

ẢNH HƯỞNG CỦA CHẤT LƯỢNG ĐƯỜNG VÀ ĐỘ CỨNG HỆ THỐNG TREO ĐẾN DAO ĐỘNG XE KHÁCH TẠI VIỆT NAM

INFLUENCE OF ROAD QUALITY AND SUSPENSION STIFFNESS ON PASSENGER VEHICLE OSCILLATION IN VIETNAM

PHẠM THÀNH LUÂN¹, LƯƠNG VĂN VẠN^{2*}

¹Học viên Cao học, Trường Đại học SPKT Vĩnh Long

²Khoa Cơ khí Động lực, trường Đại học SPKT Vĩnh Long

Email*: vanlv@vlute.edu.vn; ĐTDD 0902933271

Nhận bài (received): 25/12/2021; Phản biện (revised): 19/01/2022; Chấp nhận (accepted): 08/4/2022

TÓM TẮT:

Tại Việt Nam, xe khách được sử dụng rất nhiều trong việc vận chuyển hành khách, thích hợp trong việc lưu thông trên các đường nhỏ, đường nông thôn. Trong khi đó các cung đường này còn chưa hoàn thiện, nhiều nơi mặt đường chưa bằng phẳng với độ nhấp nhô lớn. Do đó, khi xe chạy trên đường sẽ bị rung xóc, làm giảm độ êm dịu chuyển động, sinh ra tải trọng động, gây hư hỏng một số chi tiết và phá hỏng mặt đường. Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của chất lượng mặt đường đến dao động của xe khách bằng cách xây dựng mô hình động lực học của ô tô. Các kết quả nghiên cứu là đề xuất độ cứng tối ưu hệ thống treo xe khách nhằm giảm thiểu sự rung động từ mặt đường gồ ghề đến thân xe, mang lại sự thoải mái cho người lái xe và hành khách.

Từ khóa: Dao động, xe khách, động lực học, ISO 8608:2016

ANSTRACT:

In Vietnam, passenger vehicles are used a lot in the transportation of passengers, suitable for circulation on small roads or rural roads. Meanwhile, these roads in our country have not been completed, and in many places, the road surface is not flat with high roughness. Therefore, when the vehicle is running on the road, it will vibrate, reduce the motion smoothness, generate dynamic loads, damaging some parts the road surface. The article presents the results of research on the influence of road surface quality on the vibration of passenger vehicles by building a dynamic model of the vehicle. The research results are to suggest the optimal stiffness of the passenger vehicles suspension system to minimize the vibration from the rough road surface to the vehicle's body, bringing comfort to the driver and passengers.

Key works: Oscillation, passenger vehicles, dynamics, ISO 8608:2016

1. Mở đầu

Hệ thống treo là hệ thống quan trọng trên ô tô, ảnh hưởng trực tiếp đến tính êm

dịu, an toàn chuyển động, đặc biệt là khi ô tô di chuyển trên loại đường có chất lượng mặt đường xấu. Hệ thống treo không tốt

sẽ gây ra lực động tác động xuống nền đường gây phá hủy mặt đường. Trên các ô tô khách nhỏ hiện nay thường sử dụng hệ thống treo có phần tử đàn hồi kim loại, việc kiểm soát không tốt độ cứng sẽ gây ra dao động lớn, làm mất ổn định thân xe. Có ba hướng nghiên cứu chính liên quan đến dao động ô tô, bao gồm: Nghiên cứu về bề mặt đường; Nghiên cứu dao động của ô tô; Nghiên cứu cảm giác và sức chịu đựng của con người [1]. Hướng nghiên cứu thứ nhất, nghiên cứu về biên dạng mấp mô mặt đường, ảnh hưởng của mặt đường đến dao động của ô tô, xác định các lực tác động của ô tô xuống mặt đường. Theo hướng này cần tìm ra các quy luật, các hàm toán học mô tả biên dạng của mặt đường. Mấp mô mặt đường thường không có quy luật (*mấp mô mặt đường ngẫu nhiên*), để mô tả toán học biên dạng mặt đường dùng các đặc trưng thống kê gồm: kỳ vọng toán học, phương sai và mật độ phổ năng lượng của chiều cao mấp mô mặt đường [1]. Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về việc mô tả toán học độ mấp mô bề mặt đường. Hướng nghiên cứu thứ hai, nghiên cứu dao động ô tô với mục đích cải thiện độ êm dịu chuyển động, chất lượng kéo, tính kinh tế, tính dẫn hướng, độ ổn định chuyển động, độ bền và độ tin cậy... Vì vậy, nghiên cứu dao động ô tô là nghiên cứu mối quan hệ giữa dao động của ô tô với các chỉ tiêu của các chất lượng khai thác kể trên.

Các nghiên cứu về dao động trong những năm gần đây chủ yếu nghiên cứu về tính êm dịu của xe bằng cách điều chỉnh độ cứng và hệ số cản giảm chấn hệ thống treo. Tại Việt Nam, công trình nghiên cứu [2,3] về xe chữa cháy rừng đa năng, tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của mặt đường, tốc độ chuyển động đến dao động và trọng động của xe. Nhiều tác giả ở các nước châu Âu và Mỹ đã công bố các công trình nghiên

cứu về dao động thẳng đứng và rung xóc của ô tô [4], [5], [6], [7]; ảnh hưởng của kết cấu bộ phận treo đến êm dịu chuyển động [8], [9]; phương pháp mô phỏng và các phần mềm ứng dụng trong nghiên cứu dao động ô tô [8], [10]; phương pháp thực nghiệm nghiên cứu dao động ô tô [11], [12]. Ngày nay trên thế giới các nghiên cứu về dao động của ô tô đã đạt được nhiều thành tựu đáng kể.

2. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Xây dựng mô hình toán học

Một số giả thiết khi xây dựng mô hình

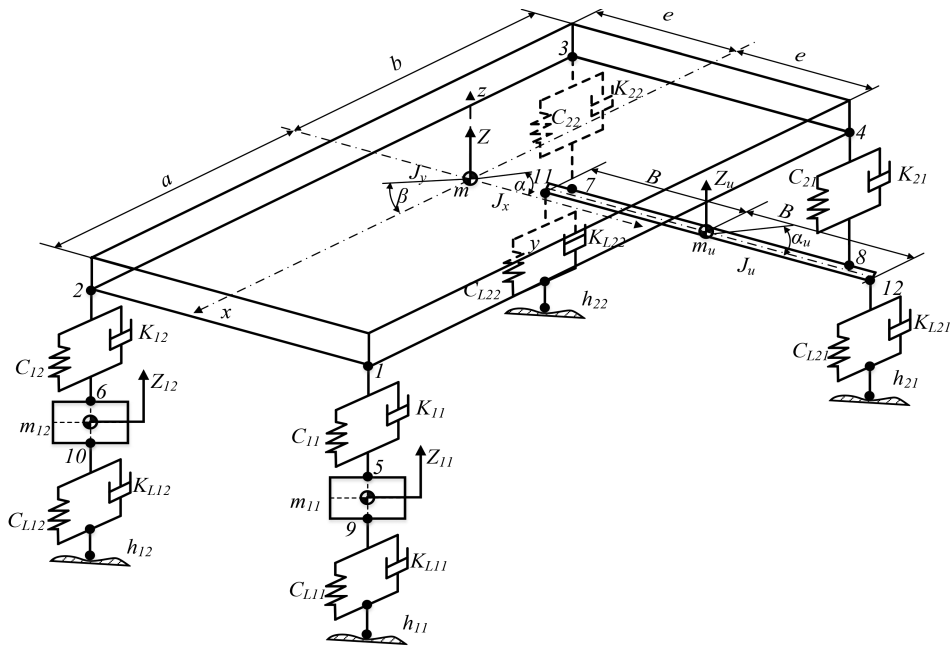
Khi xe hoạt động trên đường do mặt đường không bằng phẳng, nên nó sẽ có dao động phức tạp từ sự kích động động học của mấp mô mặt đường. Để khảo sát các dao động này chúng ta xét mô hình dao động quanh vị trí cân bằng tĩnh khi xe chuyển động trên những đoạn đường thẳng với vận tốc không đổi. Xe khách là một hệ cơ học có các liên kết đàn hồi. Đặc trưng cho sự đàn hồi này là sự biến dạng của các bánh lốp, nhíp và các khớp, nên nó là một cơ hệ phức tạp. Để lập mô hình tính toán dao động của xe, tác giả đặt ra một số giả thiết sau:

- Trên xe chở đầy khách và xem tất cả hành khách trên xe như một khối đặc;
- Các bánh xe luôn tiếp xúc với mặt đường, liên kết bánh xe với đường là giữ, dừng và hình học;
- Bỏ qua ảnh hưởng của sự trượt của các bánh xe với mặt đường;
- Mặt đường có biên dạng rất nhỏ, coi như cứng tuyệt đối;
- Các phần tử đàn hồi làm việc trong giai đoạn tuyến tính;
- Bỏ qua ảnh hưởng của lực cản không khí và ma sát ở các ổ trục của các bánh xe;
- Dao động của xe được xét là các dịch chuyển quanh vị trí cân bằng tĩnh.

Mô hình dao động xe khách 16 chỗ

Xe khách gồm 2 cầu với hệ thống treo độc lập cầu trước, hệ thống treo

phụ thuộc cầu sau. mô hình dao động của xe gồm 7 bậc tự do được mô tả hình 1.



Hình 1: Mô hình dao động xe khách 16 chỗ

Sử dụng hệ phương trình Newton-Euler [1, 2, 4, 5], tác giả thiết lập được hệ phương trình động lực học theo phương thẳng đứng đối với xe khách như sau:

$$\begin{aligned} m.\ddot{Z} + K_1(2\ddot{Z} + 2\dot{\beta}.a - \dot{Z}_{11} - \dot{Z}_{12}) + C_1(2\dot{Z} + 2\beta.a - Z_{11} - Z_{12}) \\ + K_2(2\ddot{Z} - 2\dot{\beta}.b - 2\dot{Z}_u) + C_2(2\dot{Z} - 2\beta.b - 2Z_u) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} J_x.\ddot{\alpha} + K_1.e(2\dot{\alpha}.e - \dot{Z}_{11} + \dot{Z}_{12}) + C_1.e(2\alpha.e - Z_{11} + Z_{12}) \\ + 2K_2.e^2(\dot{\alpha} - \dot{\alpha}_u) + 2C_2.e^2(\alpha - \alpha_u) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} J_y.\ddot{\beta} + K_1.a(2\ddot{Z} + 2\dot{\beta}.a - \dot{Z}_{11} - \dot{Z}_{12}) + C_1.a(2\dot{Z} + 2\beta.a - Z_{11} - Z_{12}) \\ - 2K_2.b(\dot{Z} - \dot{\beta}.b - \dot{Z}_u) - 2C_2.b(\dot{Z} - \beta.b - Z_u) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} m_{11}.\ddot{Z}_{11} + K_1(\dot{Z}_{11} - \dot{Z} - \dot{\alpha}.e - \dot{\beta}.a) + C_1(Z_{11} - Z - \alpha.e - \beta.a) \\ + K_{L1}(\dot{Z}_{11} - \dot{h}_{11}) + C_{L1}(Z_{11} - h_{11}) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} m_{12}.\ddot{Z}_{12} + K_1(\dot{Z}_{12} - \dot{Z} + \dot{\alpha}.e - \dot{\beta}.a) + C_1(Z_{12} - Z + \alpha.e - \beta.a) \\ + K_{L1}(\dot{Z}_{12} - \dot{h}_{12}) + C_{L1}(Z_{12} - h_{12}) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$m_u \ddot{Z}_u + 2K_2 (\dot{Z}_u - \dot{Z} + \dot{\beta}b) + 2C_2 (Z_u - Z + \beta b) + K_{L2} (2\dot{Z}_u - \dot{h}_{21} - \dot{h}_{22}) + C_{L2} (2Z_u - h_{21} - h_{22}) = 0 \quad (6)$$

$$J_u \ddot{\alpha}_u + 2K_2 e^2 (\dot{\alpha}_u - \dot{\alpha}) + 2C_2 e^2 (\alpha_u - \alpha) + K_{L2} B (2\dot{\alpha}_u B - \dot{h}_{21} + \dot{h}_{22}) + C_{L2} B (2\alpha_u B - h_{21} + h_{22}) = 0 \quad (7)$$

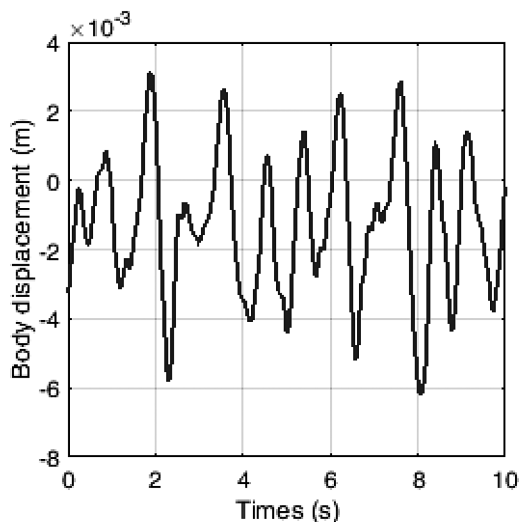
Nhóm tác giả sử dụng phần mềm Matlab-Simulink để khảo sát dao động xe khách 2 cầu, trong điều kiện đoàn xe chạy ổn định trên đường thẳng, không có lực ngang tác dụng. Trong khảo sát này, tác giả sử dụng kích thích mặt đường ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016 tác dụng lên các bánh xe với chất lượng đường từ mức tốt, trung bình, xấu và rất xấu (tương đương cấp loại đường B-C, C-D, D-E và E-F). Kết quả khảo sát trên mặt đường ngẫu nhiên để đánh giá tính êm dịu chuyển động của ô tô khi ô tô chuyển động. Kết quả mô phỏng thu được giá trị dịch chuyển và gia tốc dao động của thân xe. Ngoài ra, trong nghiên cứu này, tác giả khảo sát ảnh hưởng độ cứng hệ thống treo (tăng và giảm độ cứng so với thông số ban đầu) để đánh giá mức

độ êm dịu của xe và đồng thời đề xuất giá trị hợp lý nhằm tăng tính êm dịu chuyển động của xe.

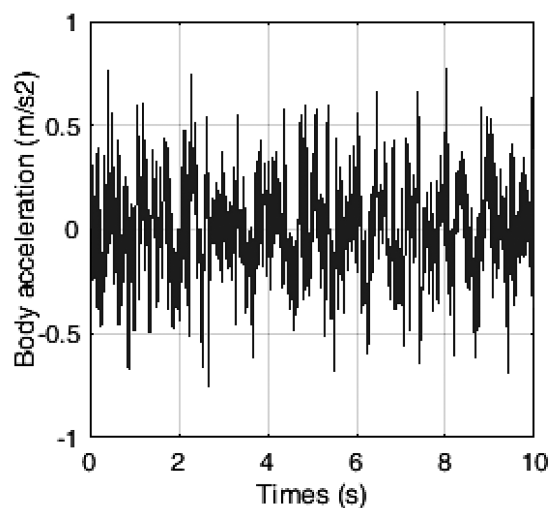
Khảo sát dao động xe khách

Trường hợp độ cứng hệ thống treo ban đầu

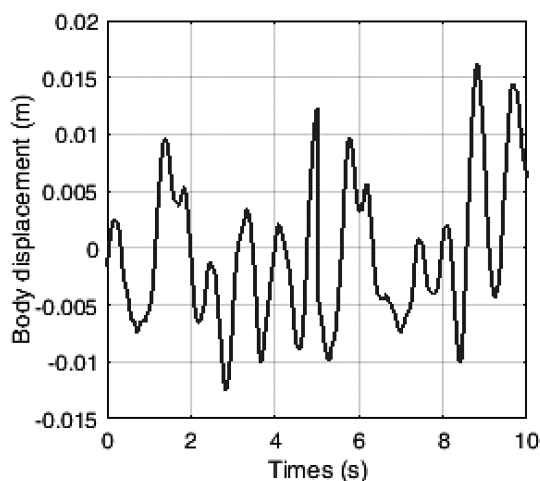
Tiến hành mô phỏng dao động ô tô khi cho các bánh xe chuyển động qua mặt đường theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016. Vận tốc khảo sát của xe thay đổi từ 40 đến 100 km/h. Giá trị dịch chuyển và gia tốc thân xe trên 4 loại đường được mô tả hình bên dưới. Các hình 2,4,6,8 mô tả các giá trị của dịch chuyển thân xe với vận tốc 80km/h và các hình 3,5,7,9 mô tả gia tốc thân xe với vận tốc 80km/h khi xe di chuyển trên các loại đường có chất lượng tương ứng là tốt, trung bình, xấu, rất xấu.



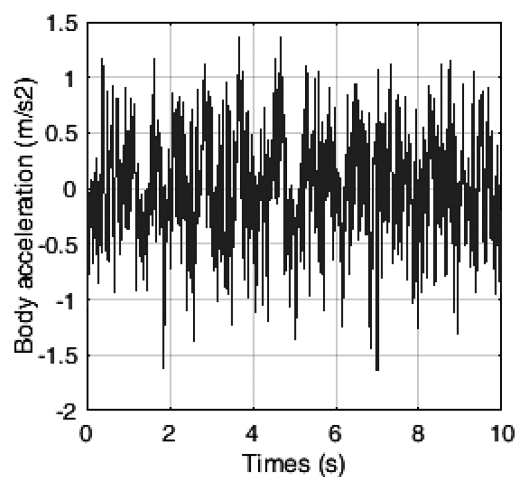
Hình 2: Dịch chuyển thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường BC



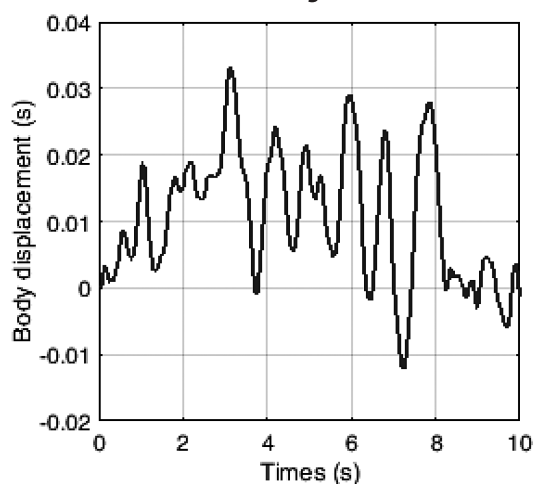
Hình 3: Gia tốc thẳng đứng thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường BC



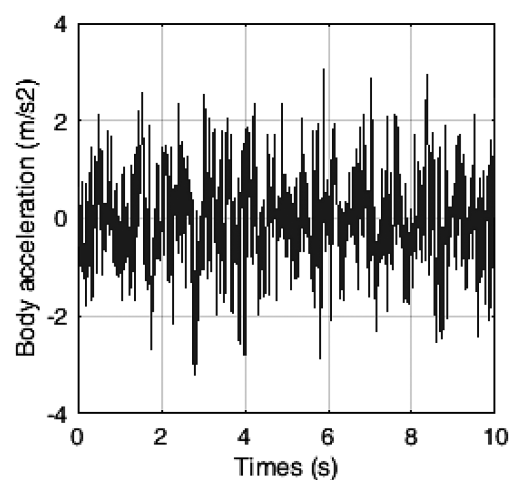
Hình 4: Dịch chuyển thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường CD



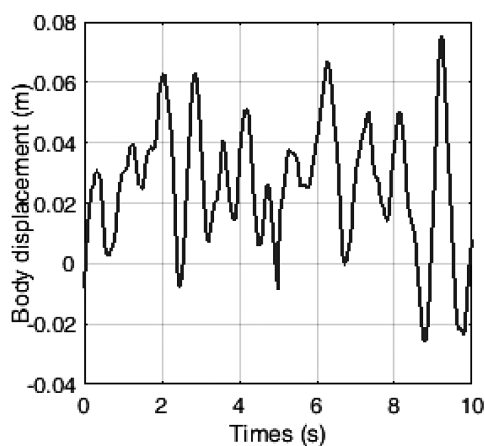
Hình 5: Gia tốc thẳng đứng thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường CD



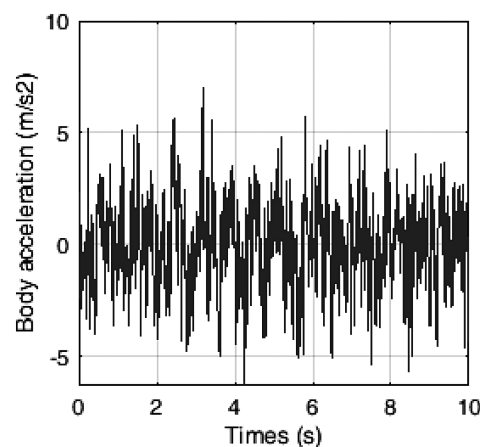
Hình 6: Dịch chuyển thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường DE



Hình 7: Gia tốc thẳng đứng thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường DE



Hình 8: Dịch chuyển thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường EF



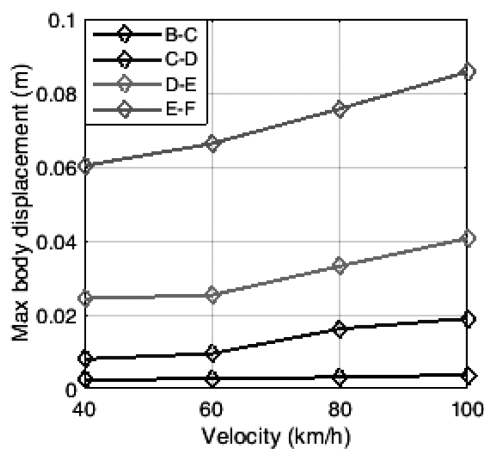
Hình 9: Gia tốc thẳng đứng thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường EF

Dựa vào mô hình mô phỏng dao động của ô tô khách trong không gian và kết quả đánh giá với các chế độ vận tốc chuyển động khác nhau, với kích thích mặt đường ngẫu nhiên cho thấy chất lượng đường càng xấu thì dịch chuyển và gia tốc thân xe càng lớn, trên cùng một loại đường nhưng tốc độ chuyển động của xe tăng lên thì giá trị dịch chuyển và gia tốc thân xe đều tăng lên. Xét theo tiêu chuẩn

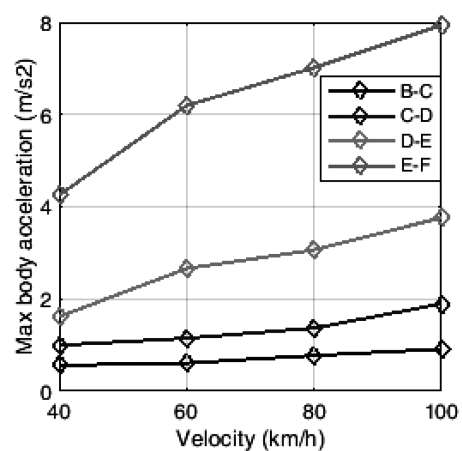
ISO 2631 [14] độ êm dịu đối với người cho thấy khi xe chuyển động trên đường có chất lượng tốt (B-C), chất lượng trung bình (C-D), chất lượng xấu (D-E) thì gia tốc lớn nhất của thân xe nhỏ hơn giới hạn làm việc (6,3 m/s² [15]). Khi xe di chuyển trên đường có chất lượng rất xấu (E-F), khi vận tốc xe từ 80 km/h trở lên thì gia tốc dao động thân xe lớn hơn giới hạn làm việc.

Bảng 1. Giá trị lớn nhất của dịch chuyển, gia tốc thân xe khi di chuyển trên đường với các vận tốc chuyển động khác nhau.

Loại đường \ Vận tốc	40 km/h		60 km/h		80 km/h		100 km/h	
	Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s ²)	Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s ²)	Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s ²)	Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s ²)
B-C	0.0025	0.5624	0.0026	0.77786	0.0031	0.77583	0.0037	0.9128
C-D	0.008	0.9955	0.0095	1.1491	0.0162	1.36903	0.019	1.8956
D-E	0.0244	1.6166	0.0253	2.65964	0.0331	3.06487	0.0407	3.7638
E-F	0.0603	4.2518	0.06629	6.19351	0.0757	7.01708	0.0857	7.937



Hình 10: Dịch chuyển thân xe lớn nhất, $v = 40 \div 100$ km/h, đường B-C, C-D, D-E, E-F

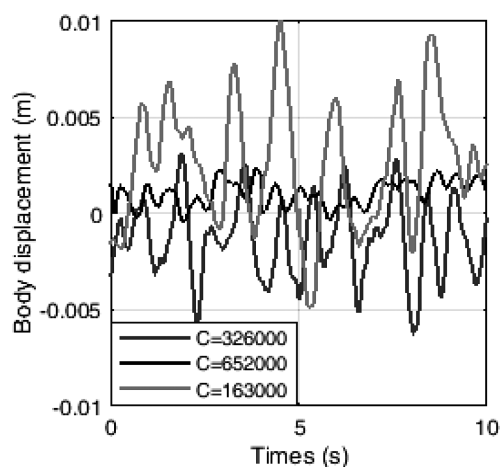


Hình 11: Gia tốc thẳng đứng thân xe lớn nhất, $v = 40 \div 100$ km/h, đường B-C, C-D, D-E, E-F

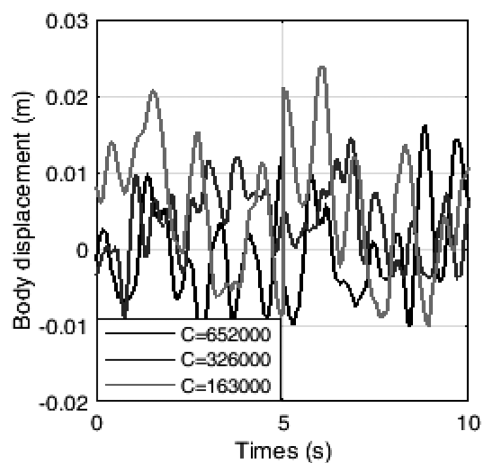
Ảnh hưởng độ cứng hệ thống treo đến dao động của xe

Khảo sát ảnh hưởng của độ cứng hệ thống treo đến tính êm dịu của ô tô, với mẫu mô mặt đường dạng ngẫu nhiên theo

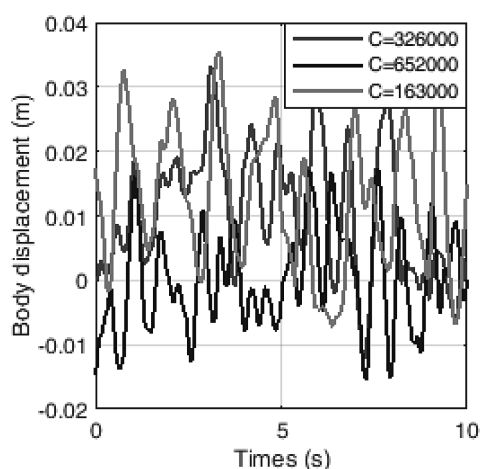
tiêu chuẩn ISO 8608:2016 trên 4 loại đường, ô tô chuyển động ở cùng một vận tốc 80 km/h với các giá trị độ cứng như sau: Độ cứng ban đầu $C = 326000$ N/m; tăng độ cứng $C = 652000$ N/m; giảm độ cứng $C = 163000$ N/m.



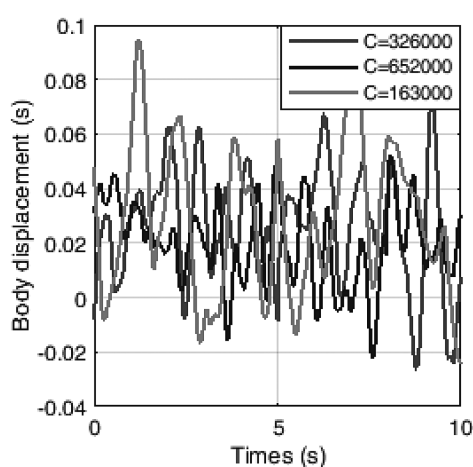
Hình 12: Dịch chuyển thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường B-C khi thay đổi độ cứng



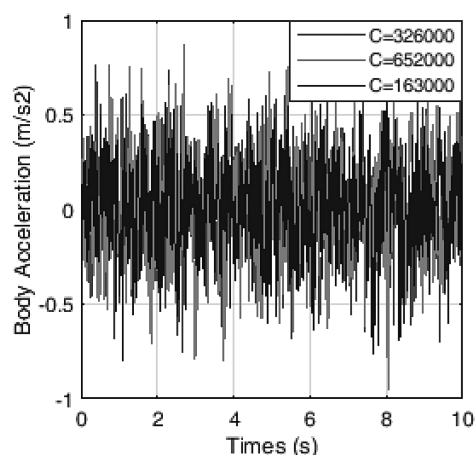
Hình 13: Dịch chuyển thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường C-D khi thay đổi độ cứng



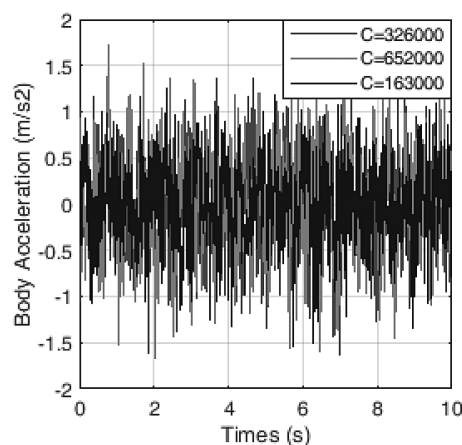
Hình 14: Dịch chuyển thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường D-E khi thay đổi độ cứng



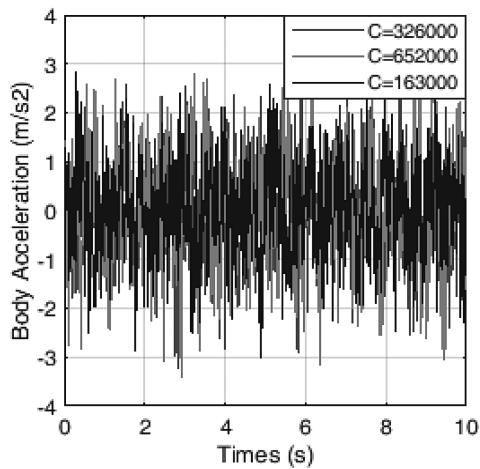
Hình 15: Dịch chuyển thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường E-F khi thay đổi độ cứng



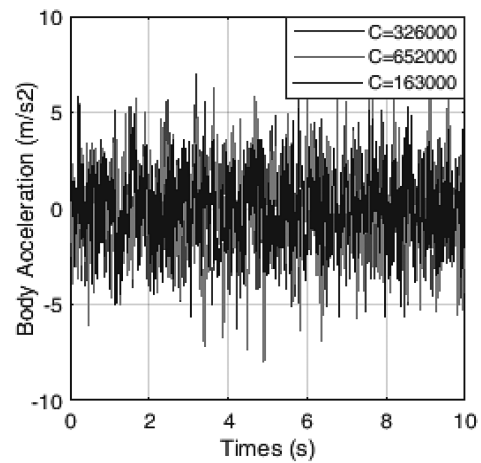
Hình 16: Gia tốc thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường B-C khi thay đổi độ cứng



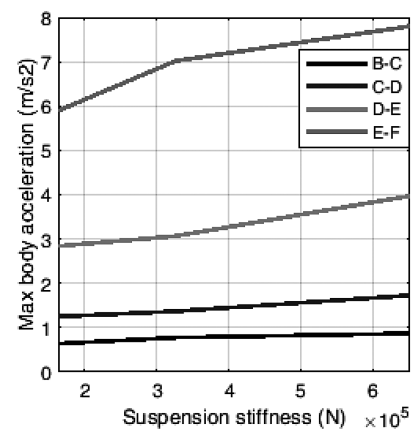
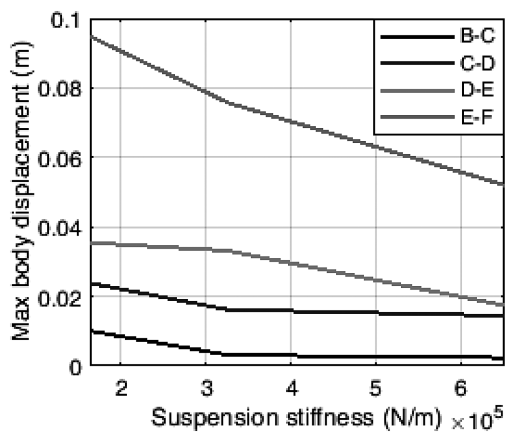
Hình 17: Gia tốc thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường C-D khi thay đổi độ cứng



Hình 18: Gia tốc thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường D-E khi thay đổi độ cứng



Hình 19: Gia tốc thân xe, vận tốc 80 km/h, trên đường E-F khi thay đổi độ cứng



Bảng 2: Giá trị lớn nhất dịch chuyển và vận tốc thân xe khi thay đổi độ cứng hệ thống treo

Loại đường \ Vận tốc	Độ cứng hệ thống treo (kN/m)	40 km/h		60 km/h		80 km/h		100 km/h	
		Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s²)	Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s²)	Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s²)	Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s²)
B-C	C=163	0.0059	0.456	0.0073	0.665	0.0164	0.8465	0.0	0.869
	C=326	0.0025	0.562	0.0026	0.777	0.0031	0.7758	0.003	0.9128
	C=652	0.0021	0.644	0.0024	0.676	0.0029	1.0977	0.031	1.4516
C-D	C=163	0.0112	0.865	0.015	1.124	0.0221	1.2495	0.027	1.766
	C=326	0.008	0.995	0.0095	1.149	0.0162	1.3690	0.019	1.8956
	C=652	0.0062	1.088	0.087	1.358	0.01	1.7281	0.014	1.9061

Loại đường \ Vận tốc	Độ cứng hệ thống treo (kN/m)	40 km/h		60 km/h		80 km/h		100 km/h	
		Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s ²)	Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s ²)	Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s ²)	Z_{max} (m)	$\ddot{Z}_{max}$ (m/s ²)
D-E	C=163	0.03	1.871	0.0378	2.541	0.039	2.9207	0.042	2.9069
	C=326	0.0244	1.616	0.0253	2.659	0.0331	3.0648	0.040	3.7638
	C=652	0.0135	3.046	0.0235	3.046	0.0292	4.811	0.031	4.0333
E-F	C=163	0.0603	4.251	0.0662	6.193	0.0757	7.0171	0.085	7.937
	C=326	0.0603	4.251	0.0662	6.193	0.0757	7.0170	0.085	7.937
	C=652	0.0513	5.008	0.0542	6.623	0.0489	7.8005	0.052	9.6441

Nhận xét: Khi thay đổi độ cứng hệ thống treo sẽ làm ảnh hưởng đến các thông số của dao động. Khi độ cứng hệ thống treo tăng, làm tăng bình phương trung bình gia tốc thân xe, làm giảm tính năng êm dịu của xe, ngược lại khi giảm độ cứng hệ thống treo sẽ tăng tính êm dịu của xe. Khi tăng độ cứng hệ thống treo sẽ làm giảm dịch chuyển thân xe, tăng tính ổn định của ô tô, khi giảm độ cứng hệ thống treo sẽ làm tăng dịch chuyển thân xe, giảm tính ổn định của ô tô.

Đối với xe khách 16 chỗ, với thông số độ cứng và hệ số cản giảm chấn ban đầu, khi xe chuyển động trên đường có chất lượng tốt, trung bình, xấu thì với vận tốc 100 km/h chưa ảnh hưởng đến hành khách trên xe. Khi xe chuyển động trên đường rất xấu thì vận tốc chuyển động là 80 km/h sẽ ảnh hưởng đến hành khách trên xe.

3. Kết luận

Xe khách làm việc tại Việt Nam trên những địa hình và cung đường khác nhau,

độ mấp mô mặt đường khác nhau nên ảnh hưởng đến sự êm dịu của xe. Khi thay đổi các thông số đầu vào để khảo sát hệ thống treo cho thấy, khi tăng độ cứng hệ thống treo thì gia tốc thân xe tăng lên, dịch chuyển của thân xe giảm đi; khi giảm độ cứng hệ thống treo thì xe chuyển động êm dịu hơn, trong khi đó dịch chuyển thân xe lại tăng lên. Đồng thời kết quả khảo sát của xe khi di chuyển trên cùng một loại đường nhưng vận tốc của xe tăng lên thì dịch chuyển và gia tốc của xe tăng lên, khi xe chuyển động cùng vận tốc nhưng trên đường có chất lượng xấu hơn thì gia tốc và dịch chuyển thân xe cũng tăng lên. Để có thể có thêm các khẳng định chính xác ảnh hưởng của hệ thống treo đến các chỉ tiêu đánh giá dao động và ổn định ô tô nghiên cứu cần có thêm các khảo sát về ảnh hưởng của hệ số cản giảm chấn. Ngoài ra cần đánh giá ảnh hưởng của độ cứng đến và hệ số cản giảm chấn đến tải trọng động tác động lên ô tô.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trương Mạnh Hùng. (2017). Nghiên cứu dao động của ô tô khách có sử dụng hệ thống treo khí nén, *Luận án Tiến sĩ kỹ thuật*, Trường Đại học Giao thông vận tải.
- [2]. Luong Van Van, Cao Hung Phi. (2021). Oscillating of Multi-Purpose Forest Fire Fighting Vehicle When Moving on Forestry Road, *Design Engineering*, Issue 7, 2021.
- [3] Nguyen Thanh Tung, Luong Van Van, Nguyen Thanh Quang. (2020). Survey On The Effects Of Bumpy Road To Oscillate Of Multi-Purpose Forest Fire Fighting Vehicle, *Engineering Solid Mechanics*. 9 (2021) 291-298.
- [4]. Ases, James Lacombe. (1999). Tire Model for Simulation of Vehicle Motion on high and low Friction Road, U.S. *Army Engineer Reseach and Development Center (ERDC) Cold Region Reseach and Engineering Labolatoriy (CRREL) 72 Lyme Road, Hanover, NH 03755-1290, USA*
- [5]. Centa G. (1997). Motor Vehicle Dynamics: Modeling and Simulation, *Wrold Scientific*. Singapore.
- [6]. Georg Rill. (2005). Vehicle Dynamics, *Regesburg Univercity of Applied Sciences*.
- [7]. Hunter Engineering Company. An improved Non – Intrusive automobile suspension testing apparatus with means to determine the condition of dampers.
- [8]. Edward J. Haug, Dan Negrut. (1999). Numerical Methods for high Speed Vehicle Dynamics Simulation, *Automotive Reseach Center and NFS Center for Virtual Proving Ground Simulation- The University of Iowa 26th AIIA Aerodynamic mesurement Technology and ground Testing Conference*.
- [9]. Control tutorial for Matlab and Simulink. (1997). *Example: Modeling a bus suspension system using transfer functions*.
- [10]. M.t Ahmadian, R. Sharifi Sedeh, Abdollahpour. (2003). Application of car active suspension in vertical acceleration reduction of vehicle due to road excitation and its effect on human health.
- [11] Bendat. S, Jilius. (1999). Random data analysic and mesurement rocedures, *Published*
- [12] ISO 8608:2016, Mechanical vibration – Road surface profiles – Reporting of measured data.
- [13]. ISO 2631
- [15]. Nguyễn Hồng Quang. (2017). Nghiên cứu dao động ô tô tải sản xuất lắp ráp ở Việt Nam khi vận chuyển gỗ trên đường lâm nghiệp, *Luận án Tiến sĩ kỹ thuật*, trường Đại học Lâm nghiệp.

Thông tin phản biện: PGS. TS Nguyễn Thanh Quang; TS. Nguyễn Thanh Tùng