

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA VẬN TỐC VÀ LOẠI ĐƯỜNG TỚI ĐỘ ÊM DỊU CỦA Ô TÔ KHÁCH TRANG BỊ HỆ THỐNG TREO KHÍ NÉN THE EFFECT OF VELOCITY AND ROAD SURFACE ON THE RIDE COMFORT OF BUSES EQUIPED AIR SUSPENSION

ĐẶNG VIỆT HÀ

Cục Đăng kiểm Việt Nam

*Email liên hệ: hadv2011@gmail.com

Tóm tắt

Dao động của ô tô khách bị ảnh hưởng bởi các điều kiện vận hành như vận tốc, loại đường. Trong quá trình chuyển động, dao động ảnh hưởng đến đường, xe và người lái. Độ êm dịu được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của dao động đến người lái thông qua tiêu chí gia tốc bình phương trung bình (arms). Bài báo này nghiên cứu xác định vận tốc giới hạn của ô tô khách sử dụng hệ thống treo khí nén theo tiêu chí độ êm dịu trên cơ sở khảo sát mô hình không gian. Kết quả nghiên cứu cho thấy cảm giác thoải mái chỉ đạt được trong điều kiện vận hành với vận tốc không quá 55,4 km/h trên đường loại A hoặc vận tốc không quá 13,7 km/h trên đường loại B; với vận tốc lớn hơn 44 km/h trên đường loại D sẽ gây ra cảm giác cực kỳ khó chịu cho người lái.

Từ khóa: Độ êm dịu, ô tô khách, hệ thống treo khí nén, vận tốc giới hạn.

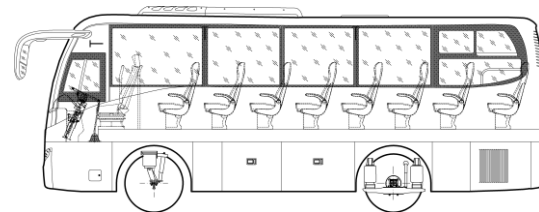
Abstract

Vibrations of bus is affected by operating conditions such as velocity and road surface. During the motion, the vibration affects the road, vehicle and driver. Ride comfort is used to evaluate the effect of vibrations on driver through the root mean square acceleration (arms). This research paper determined the limit velocity of bus used the air suspension according to the ride comfort based on surveying the full model. Research results show that ride comfort is only achieved in operating conditions with the velocity does not exceed 55.4 km/h on type A of random road or not exceed 13.7 km/h on type B; when the velocity exceed 44 km/h on type D, this causes extremely uncomfortable feeling for the driver.

Keywords: Ride comfort, bus, air suspension, limit velocity.

1. Đặt vấn đề

Hệ thống treo khí nén được biết đến có nhiều ưu điểm trong việc giảm tải trọng động và nâng cao độ êm dịu [1]. Hiện nay, tại thị trường Việt Nam hầu hết các loại ô tô khách cỡ trung bình và cỡ lớn (34 đến 47 chỗ) đều đã sử dụng hệ thống treo khí nén (Hình 1). Điều đó cho thấy các nhà sản xuất lắp ráp ô tô khách đã quan tâm đến tính tiện nghi và độ êm dịu của loại phương tiện này.



Hình 1. Mẫu ô tô khách điển hình

Trong quá trình chuyển động, dao động của ô tô ảnh hưởng đến đường, bản thân chiếc xe và người ngồi, được mô tả trong mối quan hệ “đường - xe - người”. Tải trọng động sinh ra trong quá trình dao động ảnh hưởng đến đường, gây ra các hư hỏng mặt đường. Mặt khác phản lực bánh xe từ đường tác động trở lại xe, ảnh hưởng đến độ bền chi tiết của xe và gây ra hiện tượng tách bánh. Dao động được hình thành dưới kích động của mặt đường tác động đến thân xe, ảnh hưởng đến vị trí người lái. Cảm giác thoải mái hay khó chịu của người lái được đánh giá bởi các thông số đặc trưng của dao động như gia tốc dao động, thời gian tác động.

Ô tô khách là phương tiện có yêu cầu cao về an toàn và phải đảm bảo tính tiện nghi, trong đó độ êm dịu là yếu tố quan trọng. Độ êm dịu bị ảnh hưởng bởi yếu tố kết cấu của hệ thống treo, lốp; yếu tố cấu trúc xe (khoảng cách trục, vị trí trọng tâm xe,...) và điều kiện vận hành như: vận tốc xe, loại đường [2].

Có nhiều tiêu chí đánh giá độ êm dịu có thể kể đến như: Tần số dao động riêng, gia tốc dao động, hệ số êm dịu, lượng dao động tới hạn. Tần số dao động riêng chỉ phụ thuộc vào các thông số kết cấu; các tiêu chí còn lại ngoài phụ thuộc kết cấu còn phụ thuộc điều

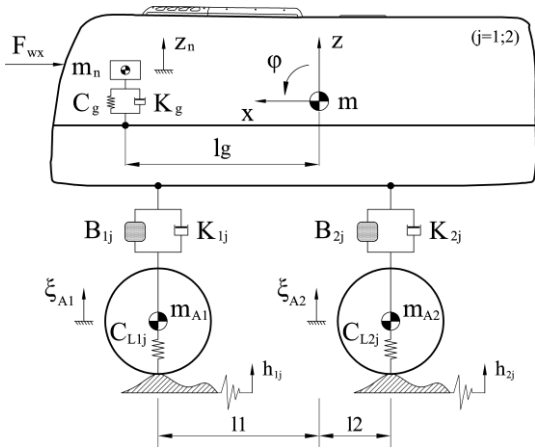
kiện vận hành như vận tốc xe, loại đường. Hiện nay, độ êm dịu là tiêu chí được quy định trong các tiêu chuẩn quốc tế như ISO 2631-1:1997 [3], BS 6841 [4]. Tại Việt Nam, độ êm dịu của ô tô khách được đánh giá thông qua tiêu chí tần số dao động riêng quy định tại QCVN 09:2015/BGTVT [5] và các tiêu chí của tiêu chuẩn TCVN 6964-1:2001 [6].

Để có cơ sở xác định vận tốc giới hạn theo tiêu chí độ êm dịu, một mô hình không gian 8 bậc tự do được xây dựng để khảo sát, với kích động mặt đường dạng ngẫu nhiên. Mô hình mô phỏng bằng Matlab-Simulink. Trong nghiên cứu này, tiêu chí độ êm dịu được đánh giá tại vị trí người lái.

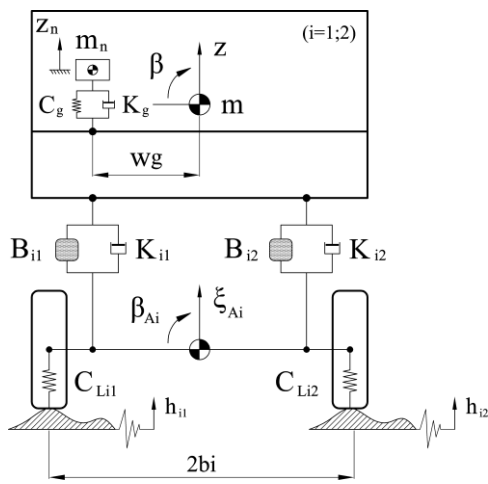
2. Xây dựng mô hình

2.1. Mô hình động lực học

Mô hình không gian của ô tô khách có cấu trúc như Hình 2.



(a) Trong mặt phẳng dọc



(b) Trong mặt phẳng ngang

Hình 2. Mô hình không gian của ô tô khách

Trong Hình 2, mô tả cấu trúc của mô hình không gian, có tính đến kết cấu của ghế lái thông qua độ cứng của ghế C_g , hệ số cản của ghế K_g . Vị trí ghế lái được xác định thông qua kích thước l_g và w_g . Ký hiệu m_n , m_{Ai} là khối lượng của người lái và khối lượng không được treo của trục trước, trục sau; B_{ij} là ballon khí nén tại các bánh xe; K_{ij} là hệ số cản của giảm chấn; C_{Lij} là độ cứng của lốp ($i=1$ trục trước; $i=2$ trục sau), ($j=1$ bên trái, $j=2$ bên phải).

Các phương trình động lực học của xe:

$$m_n z_n = F_{Cg} + F_{Kg} \quad (1)$$

$$mz = \sum_{j=1}^2 (F_{C1j} + F_{K1j} + F_{C2j} + F_{K2j}) - F_{Cg} - F_{Kg} \quad (2)$$

$$J_y \phi = \sum_{j=1}^2 \left(-l_1 (F_{C1j} + F_{K1j}) + l_2 (F_{C2j} + F_{K2j}) - (h_w - h_c) F_{wx} \right) \quad (3)$$

$$J_x \beta = \sum_{j=1}^2 \left(w_i (F_{C1j} + F_{K1j} - F_{C2j} - F_{K2j}) - M_{fi} \right) - w_g (F_{Cg} + F_{Kg}) \quad (4)$$

$$m_{Ai} \xi_{Ai} = F_{CLi1} + F_{CLi2} - F_{G1} - F_{K1j} - F_{G2} - F_{K2j} \quad (5)$$

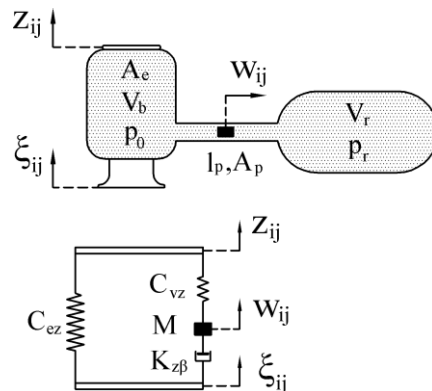
Trong đó: F_{Kij} , F_{CLij} là lực cản giảm chấn của hệ thống treo và lực đàn hồi của lốp, được xác định như sau:

$$F_{Kij} = K_{ij} (\xi_{ij} - z_{ij}) \quad (6)$$

$$F_{CLij} = \begin{cases} C_{Lij} (h_{ij} - \xi_{ij}) & \text{khi } h_{ij} - (\xi_{ij} - f^t) \geq 0 \\ 0 & \text{khi } h_{ij} - (\xi_{ij} - f^t) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

2.2. Mô hình hệ thống treo khí nén

Mô hình hệ thống treo khí nén được xây dựng sử dụng mô hình GENSYS [7], [8] như Hình 3 để xác định lực liên kết F_{Cij} .



Hình 3. Mô hình hệ thống treo khí nén

Mô hình hệ thống treo khí nén gồm 3 thành phần: Ballon khí nén, bình khí phụ và đường ống dẫn khí. Khi mô hình hóa gồm 3 thành phần: Thành phần đàn hồi (C_{ez} , C_{vz}), thành phần cản ($K_{z\beta}$) và thành phần quán tính (M). z_{ij} , ζ_{ij} , w_{ij} là chuyển vị mặt trên, mặt dưới của ballon khí nén và chuyển vị của dòng khí trong đường ống.

- Phương trình xác định lực liên kết của hệ thống treo:

$$F_{Cij} = (p_0 - p_a)A_e + C_{ez}(z_{ij} - \zeta_{ij}) + C_{vz}(z_{ij} - w_{ij}) \quad (8)$$

- Phương trình động lực học dòng khí trong ống:

$$M\dot{w}_{ij} = C_{vz}(z_{ij} - w_{ij}) - K_{z\beta}|w_{ij}|^\beta \text{sign}(w_{ij}) \quad (9)$$

- Độ cứng của hệ thống treo khí:

$$C_{ez} = \frac{p_0 A_e^2 n}{V_{b0} + V_{r0}}; \quad C_{vz} = C_{ez} \frac{V_{r0}}{V_{b0}} \quad (10)$$

- Khối lượng dòng khí quy đổi:

$$M = l_p A_p \rho \left(\frac{A_e}{A_p} \frac{V_{r0}}{V_{b0} + V_{r0}} \right)^2 \quad (11)$$

- Hệ số cản quy đổi của hệ thống treo:

$$K_{z\beta} = K_s \left(\frac{A_e}{A_p} \frac{V_{r0}}{V_{b0} + V_{r0}} \right)^{4+\beta} \quad (12)$$

Trong đó:

- F_{Cij} : Lực liên kết của hệ thống treo khí nén theo phương thẳng đứng, (N);
- C_{ez} : Độ cứng đàn hồi của hệ thống treo khí nén, (N/m);
- C_{vz} : Độ cứng nhớt hệ thống treo khí nén, (N/m);
- M : Khối lượng dòng khí quy đổi, (kg);
- z_{ij} : Chuyển vị mặt trên của ballon khí nén, (m);
- ζ_{ij} : Chuyển vị mặt dưới của ballon khí nén, (m);
- w_{ij} : Chuyển vị dòng khí trong đường ống, (m);
- p_0 : Áp suất tuyệt đối ban đầu của ballon khí nén, (N/m²);
- p_a : Áp suất khí quyển, (N/m²);
- A_e : Diện tích hiệu dụng của ballon khí nén, (m²);
- A_p : Tiết diện trong của đường ống, (m²);
- l_p : Chiều dài đường ống, (m);
- V_{b0} : Thể tích ban đầu của ballon khí nén, (m³);
- V_{r0} : Thể tích ban đầu của bình khí phụ, (m³);
- n : Hệ số đoạn nhiệt, lấy $n = 1,4$;
- ρ : Khối lượng riêng không khí, (kg/m³);
- $K_{z\beta}$: Hệ số cản quy đổi của khí nén trong đường ống (Ns/m).

2.3. Hàm kích động

Kích động ngẫu nhiên được xây dựng theo ISO 8608:2016 [9], sử dụng phương pháp Sinusoidal [10], [11]. Chiều cao $h(x)$, được xác định theo công thức:

$$h(x) = \sum_{i=1}^N \sqrt{2 \cdot G_d(n_i) \cdot \Delta n_i} \cdot \cos(2\pi i \cdot \Delta n_i \cdot x + \varphi_i) \quad (13)$$

2.4. Các phương án khảo sát

Nghiên cứu này khảo sát với đường ngẫu nhiên loại A, B, C, D; xe chuyển động đều với vận tốc thay đổi từ 10km/h đến 80km/h (ký hiệu là v_{10} đến v_{80}) với bước nhảy 5km/h.

3. Tiêu chí đánh giá

Tiêu chí đánh giá ảnh hưởng của dao động đến người là một hàm tích hợp của tần số kích động, gia tốc và thời gian tác động của dao động. Các tiêu chí đánh giá độ êm dịu gồm [12]:

- Tần số dao động riêng;
- Hệ số êm dịu;
- Gia tốc dao động;
- Lượng dao động (VDV);
- Lượng dao động tới hạn (eVDV).

Tần số dao động riêng chỉ phụ thuộc vào các thông số kết cấu của hệ thống dao động; các tiêu chí như hệ số êm dịu, VDV, eVDV đều liên quan đến gia tốc dao động. Do đó, trong phạm vi nghiên cứu, bài báo này chọn gia tốc bình phương trung bình (a_{rms}) làm tiêu chí đánh giá độ êm dịu. Gia tốc bình phương trung bình a_{rms} được tính theo công thức sau [3]:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (14)$$

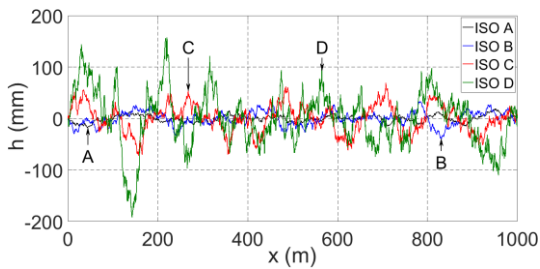
Trong đó, $a_w(t)$ là gia tốc trọng số tần số theo thời gian, tác động đến người lái, (m/s²); T là thời gian đo, (s). Các mức độ êm dịu theo ngưỡng được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Mức độ êm dịu [3]

a_{rms} (m/s ²)	Mức độ êm dịu
< 0,315	Không khó chịu
0,315 ÷ 0,63	Hơi khó chịu
0,5 ÷ 1,0	Khá khó chịu
0,8 ÷ 1,6	Khó chịu
1,25 ÷ 2,5	Rất khó chịu
> 2	Cực kỳ khó chịu

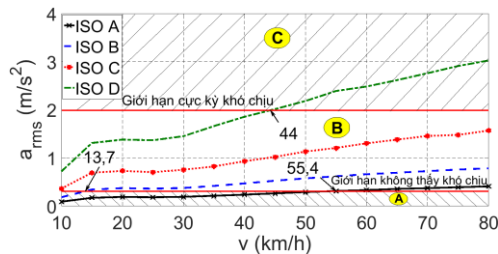
4. Kết quả và thảo luận

Biên dạng đường ngẫu nhiên theo ISO 8608, thiết lập theo công thức (13) được biểu diễn trong đồ thị Hình 4 với các loại đường A, B, C, D.



Hình 4. Biên dạng đường ngẫu nhiên loại A đến D

Hình 5 biểu diễn gia tốc a_{rms} (tại vị trí người lái) theo vận tốc trên các loại đường ngẫu nhiên từ A đến D. Kết quả khảo sát cho thấy, khi tăng vận tốc, gia tốc a_{rms} tăng; khi thay đổi loại đường từ A đến D, gia tốc a_{rms} tăng. Đặc biệt a_{rms} tăng nhanh từ vận tốc 30km/h trở lên. Dựa trên các giới hạn theo Bảng 1, có thể phân chia a_{rms} thành 3 vùng: Vùng A “Không khó chịu”, vùng C “Cực kỳ khó chịu”, vùng B có nhiều mức độ êm dịu từ “Hơi khó chịu” đến “Rất khó chịu”. Với các đường giới hạn $a_{rms,gh} = 0,315m/s^2$ và $a_{rms,gh} = 2m/s^2$, sẽ xác định được các vận tốc giới hạn của xe trên từng loại đường. Cảm giác thoải mái (mức không khó chịu) chỉ đạt được trong điều kiện vận hành với vận tốc không quá 55,4km/h trên đường loại A hoặc vận tốc không quá 13,7km/h trên đường loại B; với vận tốc lớn hơn 44km/h trên đường loại D sẽ gây ra cảm giác cực kỳ khó chịu cho người lái.



Hình 5. Gia tốc a_{rms} theo vận tốc xe

Hình 6 và Bảng 2 là giá trị gia tốc a_{rms} theo vận tốc từ 10km/h đến 80km/h và loại đường ngẫu nhiên từ A đến D. Dựa trên các giới hạn tại Bảng 1 sẽ xác định các vùng giới hạn theo Bảng 3a và 3b.

Bảng 3a biểu diễn vùng giới hạn a_{rms} với các mức độ êm dịu gồm:

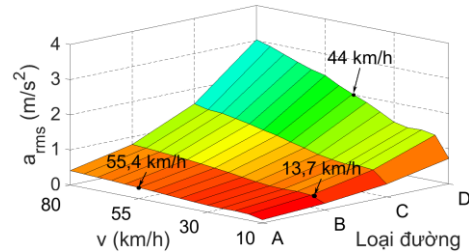
- Không khó chịu: $a_{rms} < 0,315m/s^2$;
- Hơi khó chịu: $a_{rms} = 0,315 \div 0,63 (m/s^2)$;
- Khó chịu: $a_{rms} = 0,8 \div 1,6 (m/s^2)$;
- Cực kỳ khó chịu: $a_{rms} > 2m/s^2$.

Bảng 3b biểu diễn vùng giới hạn a_{rms} với các mức độ êm dịu gồm:

- Khá khó chịu: $a_{rms} = 0,5 \div 1,0 (m/s^2)$;
- Rất khó chịu: $a_{rms} = 1,25 \div 2,5 (m/s^2)$.

Các kết quả nghiên cứu này có thể khuyến cáo cho người lái điều chỉnh vận tốc xe phù hợp với loại đường để có cảm giác êm dịu; hoặc làm cơ sở ban hành các quy định về thời gian lái xe, giới hạn tốc độ cho xe khách với các loại đường khác nhau.

5. Kết luận



Hình 6. Gia tốc a_{rms} theo vận tốc và loại đường

Bảng 2. Giá trị a_{rms} theo vận tốc và loại đường

	A	B	C	D
v10	0,092	0,184	0,365	0,721
v15	0,172	0,344	0,693	1,311
v20	0,190	0,374	0,731	1,382
v25	0,184	0,362	0,705	1,368
v30	0,193	0,376	0,756	1,452
v35	0,214	0,419	0,824	1,663
v40	0,238	0,471	0,933	1,856
v45	0,264	0,528	1,022	2,015
v50	0,292	0,576	1,134	2,184
v55	0,313	0,620	1,209	2,392
v60	0,332	0,662	1,304	2,484
v65	0,357	0,693	1,382	2,617
v70	0,373	0,727	1,457	2,762
v75	0,391	0,759	1,480	2,911
v80	0,410	0,785	1,569	3,026

Bảng 3a. Vùng giới hạn a_{rms} theo tiêu chí độ êm dịu

	A	B	C	D
v10	Không khó chịu (< 0,315)	Hơi khó chịu (0,315÷0,63)	Khó chịu (0,8÷1,6)	Cực kỳ khó chịu (> 2)
v15				
v20				
v25				
v30				
v35	Hơi khó chịu (0,315÷0,63)	Khó chịu (0,8÷1,6)	Cực kỳ khó chịu (> 2)	
v40				
v45				
v50	Không khó chịu (< 0,315)	Hơi khó chịu (0,315÷0,63)	Khó chịu (0,8÷1,6)	Cực kỳ khó chịu (> 2)
v55				
v60				
v65				
v70	Hơi khó chịu (0,315÷0,63)	Khó chịu (0,8÷1,6)	Cực kỳ khó chịu (> 2)	
v75				
v80	Hơi khó chịu (0,315÷0,63)	Khó chịu (0,8÷1,6)	Cực kỳ khó chịu (> 2)	
v80				

Bảng 3b. Vùng giới hạn a_{rms} theo tiêu chí độ êm dịu

	A	B	C	D
v10				
v15				
v20			Khá khó chịu (0,5÷1,0)	Rất khó chịu (1,25÷2,5)
v25				
v30				
v35				
v40				
v45		Khá khó chịu (0,5÷1,0)		
v50				
v55				
v60				
v65				
v70			Rất khó chịu (1,25÷2,5)	
v75				
v80				

Dao động của ô tô một mặt ảnh hưởng đến đường, độ bền chi tiết của xe, mặt khác ảnh hưởng đến người ngồi, gây ra các cảm giác mệt mỏi. Đối với ô tô khách, việc xác định vận tốc giới hạn theo loại đường là cần thiết, để đảm bảo độ êm dịu.

Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng cảm giác thoải mái (mức không khó chịu) chỉ đạt được trong điều kiện vận hành với vận tốc không quá 55,4km/h trên đường loại A hoặc vận tốc không quá 13,7km/h trên đường loại B; với vận tốc lớn hơn 44km/h trên đường loại D sẽ gây ra cảm giác cực kỳ khó chịu cho người lái. Các trường hợp còn lại gây ra cảm giác khác nhau từ hơi khó chịu đến rất khó chịu.

Kết quả nghiên cứu này làm cơ sở khoa học cho việc ban hành quy định về thời gian lái xe, giới hạn tốc độ cho xe khách với các loại đường khác nhau.

Các kết quả khảo sát này làm cơ sở hoàn thiện đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến độ êm dịu, bên cạnh yếu tố kết cấu còn có điều kiện vận hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Yang Chen, *Modeling control and design study of balanced pneumatic suspension for improved roll stability in heavy trucks*, Ph.D thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 2017.

[2] Le Xuan Long, Le Van Quynh, Bui Van Cuong, *Study on the influence of bus suspension parameters on ride comfort*, Journal of Vibroengineering (JVE), DOI <https://doi.org/10.21595/vp.2018.20271>, 2018.

[3] ISO 2631-1, *Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part I: General requirements*, 1997.

[4] BS 6841:1987, *Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock*, 2001.

[5] QCVN 09:2015/BGTVT, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng an toàn kỹ thuật và bảo vệ môi trường đối với xe ô tô*, 2015.

[6] TCVN 6964-1:2001, *Rung động và chấn động cơ học - Đánh giá sự chịu đựng của con người với rung động toàn thân - Phần 1: Yêu cầu chung*, 2001.

[7] Mats Berg, *A Three-dimensional airspring model with friction and orifice damping*, KTH, Stockholm, Sweden, 1999.

[8] Vũ Thành Niêm, Lưu Văn Tuấn, Đặng Việt Hà, *Nghiên cứu tổng quan mô hình hệ thống treo khí nén và áp dụng mô hình cho xe sơ mi rơ moóc*, Tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 6/2020, tr.113-118, 2020.

[9] ISO 8608:2016, *Mechanical vibration - Road surface profiles - Reporting of measured data*, 2016.

[10] Goenaga.B, Fuentes.L, Mora.O, *Evaluation of the methodologies used to generate random pavement profiles based of the power spectral density: an approach based on the international roughness index*, Ingenieria Investigation Vol.37 No.1, 2017.

[11] O. P. Joshi, T. A. Jadhav, P. R. Pawar and M. R. Saraf, *Invesigation effect of road roughness and vehicle speed on the dynamic response of the seven degree-of-freedom*, International Journal of Current Engineering and Technology, 2015.

[12] Đặng Việt Hà, *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số đến độ êm dịu chuyển động của ô tô khách được đóng mới ở Việt Nam*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Giao thông vận tải, 2010.

Ngày nhận bài:	12/7/2021
Ngày nhận bản sửa:	05/8/2021
Ngày duyệt đăng:	16/8/2021