

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA VẬN TỐC ĐẾN DAO ĐỘNG CỦA HÀNH KHÁCH TRÊN XE KHÁCH TRANG BỊ HỆ THỐNG TREO KHÍ NÉN KHI DI CHUYỂN TRÊN MẶT ĐƯỜNG NGẪU NHIÊN

EVALUATE THE IMPACT OF SPEED ON THE VIBRATION OF PASSENGER
IN A BUS EQUIPPED WITH AN AIR SUSPENSION SYSTEM MOTION ON RANDOM ROAD PROFILES

Lương Ngọc Minh^{1,2}, Dương Ngọc Khánh^{2,*},
Tạ Tuấn Hưng³, Bùi Hà Phan¹

DOI: <http://doi.org/10.57001/huinh5804.2025.126>

TÓM TẮT

Bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc xe đến dao động hành khách trên xe khách được trang bị hệ thống treo khí nén. Mô hình dao động không gian của xe bus có mô tả đến dao động của từng hành khách. Kích động đường ngẫu nhiên được xây dựng theo ISO 8608:2016 làm đầu vào cho mô hình dao động. Sử dụng mô hình dao động để khảo sát đánh giá ảnh hưởng của vận tốc chuyển động của xe đến dao động của thân xe và của hành khách khi đi trên các loại đường ngẫu nhiên với cấp độ ISO A và ISO D. Kết quả khảo sát với dải vận tốc từ 10 đến 60km/h cho thấy vận tốc xe càng lớn thì dao động của xe khách càng tăng, ảnh hưởng đến độ êm dịu. Những kết quả này có thể được sử dụng làm cơ sở khoa học cho các nghiên cứu về tối ưu hoá hệ thống treo khí nén cho đối tượng xe khách.

Từ khóa: Xe khách, hệ thống treo khí nén, độ êm dịu, mặt đường ngẫu nhiên.

ABSTRACT

The article focuses on evaluating the impact of speed on passenger vibration in a bus equipped with an air suspension system, while traveling on random road profiles. A full oscillation model of the bus, which describes the oscillations of each passenger, is presented. The random road profile is generated according to ISO 8608:2016 and used as input for the oscillation model. The model is then used to survey and evaluate the influence of vehicle speed on the oscillations of the vehicle body and passengers while traveling on random road profiles of ISO A and ISO D classes. The survey results, which cover a speed range of 10 to 60 km/h, show that as the vehicle speed increases, so does the level of passenger oscillation, ultimately affecting ride comfort. These findings can serve as a foundation for further research on optimizing air suspension systems for passenger buses.

Keywords: Bus, air suspension system, ride comfort, random road profiles.

¹Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Vinh

²Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

³Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

*Email: khanh.duongngoc@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 21/01/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/4/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. GIỚI THIỆU

Trong ngành công nghiệp sản xuất ô tô nói chung và sản xuất ô tô khách nói riêng, bên cạnh việc chú trọng

nâng cao chất lượng vận hành và tính ổn định cho xe, các nhà sản xuất luôn đưa sự an toàn và thoải mái của hành khách lên là mục tiêu hàng đầu để nghiên cứu, cải tiến

các hệ thống trên xe, trong đó có hệ thống treo. Hệ thống treo truyền thống đều là kiểu treo thụ động vẫn chiếm phần lớn trên thị trường do chi phí thấp và thiết kế dễ tiếp cận. Theo thời gian, các thành phần khác đã được thêm vào và dần thay thế các thành phần thụ động như lò xo xoắn, nhíp lá hay thanh xoắn để cải thiện hiệu suất. Những năm gần đây, thành phần lò xo khí đã được sử dụng cho mục đích này, nhất là trên loại xe khách và xe có tải trọng lớn. Cùng với đó, nhiều nghiên cứu về hệ thống treo khí nén đã được tiến hành và công bố.

Trong nghiên cứu [1] đã chỉ ra hiệu suất của hệ thống treo đã có tác động đáng kể đến sự thoải mái của hành khách và độ bám đường của ô tô, phần tử lò xo khí nén có khả năng thay đổi độ cứng do đặc tính nén [2]. Trong [3] chỉ ra hệ thống treo khí nén ngoài khả năng điều chỉnh nhanh chóng để duy trì khoảng sáng gầm xe ổn định, đảm bảo xe luôn trong trạng thái tối ưu khi di chuyển trên mặt đường gồ ghề thì còn có thể điều chỉnh giảm độ cứng để hấp thụ các va đập, rung động khi xe di chuyển với tốc độ thấp và tự động hạ trọng tâm xe, tăng độ cứng khi xe di chuyển với tốc độ cao để đảm bảo sự ổn định và giảm thiểu dao động của xe. Trong nghiên cứu [4], mô hình Gensys được sử dụng để mô hình hoá phần tử lò xo không khí trong hệ thống treo khí nén đã mô tả tương đối đầy đủ các quá trình xảy ra trong bình khí và lò xo khí nén: quá trình nhiệt động học, quá trình ma sát, đàn hồi,... Đây là mô hình có thể áp dụng cho lò xo khí nén làm việc ở cả phương ngang và phương dọc và được xác định là có độ chính xác cao và phù hợp với điều kiện thực tế. Trong [5] so sánh hệ thống treo khí nén có bình khí phụ và hệ thống treo truyền thống, kết quả chỉ ra khả năng tăng tốc, hành trình nén và tải trọng của lốp được cải thiện lần lượt là 27%, 10% và 20%. Nghiên cứu [6] sử dụng hai chế độ điều khiển IMA (Interconnected Mode Activation) và OMA (Outsourced Mode Activation) và phương pháp điều khiển MPC (Model Predictive Control) với kết quả RMS của khối lượng treo và khối lượng không được treo đều giảm so với hệ thống treo truyền thống. Trong [7] sử dụng mô hình dao động không gian 7 bậc tự do và hệ thống điều khiển bao gồm bộ điều khiển chuyển mạch cho các chế độ kết nối và bộ điều khiển phân phối lực giảm chấn đã cho thấy các số liệu về gia tốc thẳng đứng, hành trình động, góc lắc ngang đều giảm so với hệ thống treo nhíp. Nghiên cứu [8] đã thực hiện xây dựng bộ thử hệ thống treo khí nén với 3 bộ truyền động là 3 xi lanh thủy lực dùng để đánh giá hiệu suất và kiểm chứng mô hình của hệ thống treo khí nén có điều khiển. Việc đánh giá độ êm dịu của xe dựa trên tiêu chuẩn ISO 2631-1 được thực hiện

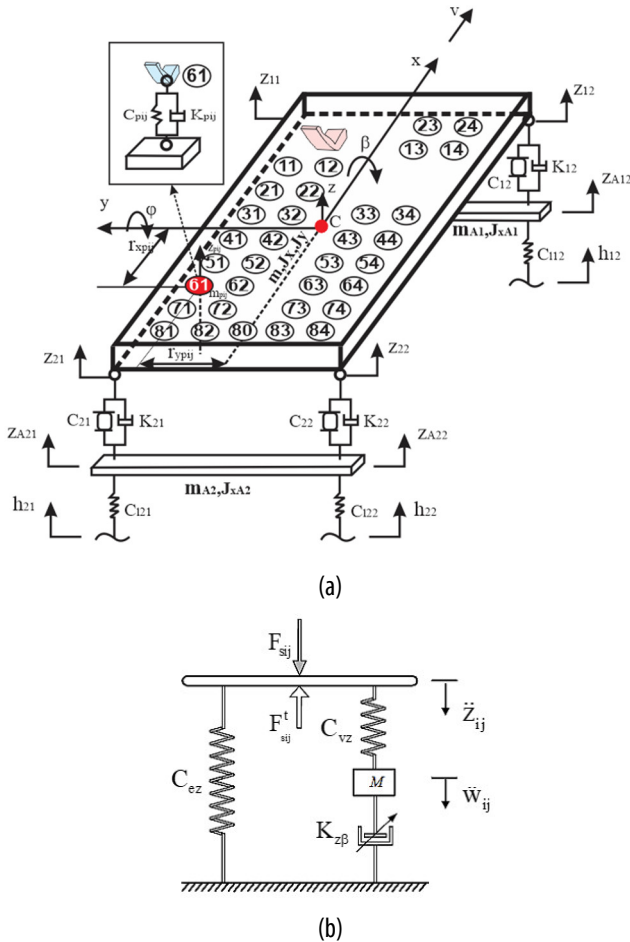
trong [9] với việc xây dựng mô hình 10 bậc tự do, yếu tố đầu vào sử dụng hàm PSD của mặt đường bê tông nhựa. Trong [10] đã thực hiện việc mô phỏng bằng phần mềm SIMPACK để đánh giá về sự kết hợp giữa giảm chấn và lò xo khí nén dựa trên mô hình động lực học nhiều vật, kết quả chỉ ra rằng hệ thống giảm chấn của treo trước nhỏ có thể làm giảm gia tốc thẳng đứng của thân xe nhưng lại làm tăng SWS (Suspension Warning System) của hệ thống treo. Về mặt an toàn của hệ thống treo, Qi H. và cộng sự [11] đã nghiên cứu tăng cường độ ổn định ngang dành cho xe khách 2 cầu với hệ thống treo khí nén giảm chấn thủy lực, các thông số được đánh giá bao gồm gia tốc ngang, góc quay, tốc độ lệch hướng, quỹ đạo xe, góc trượt ngang chuyển vị ngang, vận tốc ngang và vận tốc dài của xe. Trong [12] đã nghiên cứu về phương pháp điều khiển trạng thái liên kết và mô phỏng hệ thống treo khí nén liên động 4 góc, việc liên động 4 góc có thể nâng cao độ êm dịu một cách hiệu quả nhưng sẽ làm tăng cường độ rung lắc và tăng góc lắc ngang của xe, làm giảm độ ổn định của xe khi hoạt động trong các điều kiện quay vòng, tăng tốc hoặc giảm tốc. Trong [13] nghiên cứu thiết kế hệ thống treo chủ động có khả năng xử lý kết hợp tính phi tuyến của hệ thống treo với việc mô phỏng mô hình lò xo khí nén phi tuyến và thiết kế bộ điều khiển để cải thiện hiệu suất của hệ thống treo. Nghiên cứu [14] chỉ ra đối với hệ thống treo trên xe khách, không chỉ độ êm dịu của xe tác động đến độ thoải mái của hành khách mà còn phải xét đến thời gian trên xe, do vậy bên cạnh việc kiểm tra tác động hệ số tải trọng còn phải xét đến thời gian trên xe đối với cảm nhận về sự thoải mái của hành khách. Nghiên cứu [15] thực hiện mô phỏng hệ thống treo khí nén với cách thức kiểm soát liên kết ngang giúp vừa cải thiện hiệu suất cách ly rung động vừa ít ảnh hưởng đến độ ổn định của xe. Trong [16] có nghiên cứu xây dựng hệ thống treo khí liên kết song song, từ đó phân tích so sánh các đặc tính của hệ thống treo có liên kết và không có liên kết, kết quả cho thấy với hệ thống treo có lò xo khí được liên kết có thể giảm tải trọng động của khối lượng không được treo và cải thiện độ ổn định của xe, tăng khả năng bám đường của lốp xe.

Nghiên cứu của bài báo nhằm đánh giá ảnh hưởng của vận tốc đến dao động của xe khách trang bị hệ thống treo khí nén. Qua việc phân tích dao động của xe trên mặt đường gồ ghề, có thể xác định được các ngưỡng êm dịu của xe đối với các vận tốc khác nhau thông qua biểu đồ các giá trị bình phương trung bình của gia tốc (Root Mean Square - RMS). Kết quả này không chỉ có ý nghĩa về việc cải thiện thiết kế và cấu trúc của hệ thống treo khí

nén, mà còn đóng góp vào việc nâng cao các tiêu chuẩn an toàn giao thông.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Hệ phương trình dao động không gian



Hình 1. Mô hình dao động của ô tô khách trong không gian(a) và Mô hình Gensys (b)

* Các giả thiết khi xây dựng mô hình:

- Thân xe cứng tuyệt đối có khối lượng m và mô men quán tính khối lượng theo các trục J_x và J_y . Ba chuyển động của thân xe là dịch chuyển theo phương thẳng đứng của trọng tâm z , góc lắc dọc φ và góc lắc ngang β như hình 1a;

- Cụm cầu và bánh xe cũng được xem như một vật rắn có khối lượng m_{Ai} và mô men quán tính khối lượng J_{xAi} , chỉ dao động theo phương thẳng đứng z_{Ai} và dao động góc β_{Ai} quanh trục qua trọng tâm song song với phương chuyển động của ô tô ($i = 1$: cầu trước; $i = 2$: cầu sau).

- Hành khách và ghế được xem như một chất điểm có có tọa độ (r_{xij}, r_{yij}) có khối lượng m_{pij} chỉ dịch chuyển theo phương thẳng đứng của hành khách $\ddot{z}_{pij}$. Ghế hành khách được mô hình hoá như một hệ thống treo gồm

phần tử đàn hồi C_{pij} và giảm chấn K_{pij} (như hình 1a đối với xe 34 chỗ); Hệ thống treo phụ thuộc đối với cầu trước và cầu sau; Tác động lên mô hình là các kích thích h_{ij} từ mặt đường ngẫu nhiên ở 4 bánh xe với độ cứng C_{Lij} .

* Hệ phương trình dao động không gian:

- Giả thiết rằng người lái, hành khách và ghế liên kết với sàn xe thông qua một hệ đàn hồi. Với mỗi ghế có hành khách đều được đại diện bởi khối lượng ghế và người ngồi trên ghế (m_d và m_{pij}). Hệ phương trình dao động không gian 41 bậc tự do bao gồm 3 bậc chuyển động của thân xe, 4 bậc tự do của khối lượng không được treo và 34 bậc tự do của người lái và hành khách là dao động thẳng đứng của từng vị trí ghế ngồi bao gồm:

$$\begin{cases} m\ddot{z} = F_{c11} + F_{c12} + F_{c21} + F_{c22} + F_{k11} + F_{k12} \\ \quad + F_{k21} + F_{k22} + F_d + \sum F_{pij} \\ J_x\ddot{\beta} = (F_{c11} + F_{k11} - F_{c12} - F_{k12})w_1 \\ \quad + (F_{c21} + F_{k21} - F_{c22} - F_{k22})w_2 \\ \quad - M_{T1} - M_{T2} + M_{pxij} \\ J_y\ddot{\varphi} = (F_{c21} + F_{k21} + F_{c22} + F_{k22})l_2 \\ \quad - (F_{c11} + F_{k11} + F_{c12} + F_{k12})l_1 + M_{pyij} \\ m_{A1}\ddot{z}_{A1} = F_{c11} + F_{c12} - (F_{c11} + F_{k11} + F_{c12} + F_{k12}) \\ J_{xA1}\ddot{\beta}_{A1} = (F_{c11} - F_{c12})b_1 \\ \quad - (F_{c12} + F_{k12} - F_{c11} - F_{k11})w_1 + M_{T1} \\ m_{A2}\ddot{z}_{A2} = F_{c121} + F_{c122} - (F_{c21} + F_{k21} + F_{c22} + F_{k22}) \\ J_{xA2}\ddot{\beta}_{A2} = (F_{c121} - F_{c122})b_2 \\ \quad - (F_{c22} + F_{k22} - F_{c21} - F_{k21})w_2 + M_{T2} \\ m_d\ddot{z}_d = F_d \\ m_{pij}\ddot{z}_{pij} = F_{pij} \quad (i = 1 \div 8; j = 1 \div 4) \\ m_{p80}\ddot{z}_{p80} = F_{p80} \end{cases} \quad (1)$$

Với F_{ci} , F_{ki} là lực liên kết hệ thống treo; F_d , F_{pij} là lực liên kết từ ghế lái và ghế hành khách; M_{pxij} và M_{pyij} biểu diễn mô men do các thành phần lực F_{pij} của ghế hành khách tác động lên sàn xe quanh các trục lắc dọc, lắc ngang:

$$\begin{aligned} M_{pxij} &= - \sum_{i=1, j=1}^{i=8, j=2} F_{pij} r_{yij} + \sum_{i=1, j=3}^{i=8, j=4} F_{pij} r_{yij} \\ M_{pyij} &= \sum_{i=1, j=1}^{i=3, j=4} F_{pij} r_{xij} - \sum_{i=4, j=1}^{i=8, j=4} F_{pij} r_{xij} - F_{p80} r_{x80} \end{aligned} \quad (2)$$

Mô hình Gensys (Hình 1b) được sử dụng để xác định lực liên kết của hệ thống treo khí nén theo các công thức 3 và 4 với A_e : Diện tích hiệu dụng của ballon khí nén (m^2); A_p : Tiết diện trong của đường ống (m^2); V_{b0} : Thể tích ban

đầu của ballon khí nén (m^3); V_{r0} : Thể tích ban đầu của bình khí phụ (m^3) [17-19].

$$F_{sij} = (p_0 - p_a)A_e + C_{ez}(z_{sij} - \xi_{uij}) + C_{vz}(z_{sij} - w_{ij}) \quad (3)$$

$$M\ddot{w}_{ij} = C_{vz}(z_{sij} - w_{ij}) - K_{z\beta} |\dot{w}_{ij}|^\beta \text{sign}(\dot{w}_{ij}), \quad \beta=1,8 \quad (4)$$

Hệ số cản của hệ thống treo trong công thức 4 được tính:

$$K_{z\beta} = K_s \left(\frac{A_e}{A_p} \frac{V_{r0}}{V_{b0} + V_{r0}} \right)^{1+\beta} \quad (5)$$

2.2. Mô hình mặt đường ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn ISO 8606:2016

Tiêu chuẩn ISO 8606:2016 là tiêu chuẩn quốc tế về mô hình hoá bề mặt đường ngẫu nhiên, cung cấp hướng dẫn và các thông số kỹ thuật như trong Bảng 1 để mô phỏng điều kiện đường thực tế theo 8 loại đường từ A đến H. Phương trình (6), (7) biểu diễn biên độ mấp mô mặt đường theo tần số góc không gian Ω hoặc theo tốc độ vòng quay n_0 , với $w = 2$ là số mũ đặc trưng của phổ công suất của đường và $\Phi(\Omega_0)$ và $\Phi(n_0)$ [20].

$$\Phi(\Omega) = \Phi(\Omega_0) \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{-w} \quad (6)$$

$$\Phi(n) = \Phi(n_0) \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-w} \quad (7)$$

Bảng 1. Thông số của các cấp đường theo tiêu chuẩn ISO8608 :2016 [20]

Cấp đường	Cấp độ mấp mô					
	$\Phi(\Omega_0) (10^{-6}m^3)$			$\Phi(n_0) (10^{-6}m^3)$		
	Giới hạn dưới	Trung bình	Giới hạn trên	Giới hạn dưới	Trung bình	Giới hạn trên
A	-	1	2	-	16	32
B	2	4	8	32	64	128
C	8	16	32	128	256	512
D	32	64	128	512	1024	2048
E	128	256	512	2048	4096	8192
F	512	1024	2048	8192	16384	32768
G	2048	4096	8192	32768	65536	131072
H	8192	16384	-	131072	262144	-
$\Omega_0 = 1\text{rad/m}$			$n_0 = 0,1 \text{ cycles/m}$			

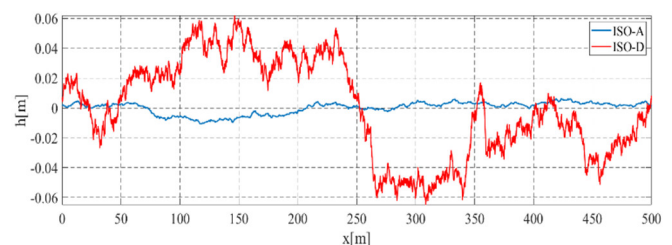
3. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Mô phỏng thực hiện trên phần mềm Matlab Simulink với đối tượng xe khách Samco Felix Ci.34 (bảng 2). Các

biên dạng mặt đường loại A, D như hình 2 được giữ nguyên các thông số khi đánh giá dao động của xe với các vận tốc từ 10 - 60km/h. Chỉ tiêu đánh giá RMS theo TCVN 6964-1:2001 được đề xuất là ngưỡng tương đối khó chịu RMS = 1,25m/s² và ngưỡng rất khó chịu RMS = 2,5m/s² [22].

Bảng 2. Các thông số kỹ thuật xe khách Samco Felix Ci.34 [21]

TT	Thông số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Khối lượng phần được treo	m	8700	kg
2	Khối lượng phần không được treo trước và treo sau	m_{A1} , m_{A2}	266; 427	kg
3	Mô men quán tính theo trục x, y, z của khối lượng được treo	J_x , J_y , J_z	8371,8; 5705; 34493	kgm ²
4	Độ cứng của hệ thống treo trước và sau	C_{1j} , C_{2j}	177007; 193844	N/m
5	Hệ số cản của hệ thống treo trước và sau	K_{1j} , K_{2j}	7733; 9804	Ns/m
6	Độ cứng của lớp trước và sau	C_{L1j} , C_{L2j}	493211; 986422	N/m
7	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước và sau	l_1	2,1121	m
8	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau	l_2	2,0629	m
9	Chiều cao trọng tâm khối lượng được treo	h	1,0	m
10	Diện tích hiệu dụng của ballon khí nén	A_e	0,0327	m ²
11	Thể tích ban đầu của ballon khí nén	V_{b0}	0,028	m ³
12	Thể tích ban đầu của bình khí phụ	V_{r0}	0,048	m ³
13	Áp suất khí quyển	p_0	100000	N/m ²
14	Áp suất tuyệt đối ban đầu của ballon khí nén	p_a	600000	N/m ²

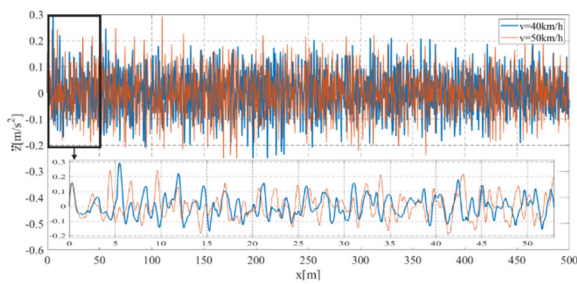


Hình 2. Biên dạng đường ngẫu nhiên loại A và D theo ISO8608 :2016

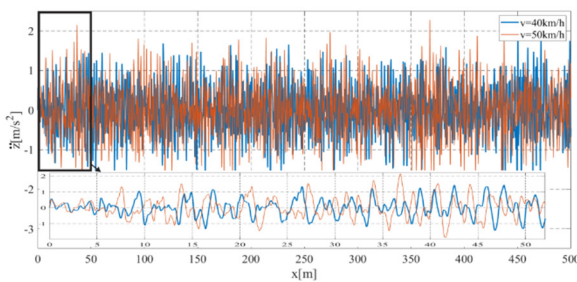
Một số kết quả mô phỏng được thể hiện từ hình 3 ÷ 8. Theo đồ thị gia tốc trọng tâm xe và đồ thị gia tốc của hành khách ghế 31 khi xe chạy trên mặt đường loại A (hình 3, 5) và loại D (hình 4, 6) có thể thấy khi xe di chuyển với vận tốc 40km/h và 50km/h không có sự chênh lệch đáng kể

về biên độ dao động. Nhưng khi xét biên độ dao động của xe trên mặt đường loại A có sự chênh lệch lớn so với khi xe di chuyển trên mặt đường loại D. Điều này được giải thích do tác động của chất lượng mặt đường đã ảnh hưởng lớn đến biên độ dao động của xe theo phương thẳng đứng.

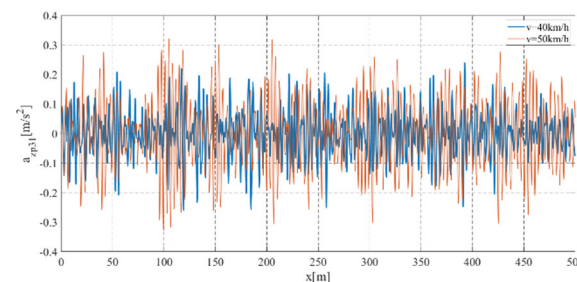
Khi xét các giá trị RMS của một số vị trí ghế ngồi trên xe theo hình 7a, 7b có thể thấy rằng khi xe di chuyển trên mặt đường loại A, vận tốc xe nằm trong dải 10 - 60km/h nhưng mọi vị trí trên xe đều nằm trong ngưỡng êm dịu. Khi xe di chuyển trên mặt đường loại D, với dải vận tốc thấp các vị trí ghế ngồi hầu hết vẫn ở dưới ngưỡng tương đối khó chịu, còn khi xe di chuyển với vận tốc lớn hơn 50km/h hầu hết các vị trí ghế ngồi đều nằm ngoài ngưỡng êm dịu. Đặc điểm này phù hợp với đặc tính chuyển động của xe khi di chuyển trên các loại mặt đường có độ mấp mô khác nhau. Ở vận tốc 30km/h trong cả hai trường hợp giá trị RMS tăng đột ngột, điều này được giải thích do hiện tượng cộng hưởng, khi tần số dao động riêng của hệ thống trùng hoặc gần bằng với tần số dao động kích thích.



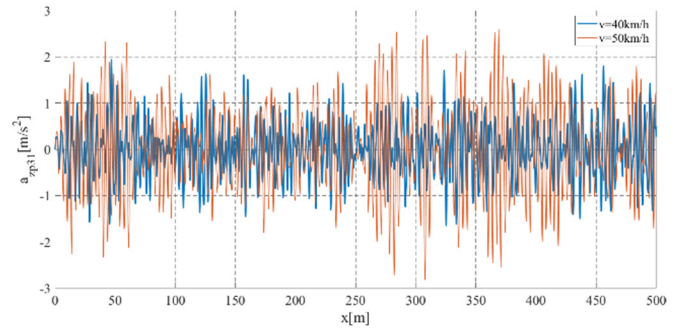
Hình 3. Gia tốc trọng tâm xe trên đường ISO-A



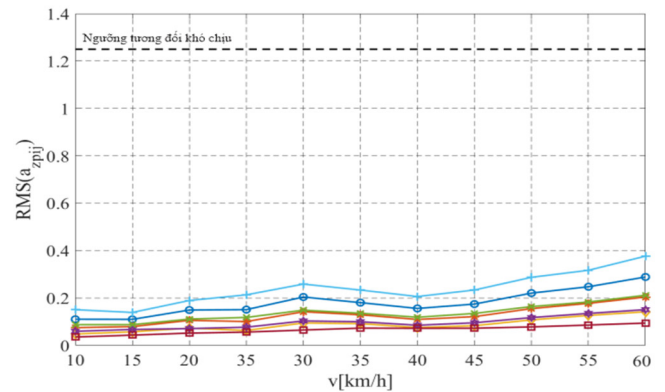
Hình 4. Gia tốc trọng tâm xe trên đường ISO-D



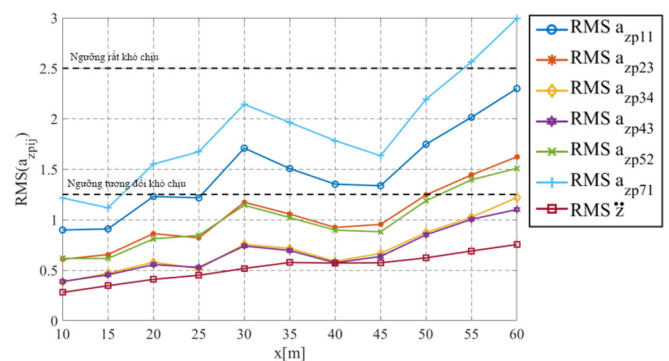
Hình 5. Gia tốc của hành khách ở ghế 31 trên đường ISO-A



Hình 6. Gia tốc của hành khách ở ghế 31 trên đường ISO-D



(a)



(b)

Hình 7. Giá trị RMS trên đường ISO-A (a) và đường ISO-D (b)

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu được thực hiện trên mô hình xe khách Samco Felix Ci.34 gồm có 41 bậc tự do, trong đó có 34 bậc tự do tương ứng với từng vị trí ghế ngồi trong thực tế và 7 bậc tự do của xe. Kết quả cho thấy, khi vận tốc của xe tăng lên thì biên độ dao động của xe cũng tăng theo, từ đó ảnh hưởng trực tiếp đến sự ổn định và độ êm dịu của xe. Hệ thống treo khí nén có khả năng giảm thiểu dao động tốt hơn các hệ thống treo truyền thống. Tuy vậy khi xét đến sự chuyển động của xe dưới sự tác động động của mặt đường ngẫu nhiên, hiệu quả giảm dao động cũng bị ảnh hưởng bởi sự tăng lên của vận tốc. Để đảm bảo sự an toàn và thoải mái cho hành khách, các nhà sản xuất và

người điều khiển cần chú ý đến việc điều chỉnh vận tốc tối đa cho phù hợp với điều kiện của từng loại mặt đường. Những kết quả và đánh giá từ nghiên cứu sẽ là cơ sở quan trọng để phát triển và cải tiến các hệ thống treo khí nén cho xe khách trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Rizal R., Keshavarzi A., Armansyah, Harmanto D., Kolahdooz A., "Optimization and comparative analysis of an AISD suspension system with inerter element for enhanced ride and handling," in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 2024. DOI: 10.1177/09544070241249517
- [2]. Moshchuk N., Li Y., Opitck S., "Air suspension system model and optimization (No. 2011-01-0067)," *SAE Technical Paper*, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4271/2011-01-0067>
- [3]. Huang Y., Shangguan W. B., Yin K., Wang M., Jiang Y., "Research and parameter optimization on ride comfort and road friendliness of interconnected air suspension for commercial vehicles (No. 2021-01-0316)," *SAE Technical Paper*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4271/2021-01-0316>.
- [4]. Abid H. J., Chen J., Nassar A. A., "Equivalent Air Spring Suspension Model for Quarter-Passive Model of Passenger Vehicles," *International Scholarly Research Notices*, 2015(1). DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/974020>
- [5]. M.M. Moheyeldin, Ali M. Abd-El-Tawwab, K.A. Abd El-gwwad, M.M.M. Salem "An analytical study of the performance indices of air spring suspensions over the passive suspension," *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7, 525–534, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.06.004>
- [6]. Ying Zhou, Zhongxing Li, Wenhao Yu, Yi Yu, "Cooperative Control of Interconnected Air Suspension Based on Model Predictive Control, Cooperative Control of Interconnected Air Suspension Based on Model Predictive Control," *Appl.Sci.*, 12, 9886, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12199886>
- [7]. Liqin Sun, Yong Lin, Guoqing Geng, Zhongxing Li, Haobin Jiang, "Research on Switching Interconnection Modes and Game Control of Interconnected Air Suspension," *Energies*, 12(17), 3218, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12173218>
- [8]. P. Karimi Eskandary, A. Khajepour, A. Wong, M. Ansari, "Analysis and optimization of air suspension system with independent height and stiffness tuning," *International Journal of Automotive Technology*, 17, 5, 807–816, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12173218>
- [9]. Dragan Sekulic, Vlastimir Dedovic, Srdjan Rusov, Slaviša Šalinic, Aleksandar Obradovic, "Analysis of vibration effects on the comfort of intercity bus users by oscillatory model with ten degrees of freedom," *Applied Mathematical Modelling*, 37, 8629–8644, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.03.060>
- [10]. Wang S., Yin C., Zhao H., "Matching of suspension damping and air spring based on multi-body dynamic model," *IERI Procedia*, 3, 15-21, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2012.09.004>
- [11]. Qi H., Zhang B., Zhang N., Zheng M., Chen Y., "Enhanced lateral and roll stability study for a two-axle bus via hydraulically interconnected suspension tuning," *SAE International Journal of Vehicle Dynamics, Stability, and NVH*, 3(10-03-01-0001), 5-18, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4271/10-03-01-0001>
- [12]. Zhongxing L., Ying Z., Xiao Z., Hong J., Hongtao X., "Interconnected state control method and simulations of four-corner interconnected air suspension," *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 689, 1, 01, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/689/1/012013>
- [13]. Xiao J., Kulakowski B. T., Cao M., "Active air-suspension design for transit buses," *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, 14(4), 421-440, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJHVS.2007.015710>
- [14]. Shen X., Feng S., Li Z., Hu B., "Analysis of bus passenger comfort perception based on passenger load factor and in-vehicle time," *SpringerPlus*, 5, 1-10, 2016. DOI: 10.1186/s40064-016-1694-7
- [15]. Li Z., Ju L., Jiang H., Xu X., "Imitated skyhook control of a vehicle laterally interconnected air suspension," *International Journal of Vehicle Design*, 74(3), 204-230, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJVD.2017.086430>
- [16]. Xu X., Zou N. N., Chen L., Cui X. L., "Modelling and analysis of parallel-interlinked air suspension system based on a transfer characterisation," *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, 12(1), 1-23, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJNV.2016.077468>
- [17]. Li C., Jing Y., Ni J., "Uncertainty Analysis and Design of Air Suspension Systems for City Buses Based on Neural Network Model and True Probability Density," *Machines*, 11(8), 791, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines11080791>
- [18]. Gavriloski V., Jovanova J., Tasevski G., Djidrov M., "Development of a new air spring dynamic model," *FME Transactions*, 42(4), 305-310, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5937/fmet1404305G>
- [19]. Le V. Q., "Comparing the performance of suspension system of semi-trailer truck with two air suspension systems," *Vibroengineering Procedia*, 14, 220-226, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2017.19224>
- [20]. ISO8608:2016, Mechanical vibration - Road surface profiles - Reporting of measured data.
- [21]. Samco Felix Ci.34, <https://samcobus.vn/Content/UserFiles/Files/Products/kgqa-be4.pdf>
- [22]. TCVN 6964-1:2001, Rung động và chấn động cơ học - đánh giá sự tiếp xúc của con người với rung toàn thân.

AUTHORS INFORMATION

Luong Ngoc Minh^{1,2}, Duong Ngoc Khanh², Ta Tuan Hung³, Bui Ha Phan¹

¹Institute of Engineering & Technology, Vinh University, Vietnam

²School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam

³Institute of Mechanical and Automotive Engineering, University of Transport Technology, Vietnam