Dynamics : Fundamentals and Modeling,;
5. Hu F. Road profile recovery using vertical acceleration data. University of Windsor,;
6. Sekulić D, et al. The effect of stiffness and damping of the suspension system elements on the optimization of the vibrational behavior of a bus. 2011,;

Vibration Analysis of a Bus's Air Spring Suspension Subjected to Random Road Profile

Tran Huu Nhan*



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Vehicle dynamics model in type of $\frac{1}{4}$ is used for vibration analysis under the effect of random road profile with different grades. The mathematical model to describe the used random road profile is able to change the type of investigated road grades by selecting the corresponding power spectral density parameter of the road grade according to the ISO 8608 standard. Random road profile is investigated in the range of frequency domain from 0 to 50 (Hz). The air spring stiffness and the damping coefficient are determined on the basis of reference to the practical vehicle. The variation of relative displacement amplitude of the suspension in the range of investigation domain is small, the air spring stiffness used in the calculation is constant. The obtained results corresponding to different grades of road surface roughness including displacement and acceleration parameters. Relative displacement is a parameter that aims to verify the ability to ensure safe working of the suspension, namely rattle spacing. Acceleration is used to evaluate the vehicle's comfort. Calculation results are analyzed as the basis for evaluating the influence of the air spring stiffness and road surface conditions on the comfort of the vehicle, as the basis for changing the air spring stiffness in accordance with adjusting the pressure of it according to the type of road profile quality.

Key words: Vehicle vibration, random road profile, air-spring suspension

Ho Chi Minh City University of
Technology (HCMUT), Vietnam
National University Ho Chi Minh City,
Vietnam

Correspondence

Tran Huu Nhan, Ho Chi Minh City
University of Technology (HCMUT),
Vietnam National University Ho Chi Minh
City, Vietnam

Email: thnhan@hcmut.edu.vn

History

- Received: 30-8-2019
- Accepted: 10-3-2021
- Published: 07-5-2021

DOI : 10.32508/stdjet.v3iS12.576



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Nhan T.H. **Vibration Analysis of a Bus's Air Spring Suspension Subjected to Random Road Profile.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 3(S12):SI186-SI191.