

ĐÁNH GIÁ TẢI ĐỘNG CỦA SƠ MI RƠ MOỐC SỬ DỤNG HỆ THỐNG TREO KHÍ NÉN VÀ HỆ THỐNG TREO NHÍP

EVALUATION OF DYNAMIC LOAD FOR A SEMI-TRAILER TRUCK USING AIR-SPRING AND LEAF SPRING SUSPENSION SYSTEMS

Kiểu Đức Thịnh^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.376>

TÓM TẮT

Bài báo tiến hành so sánh khả năng giảm tải trọng động của đoàn xe sơ mi rơ moóc sử dụng hệ thống treo khí nén so với hệ thống treo nhíp truyền thống. Đầu tiên, một mô hình hệ thống treo khí nén được xây dựng dựa trên mô hình GENSYS, sau đó tiến hành mô phỏng mô hình toàn xe dựa trên phần mềm Matlab-Simulink nhằm đánh giá khả năng giảm tải trọng động của đoàn xe sơ mi rơ moóc sử dụng hệ thống treo khí nén so với nhíp dựa trên hệ số áp lực đường động DRSF (Dynamic Road Stress Factor). Các mô phỏng dao động của đoàn xe sơ mi rơ moóc được thực hiện trên các loại mặt đường ngẫu nhiên khác nhau từ A đến H theo tiêu chuẩn ISO 8608 với vận tốc đoàn xe thay đổi từ 20 đến 120km/h. Kết quả thu được cho thấy sự giảm đáng kể hệ số DRSF trên các trục xe sử dụng treo khí nén so với treo nhíp, đặc biệt khi xe đi trên đường xấu và tốc độ cao, với độ giảm lên đến 85%.

Từ khóa: Hệ thống treo khí nén, hệ số áp lực đường động, phá hủy mặt đường, tải trọng động, sơ mi rơ moóc.

ABSTRACT

This article evaluates the ability to reduce dynamic load of semi-trailer using air suspension systems compared to traditional leaf spring suspension systems. First, a model of the air suspension system was built based on the GENSYS model, then simulation of the whole vehicle model was conducted on Matlab-Simulink software to evaluate the ability to reduce dynamic loads of the semi-trailer using air suspension systems compared to leaf springs based on Dynamic Road Stress Factor (DRSF). Vibration simulations of the semi-trailer were performed on different types of random road surfaces from A to H according to ISO 8608 standards with vehicle speeds varying from 20 to 120km/h. The results obtained show a significant reduction in DRSF on semi-trailer axles using air suspension compared to leaf spring suspension, especially when the semi-trailer is traveling on bad roads and at high speeds, with the highest reduction up to 85%.

Keywords: Air suspension system, Dynamic Road Stress Factor, Road Surface Damage, dynamic load, Semi-trailer.

¹Trường Đại học Thủy lợi

*Email: kieu ducthinh@tlu.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/7/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/11/2024

Ngày chấp nhận đăng: 28/11/2024

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhu cầu vận chuyển hàng hóa đường dài bằng đoàn xe sơ mi rơ moóc (ĐXSMM) ngày càng gia tăng khi xã hội phát triển. Một trong những yếu tố được quan tâm đối với những loại xe tải trọng nặng này là yếu tố phá hủy mặt đường, cái mà liên quan đến áp suất bề mặt tiếp xúc giữa bánh xe và mặt đường. Hai hướng giải pháp chính được đưa ra là tăng diện tích tiếp xúc của các bánh xe và giảm tải trọng động của bánh xe tác dụng xuống đường. Với hướng giải pháp đầu có thể là sử dụng hệ thống treo cân bằng, lớp đỡ và phân bố đều tải trọng tĩnh [1]. Hướng thứ hai là giảm tải trọng động của bánh xe tác dụng xuống mặt đường bao gồm sử dụng hệ thống treo có điều khiển và sử dụng hệ thống treo khí nén. Phương án dùng hệ thống treo khí nén thay thế cho hệ thống treo nhíp truyền thống để giảm tải trọng động của bánh xe tác dụng xuống đường được sử dụng là chủ yếu do giá thành cao và năng lượng điều khiển lớn của hệ thống treo có điều khiển áp dụng trên xe tải trọng nặng.

Hệ thống treo khí nén có đặc tính phần tử đàn hồi phi tuyến, được sử dụng ngày càng phổ biến trên các xe tải trọng nặng, như tại Mỹ tính đến năm 2008 đã có 75% xe tải trọng nặng sử

dụng loại hệ thống treo này thay thế cho hệ thống treo nhíp [2]. Một số mô hình phổ biến được sử dụng để mô phỏng hệ thống treo khí nén như Vampire, Nishimura, Simpac, Cebo, Quaglia và GENSYS. Trong đó mô hình lò xo khí GENSYS mô tả tương đối đầy đủ các quá trình xảy ra trong lò xo khí [3, 4] nên được nghiên cứu, phát triển và ứng dụng rộng rãi bởi các nhà khoa học [5-7]. Đặng Việt Hà và cộng sự đã tiến hành xây dựng từ mô hình ¼ xe tải trọng nặng [8] nhằm đánh giá khả năng thân thiện với đường của hệ thống treo khí nén đến mô phỏng toàn bộ ĐXSMMR để đánh giá độ giảm tải trọng động so với đoàn xe sử dụng treo nhíp [9].

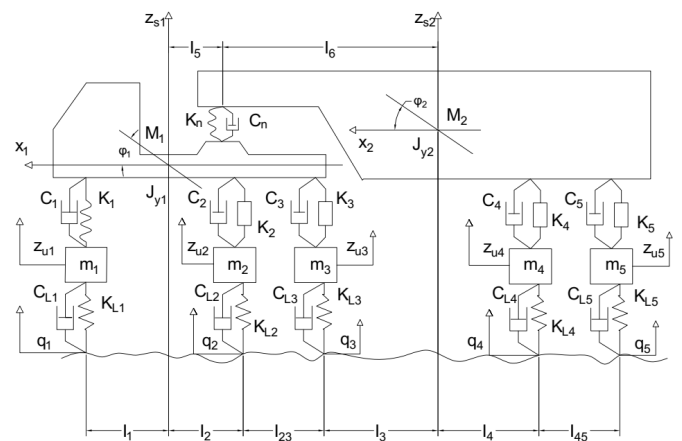
Vấn đề tải trọng động liên quan đến phá hủy mặt đường được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm như xây dựng tiêu chí đánh giá và các giải pháp làm giảm tải trọng động. Hệ số tải trọng động DLC (Dynamic Load Coefficient) được phát triển bởi Sweatman, hệ số áp lực đường động DRSF (Dynamic Road Stress Factor) được đề xuất bởi Eisenmann [10] là các tiêu chí được sử dụng phổ biến để đánh giá tải trọng động. Davis Lloyd và cộng sự [11, 12] nghiên cứu tiêu chí đánh giá và các giải pháp làm giảm tải trọng động, đưa ra khái niệm hệ số cân bằng tải trọng động (Dynamic Load Equalisation Coefficient). Buhari Rosnawati và cộng sự [13] so sánh hệ số tải trọng động DLC với các mô hình ¼ hệ thống treo nhíp và khí nén trên các xe tải trọng lớn, kết quả cho thấy DLC của hệ thống treo khí nén nhỏ hơn nhiều so với của hệ thống treo dùng nhíp. Các công trình này chủ yếu tập trung vào nghiên cứu mô hình ¼ hệ thống treo khí nén của các phương tiện như ô tô tải, ô tô khách và ĐXSMMR. Một số tác giả đã nghiên cứu tải trọng động của ĐXSMMR, như với hệ thống treo sử dụng nhíp được nghiên cứu bởi tác giả Phan Tuấn Kiệt [14]. Các nghiên cứu về tải trọng động sử dụng hệ thống treo khí nén trên ĐXSMMR với mô hình toàn xe phải kể đến công trình của nhóm tác giả Lê Văn Quỳnh [15], Vũ Thành Niêm [16]. Các công trình này chỉ dừng lại ở nghiên cứu các chuyển động thẳng đều và ở dải tốc độ thấp. Nghiên cứu mô hình ĐXSMMR với dải tốc độ và loại mặt đường ngẫu nhiên thay đổi được thực hiện bởi nhóm tác giả Đặng Việt Hà [9] khi kết hợp cả mô phỏng lý thuyết và thực nghiệm, công trình này sử dụng hệ số DLC để so sánh đánh giá tải trọng động của đoàn xe sử dụng hệ thống treo là nhíp và khí nén, tuy nhiên kết quả chỉ cho thấy hệ số DLC của đoàn xe sử dụng hệ thống treo khí nén nhỏ hơn đáng kể so với đoàn xe sử dụng nhíp khi di chuyển với tốc độ thấp khoảng 20 - 40km/h, ở tốc độ cao hơn độ giảm DLC là không đáng kể nên chưa thể hiện được nhiều ưu điểm của hệ thống treo khí nén so với hệ thống treo dùng nhíp.

Với mục đích so sánh mức độ giảm tải trọng động của ĐXSMMR sử dụng hệ thống treo khí nén và nhíp, những đóng góp chính của bài báo bao gồm là tiến hành xây dựng mô hình GENSYS cho hệ thống treo khí nén từ đó tích hợp vào mô hình toàn bộ ĐXSMMR 5 trục với 4 trục sau sử dụng hệ thống treo khí nén; tiến hành mô phỏng dao động của đoàn xe với dải tốc độ thay đổi từ 20 đến 120km/h và các loại mặt đường ngẫu nhiên thay đổi từ A đến H. Kết quả cho thấy hệ số DRSF giảm đáng kể tại các trục bánh xe sử dụng treo khí nén trên toàn bộ dải tốc độ và các loại đường, đặc biệt độ giảm tăng lên khi đi trên các loại đường xấu đi, vận tốc di chuyển tăng, độ giảm lớn nhất tại một số trục lên đến hơn 80%.

2. MÔ HÌNH ĐOÀN XE SƠ MI RƠ MOỐC

2.1. Mô hình dao động của đoàn xe

Mô hình ĐXSMMR 5 cầu được miêu tả trong hình 1, trong đó cầu số 1 dùng hệ thống treo nhíp, 4 cầu còn lại dùng hệ thống treo khí nén.



Hình 1. Mô hình ĐXSMMR sử dụng hệ thống treo khí nén

Các thông số thể hiện trong hình 1 bao gồm: M_1, M_2, J_{y1}, J_{y2} tương ứng là các khối lượng và mô men quán tính của khối lượng được treo của đầu kéo và moóc kéo đối với trục ngang đi qua trọng tâm của đầu kéo và moóc kéo tương ứng; m_i là khối lượng không được treo của các cầu của đầu kéo và moóc kéo; K_i, C_i tương ứng là hệ số độ cứng và hệ số giảm chấn của hệ thống treo các cầu; K_{Li}, C_{Li} tương ứng là hệ số độ cứng và hệ số giảm chấn của lớp xe các cầu; K_n, C_n là hệ số độ cứng và hệ số giảm chấn của cơ cấu nối moóc; z_{s1}, z_{s2} tương ứng là chuyển dịch thẳng đứng của trọng tâm phần được treo của đầu kéo và moóc kéo; φ_1, φ_2 tương ứng là chuyển dịch góc dọc của phần được treo của đầu kéo và moóc kéo; Z_{ui} tương ứng là chuyển dịch phần không được treo các cầu của đầu kéo và moóc kéo; q_i tương ứng là chiều cao mấp mô biên dạng đường tương ứng ở từng bánh xe của các cầu; x_1, x_2

tương ứng là tọa độ trọng tâm phần được treo của đầu kéo và moóc kéo theo phương chuyển động của xe; với các chỉ số $i = 1 \div 5$.

Các phương trình động lực học của đoàn xe được miêu tả trong hệ phương trình sau [17]:

$$\begin{cases} M_1 \ddot{z}_{s1} = F_{K1} + F_{C1} + F_{K2} + F_{C2} \\ \quad + F_{K3} + F_{C3} - F_{Kn} - F_{Cn} \\ J_{y1} \ddot{\phi}_1 = -(F_{K1} + F_{C1})l_1 + (F_{K2} + F_{C2})l_2 \\ \quad + (F_{K3} + F_{C3})(l_2 + l_{23}) - (F_{Kn} + F_{Cn})l_5 \\ M_2 \ddot{z}_{s2} = F_{K4} + F_{C4} + F_{K5} + F_{C5} \\ \quad + F_{Kn} + F_{Cn} \\ J_{y2} \ddot{\phi}_2 = (F_{K4} + F_{C4})l_4 + (F_{K5} + F_{C5})(l_4 + l_5) \\ \quad - (F_{Kn} + F_{Cn})l_6 \\ m_i \ddot{z}_{ui} = F_{KLi} + F_{CLi} - F_{Ki} - F_{Ci} \end{cases} \quad (1)$$

Phương trình cuối thể hiện 5 phương trình động lực học của các khối lượng không được treo với $i = 1 \div 5$.

Trong khuôn khổ của bài báo này, cả hai mô hình dao động của ĐXSMMR dùng hệ thống treo hoàn toàn bằng nhíp và đoàn xe dùng hệ thống treo khí nén đều được xây dựng để so sánh, đánh giá các thông số dao động. Trong hệ phương trình động lực học này F_{Ki} là các nội lực tác dụng của của phần tử đàn hồi, nếu là nhíp thì $F_{Ki} = K_i(z_{ui} - z_{si})$, phần tử đàn hồi là khí nén sẽ được trình bày trong mục 2.2. Các thông số khác F_{Ci} là lực cản của giảm chấn hệ thống treo, F_{KLi} , F_{CLi} là các lực đàn hồi và giảm chấn của lớp được tính như sau:

$$\begin{cases} F_{Ci} = C_i(\dot{z}_{ui} - \dot{z}_{si}) \\ F_{KLi} = K_{Li}(z_{ui} - q_i) \\ F_{CLi} = C_{Li}(\dot{z}_{ui} - \dot{q}_i) \end{cases} \quad (2)$$

Với z_{si} là dịch chuyển thẳng đứng của khối lượng được treo tại vị trí mỗi trục.

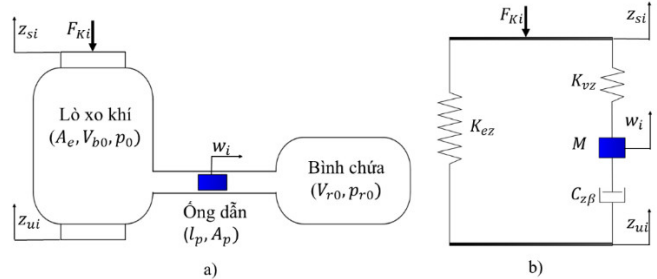
Công thức tính tải trọng động giữa bánh xe với mặt đường như sau:

$$F_{di} = K_{ti}(q_i - z_{ui}) + C_{ti}(\dot{q}_i - \dot{z}_{ui}), \quad (i = 1,2,3,4,5) \quad (3)$$

2.2. Mô hình hệ thống treo khí nén

Hệ thống treo khí nén của ĐXSMMR được mô hình hóa như trên hình 2 dưới dạng mô hình GENSYS [18]. Cấu tạo của mô hình này (hình 2a) gồm 3 bộ phận là lò xo khí, bình chứa và đường ống dẫn với các thông số A_e, V_{b0}, p_0 lần lượt là diện tích tác dụng, thể tích và áp suất ban đầu của lò xo khí; V_{r0}, p_{r0} lần lượt là thể tích và áp suất ban đầu của bình chứa khí phụ; l_p, A_p tương ứng là chiều dài và diện tích mặt cắt ngang của ống dẫn khí. Hệ thống treo khí nén được mô hình hóa theo mô hình GENSYS (hình 2b), với ba thành phần: đàn hồi, giảm chấn và khối lượng của luồng không khí tuần hoàn, trong đó K_{ez} và K_{vz}

tương ứng là hệ số đàn hồi của lò xo khí và hệ số đàn hồi trong bình chứa khí phụ và ống dẫn; M là khối lượng dòng khí quy đổi trong mô hình; $C_{z\beta}$ là hệ số giảm chấn của khí nén; z_{si}, z_{ui}, w_i tương ứng là chuyển vị của phần trên, phần dưới của lò xo khí và dòng không khí bên trong ống dẫn khí.



Hình 2. Mô hình hệ thống treo khí nén: (a) Mô hình vật lý; (b) Mô hình GENSYS

Tải trọng tĩnh của lò xo khí được tính như sau:

$$F_{zt} = (p_n - p_a)A_e \quad (4)$$

Với p_a là áp suất khí quyển.

Hệ phương trình xác định lực đàn hồi F_{Ki} của hệ thống treo khí nén như sau [9]:

$$\begin{cases} F_{Ki} = K_{ez}(z_{ui} - z_{si}) + K_{vz}(z_{ui} - z_{si} - w_i) \\ M\ddot{w}_i = K_{vz}(z_{ui} - z_{si} - w_i) \\ -C_{z\beta}|\dot{w}_i|^2 \text{sign}(\dot{w}_i) \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó:

$$K_{ez} = \frac{p_0 A_e^2 n}{V_{b0} + V_{r0}} \quad (6)$$

$$K_{vz} = K_{ez} \frac{V_{r0}}{V_{b0}} \quad (7)$$

$$M = l_p A_p \rho \left(\frac{A_e}{A_p} \frac{V_{r0}}{V_{b0} + V_{r0}} \right)^2 \quad (8)$$

$$C_{z\beta} = C_s \left(\frac{A_e}{A_p} \frac{V_{r0}}{V_{b0} + V_{r0}} \right)^3 \quad (9)$$

$$C_s = \frac{1}{2} \rho k_t A_p \quad (10)$$

2.3. Kích thích mặt đường

Loại mặt đường được sử dụng trong mô phỏng dao động của đoàn xe ĐXSMMR là loại mặt đường ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn quốc tế ISO 8608, với các loại đường từ A đến H, được miêu tả theo phương trình sau [19]:

$$\dot{z}_R(t) = 2\pi \cdot n_0 \cdot w(t) \cdot \sqrt{G_q(n_0) \cdot v} - 2\pi \cdot f_0 \cdot z_R(t) \quad (11)$$

Trong đó, t là thời gian mô phỏng, các ký hiệu trong công thức được giải thích trong bảng 1.

Bảng 1. Bảng các thông số mặt đường kích thích

Ký hiệu	Miêu tả	Giá trị	Đơn vị
$z_R(t)$	Mặt đường kích thích theo thời gian t	-	m
$G_q(n_0)$	Tham chiếu PSD của tần số không gian	16.10 ⁻⁶ (Loại A) 64.10 ⁻⁶ (Loại B) 256.10 ⁻⁶ (Loại C) 1024.10 ⁻⁶ (Loại D) 4094.10 ⁻⁶ (Loại E) 16384.10 ⁻⁶ (Loại F) 65536.10 ⁻⁶ (Loại G) 262144.10 ⁻⁶ (Loại H)	m ³
n_0	Tần số không gian tham chiếu	0,1	m ⁻¹
f_0	Tần số cắt	0,0628	Hz
$w(t)$	Tín hiệu nhiễu trắng Gaussian miền thời gian	-	-
v	Vận tốc xe	20 ÷ 120	km/h

2.4. Tiêu chuẩn đánh giá tải trọng động

Để đánh giá tải trọng động tác dụng xuống mặt đường, bài báo sử dụng hệ số áp lực đường động DRSF (Dynamic Road Stress Factor), phụ thuộc bậc 4 vào hệ số tải trọng động được tính như sau [10]:

$$DLSF = 1 + 6DLC^2 + 3DLC^4 \tag{12}$$

Trong đó:

DLC: hệ số tải trọng động (Dynamic Load Coefficient),

$$DLC = \frac{RMS(F_d)}{F_t};$$

F_t : tải trọng tĩnh tác dụng lên bánh xe;

$RMS(F_d)$: độ lệch chuẩn của tải trọng động F_d tác dụng lên bánh xe

Hệ số DRSF khi đi trên đường gồ ghề cho phép nhỏ hơn 1,46 [10].

3. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

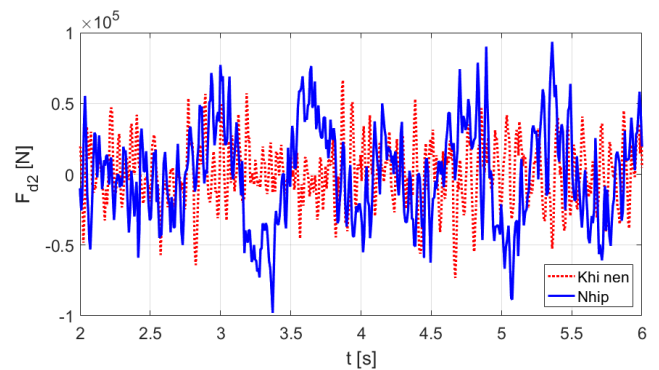
Mô hình ĐXSMMR 5 trục được mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink với các thông số được cho trong bảng 2.

Bảng 2. Bảng các thông số của ĐXSMMR 5 trục dùng hệ thống treo nhíp [20] và khí nén

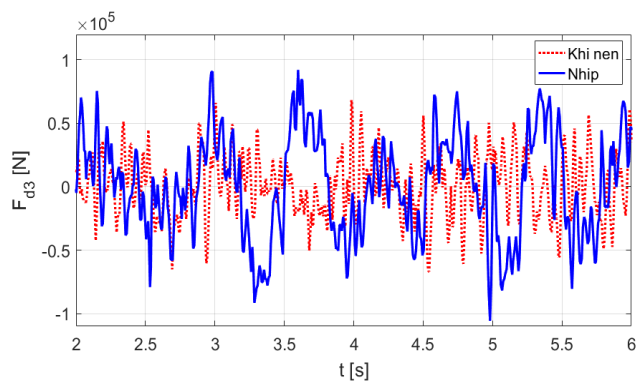
STT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Khối lượng được treo của đầu kéo	M_1	8720	kg
2	Khối lượng được treo rơ moóc	M_2	26830	kg

3	Khối lượng không được treo	m_{u1}	570	kg
		m_{u2}, m_{u3}	785	kg
		m_{u4}, m_{u5}	690	kg
4	Độ cứng của nhíp	K_1	2*250000	N/m
		$K_{2,3,4,5}$	2*700000	N/m
5	Thông số lò xo khí	M	116	kg
		K_{ez}	116000	N/m
		K_{vz}	220000	N/m
		c_{z2}	26000	N.s ² /m ²
6	Hệ số cản giảm chấn	$C_{1,2,3}$	2*15000	N.s/m
		$C_{4,5}$	2*30000	N.s/m
7	Độ cứng của lốp	K_{L1}	2*980000	N/m
		$K_{L2,3,4,5}$	2*1960000	N/m
8	Hệ số cản của lốp	C_{Li}	0	N.s/m
9	Các khoảng cách	l_1	1,6363	m
		l_2	1,4137	m
		l_{23}	1,3	m
		l_4	2,5306	m
		l_{45}	1,31	m
		l_5	1,8037	m
		l_6	6,2794	m
10	Mô men quán tính đầu kéo	J_{y1}	43223	kg.m ²
11	Mô men quán tính rơ moóc	J_{y2}	522690	kg.m ²

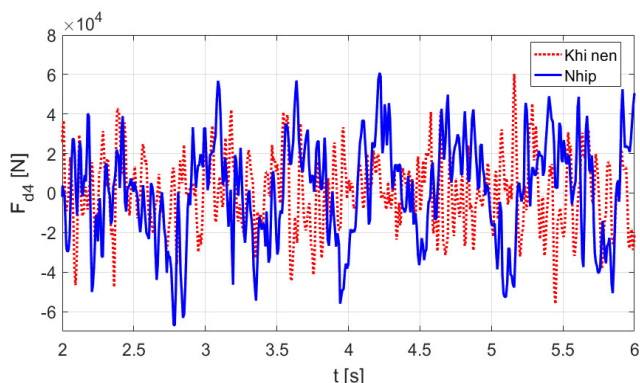
Hình 3 thể hiện tải trọng động của các trục 2, 3, 4, 5 là các trục sử dụng hệ thống treo khí nén cùng với tải trọng động tương ứng của ĐXSMMR dùng nhíp ở tốc độ 60km/h và chạy trên mặt đường loại F, các đồ thị cho thấy có sự giảm tương đối của tải trọng động trên các trục của ĐXSMMR sử dụng hệ thống treo khí nén. Bài báo còn so sánh một cách toàn diện các dải tốc độ khác nhau từ 20 đến 120km/h và các loại mặt đường khác nhau từ A đến H với tiêu chuẩn đánh giá sử dụng là hệ số áp lực đường động DRSF.



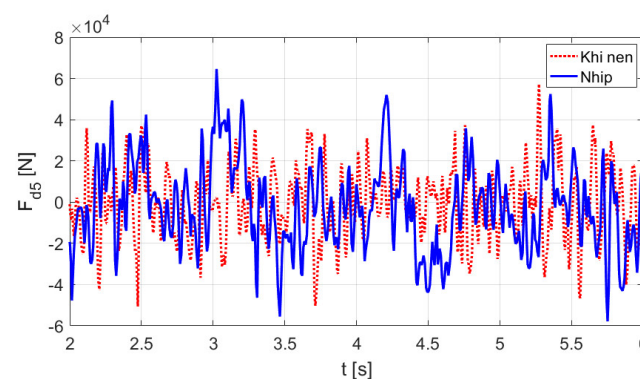
a) Trục 2



b) Trục 3



c) Trục 4



d) Trục 5

Hình 3. Tải trọng động tại các trục bánh xe 2, 3, 4, 5 với loại mặt đường F, tốc độ 60km/h

Độ giảm hệ số áp lực đường động DRSF của ĐXSMMR dùng hệ thống treo khí nén so với ĐXSMMR dùng nhíp tại trục bánh xe thứ i được tính theo công thức:

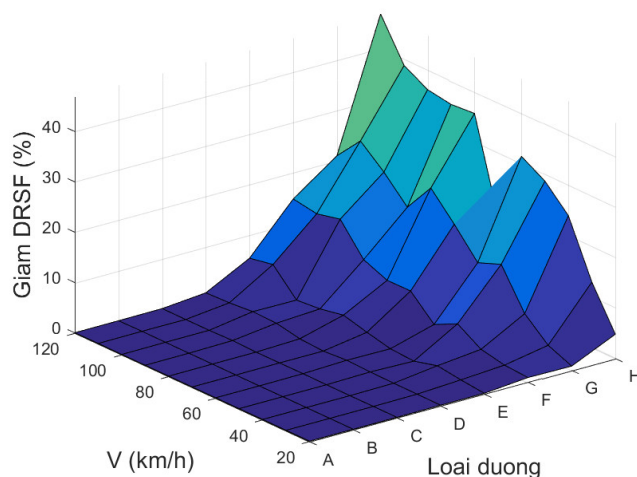
$$\Delta DRSF_i = \frac{DRSF_{nhíp-i} - DRSF_{Khinen-i}}{DRSF_{nhíp-i}} \times 100(\%) \quad (13)$$

Trong đó: $DRSF_{nhíp-i}$, $DRSF_{Khinen-i}$ là hệ số áp lực đường động của ĐXSMMR sử dụng hệ thống treo nhíp và khí nén với các trục bánh xe $i = 2 \div 5$, riêng với trục bánh xe thứ nhất thì cả hai ĐXSMMR đều sử dụng hệ thống treo nhíp, tuy nhiên do sự ảnh hưởng của toàn bộ hệ dao động của đoàn xe nên tải trọng động tại trục bánh xe thứ nhất

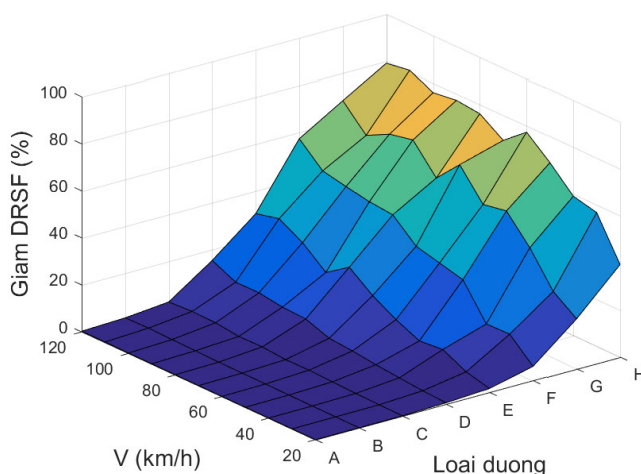
có sự thay đổi khi lắp trên ĐXSMMR sử dụng treo khí nén, do vậy cũng được so sánh đánh giá ở đây.

Độ giảm hệ số DRSF này được thể hiện trong các đồ thị a, b, c, d, e hình 4 tương ứng với 5 trục của ĐXSMMR. Nhìn vào các đồ thị này ta thấy độ giảm có giá trị nhỏ khi xe đi trên các đường tốt A, B, C, tuy nhiên giá trị độ giảm tăng rất nhanh khi đi trên loại đường xấu hơn và tốc độ tăng lên cao.

Các giá trị của độ giảm được thể hiện rõ hơn ở bảng 3, tại đây có thể thấy rõ rằng các trục từ 2 đến 5 của ĐXSMMR sử dụng hệ thống treo khí nén có sự giảm hệ số DRSF rất tốt so với nhíp, đặc biệt độ giảm tăng mạnh với các loại đường xấu từ D đến H và tốc độ tăng lên, với độ giảm lớn nhất là 80;761; 85,583; 62,079; 46,296% tương ứng với các trục 2, 3, 4, 5. Riêng với trục 1 của cả 2 loại xe đều sử dụng treo nhíp nhưng do ảnh hưởng của toàn bộ hệ thống treo, trục 1 của ĐXSMMR sử dụng treo khí nén cũng có sự giảm đáng kể với với đoàn xe lắp toàn bộ nhíp với độ giảm lớn nhất là 46,851%.



a) Trục 1



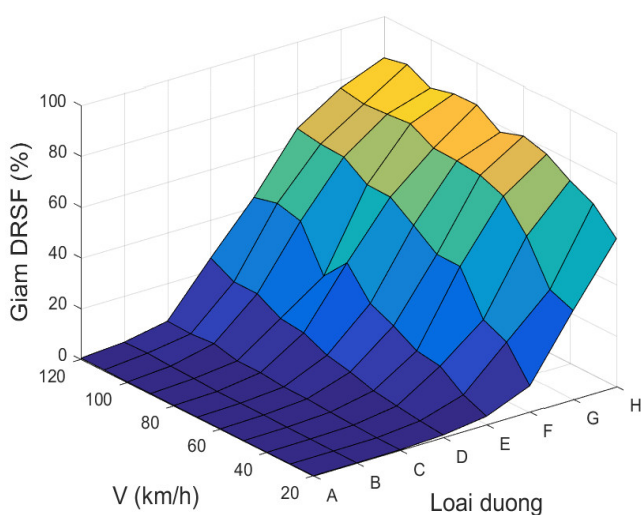
b) Trục 2

Bảng 3. Bảng độ giảm hệ số DRSF (%) của ĐXSMMR dùng hệ thống treo khí nén so với hệ thống treo nhíp tại các trục bánh xe

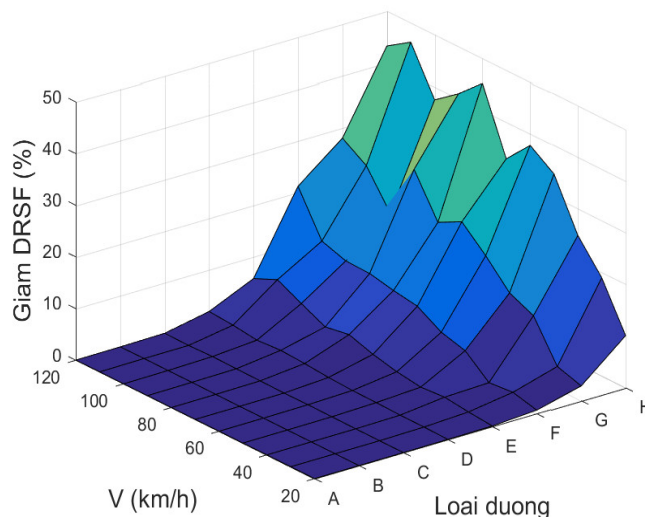
Trục	Loại đường	A	B	C	D	E	F	G	H
	Vận tốc (km/h)								
1	20	0,001	0,001	0,013	0,063	0,075	0,847	0,758	4,735
	30	0,001	0,009	0,026	0,109	0,594	1,165	2,748	12,943
	40	0,004	0,014	0,014	0,134	1,245	2,150	6,880	23,990
	50	0,003	0,018	0,034	0,220	0,013	5,066	14,524	28,707
	60	0,008	0,014	0,086	0,391	0,321	2,790	12,705	31,479
	70	0,009	0,023	0,069	0,067	1,441	7,295	18,192	17,364
	80	0,010	0,047	0,066	0,356	2,696	7,260	23,237	35,699
	90	0,018	0,060	0,212	1,306	1,789	9,212	17,283	35,351
	100	0,011	0,075	0,100	1,449	1,390	15,108	22,111	36,127
	110	0,051	0,110	0,098	1,051	6,306	14,029	26,135	38,774
	120	0,033	0,058	0,116	0,892	5,409	14,822	21,056	46,851
	2	20	0,007	0,033	0,116	0,622	1,674	6,068	21,240
30		0,019	0,091	0,214	1,152	4,191	15,184	28,363	56,838
40		0,033	0,140	0,470	2,070	9,096	14,948	42,333	59,232
50		0,053	0,222	0,821	3,053	8,153	29,182	53,400	68,913
60		0,064	0,345	1,191	4,350	12,641	31,720	51,596	77,310
70		0,097	0,386	1,101	5,168	18,292	34,244	63,932	69,248
80		0,116	0,470	1,926	8,777	25,779	43,039	53,674	75,968
90		0,206	0,731	1,806	9,243	18,970	44,039	65,289	77,092
100		0,203	0,895	3,017	10,769	27,078	45,892	63,143	75,752
110		0,314	1,211	3,272	10,690	32,669	48,003	58,070	80,761
120		0,326	0,981	2,727	15,377	30,247	57,081	68,210	79,167
3		20	0,007	0,050	0,186	0,984	3,327	10,329	34,939
	30	0,026	0,143	0,310	1,970	7,187	22,951	38,585	67,429
	40	0,055	0,268	0,757	3,254	13,918	27,200	55,048	71,932
	50	0,068	0,336	1,263	4,690	15,339	43,569	66,257	77,729
	60	0,123	0,574	1,904	7,468	20,636	43,765	69,885	80,314
	70	0,161	0,644	2,032	9,485	24,852	50,608	70,978	77,226
	80	0,171	0,695	3,081	13,708	36,312	57,155	71,386	83,399
	90	0,280	1,198	3,127	14,796	26,493	57,461	76,422	83,180
	100	0,286	1,501	5,360	19,956	43,550	63,766	75,605	80,865
	110	0,438	2,023	4,617	20,055	45,957	64,287	75,030	85,583
	120	0,498	1,770	5,031	24,880	43,729	65,832	76,704	83,624
	4	20	0,002	0,008	0,025	0,155	0,408	1,544	7,619
30		0,004	0,019	0,047	0,315	1,171	4,799	9,437	35,238
40		0,008	0,036	0,101	0,470	2,672	5,064	18,289	38,087
50		0,010	0,050	0,184	0,840	2,379	11,928	28,285	47,319
60		0,018	0,084	0,286	1,116	3,476	11,852	28,495	57,491
70		0,021	0,081	0,242	1,172	5,422	18,404	38,461	45,462
80		0,023	0,104	0,449	2,492	9,371	20,242	35,367	57,391
90		0,044	0,179	0,442	2,339	7,631	23,186	44,866	55,222
100		0,048	0,198	0,730	2,785	10,223	22,914	40,525	57,468
110		0,078	0,288	0,585	2,920	13,128	24,358	34,556	62,079
120		0,081	0,241	0,604	4,793	11,618	36,231	44,430	59,853

Bảng 3. Bảng độ giảm hệ số DRSF (%) của ĐXSMMR dùng hệ thống treo khí nén so với hệ thống treo nhíp tại các trục bánh xe (tiếp theo)

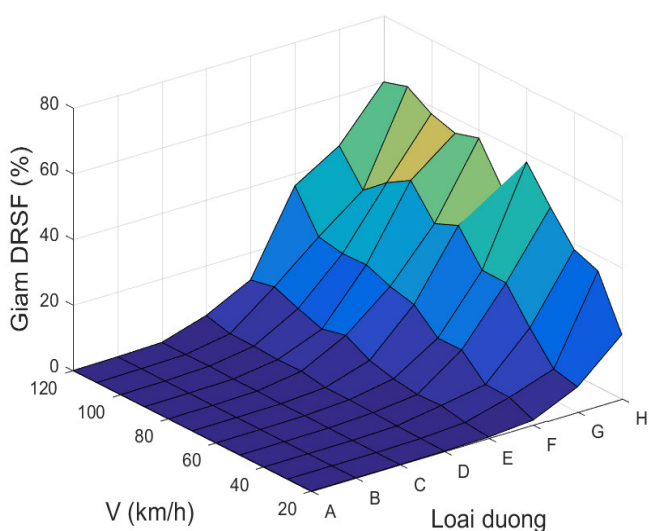
Trục	Loại đường Vận tốc (km/h)	A	B	C	D	E	F	G	H
		20	0,001	0,004	0,007	0,048	0,144	0,695	2,864
5	30	0,001	0,008	0,016	0,155	0,567	1,856	4,352	19,006
	40	0,003	0,013	0,029	0,170	1,141	1,433	11,884	24,900
	50	0,003	0,023	0,073	0,307	0,790	5,330	14,007	34,509
	60	0,007	0,032	0,116	0,363	1,478	6,621	18,923	37,767
	70	0,008	0,021	0,083	0,588	2,563	9,363	23,198	32,875
	80	0,006	0,047	0,155	0,998	4,083	10,108	20,799	45,175
	90	0,021	0,090	0,206	1,263	3,295	11,100	28,753	40,880
	100	0,013	0,087	0,283	0,941	5,515	11,258	18,008	37,400
	110	0,044	0,118	0,142	1,555	7,847	12,806	24,888	46,296
	120	0,035	0,083	0,211	1,915	5,776	21,131	27,928	43,258



c) Trục 3



e) Trục 5



d) Trục 4

Hình 4. Độ giảm hệ số áp lực đường động DRSF của ĐXSMMR dùng hệ thống treo khí nén so với ĐXSMMR dùng nhíp tại các trục bánh xe

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã tiến hành nghiên cứu mô phỏng dao động của ĐXSMMR 5 trục sử dụng hệ thống treo khí nén để so sánh mức độ giảm tải trọng động tác dụng lên mặt đường so với đoàn xe sử dụng hệ thống treo là nhíp. Các nội dung đã được thực hiện trong bài báo là xây dựng mô hình dao động của đoàn xe và mô hình hệ thống treo khí nén, trình bày tiêu chuẩn đánh giá tải trọng động là hệ số áp lực đường động DRSF để từ đó đánh giá độ giảm tải trọng động tác dụng lên mặt đường của ĐXSMMR sử dụng hệ thống treo khí nén so với đoàn xe sử dụng hệ thống treo nhíp truyền thống khi mô phỏng với tốc độ thay đổi từ 20 đến 120km/h và mặt đường kích thích là ngẫu nhiên thay đổi từ A đến H. Kết quả cho thấy có sự

giảm mạnh hệ số DRSF trên các trục sử dụng treo khí nén so với dùng nhíp, lớn nhất từ 46% lên đến 80% khi đi trên các loại đường xấu và tốc độ cao. Hướng nghiên cứu tiếp theo được đề xuất là áp dụng hệ thống treo khí nén có điều khiển trên ĐXSMMR và các xe tải trọng nặng để giảm hơn nữa tải trọng động tác dụng xuống mặt đường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. C. David, *Handbook of vehicle-road interaction*. CRC Press, 1999.
- [2]. Y. 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.
- [3]. B. M, *A three-dimensional airspring model with friction and orifice damping*. Dep.of Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1999.
- [4]. B. M, *An air spring model for dynamic analysis of rail vehicle*. TRITA-FKT Report, Division of Railway Technology, Dep.of Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1999.
- [5]. M. M. Moheyeldeen, "An analytical study of the performance indices of air spring suspensions over the passive suspension," *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 525-534, 2018.
- [6]. A. H. J., "Equivalent air spring suspension model for quarter-passive model of passenger vehicles," in *International Scholarly Research Notices*, 2015.
- [7]. S. Razdan, *Active Vibration Control using Air Spring*. Springer, 2018.
- [8]. D. V. Ha, "Evaluate the road-friendly suspension," *Transport Magazine*, 2021. (in Vietnamese)
- [9]. D. V. Ha, et al., "Evaluation of dynamic load reduction for a tractor semi-trailer using the air suspension system at all axles of the semi-trailer," *Actuators*, 11, 1, 2022.
- [10]. F. Sweatman, *A study of dynamic wheel forces in axle group suspensions of heavy vehicles*. Australian Road Research Board, Special Report SR27, 1983.
- [11]. D. Lloyd, Bunker Jonathan M., "Characterising heavy vehicle suspensions—impulse testing results and analysis," *Main Roads*, 2008.
- [12]. D. Lloyd, Jonathan Bunke, "Load-sharing in heavy vehicle suspensions-New metrics for old," in *Proceedings of The Second Infrastructure Theme Postgraduate Conference: Rethinking Sustainable Development-Planning, Infrastructure Engineering, Design and Managing Urban Infrastructure*, Queensland University of technology, 2009.
- [13]. B. Rosnawati, et al., "Dynamic load coefficient of tyre forces from truck axles," *Applied Mechanics and Materials*, 1900-1911, 2013.
- [14]. P. T. Kiet, V. V. Huong, N. P. Hung, "A study on effects of road roughness profile on dynamic load of tractor semi trailer," *Vietnam Mechanical engineering Journal*, 7, 2017. (in Vietnamese)
- [15]. L. V. Quynh, "Comparing the performance of suspension system of semi-trailer truck with two air suspension systems," *Vibroengineering Procedia*, 220-226, 2017.
- [16]. V. T. Niem, L. V. Tuan, D. V. Ha, "Research to improve semi-trailer suspension systems in the direction of reducing dynamic loads," *Transport Magazine*, 9/2020. (in Vietnamese)
- [17]. V. D. Lap, *Dao dong O to - May keo*. Vietnam National University of Forestry, Hanoi, 2015. (in Vietnamese)
- [18]. M. Berg, "A three-dimensional airspring model with friction and orifice damping," *Vehicle System Dynamics*, 33.sup1, 528-539, 1999.
- [19]. X. N. Nguyen, et al., "Analyze the influence of road profiles on the comfort of passengers in sleeper," in *the 2nd International Conference on Advanced Technology & Sustainable Development*, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2022.
- [20]. P. T. Kiet, Research on the vertical dynamic load of the tractor semi-trailer on the road. Doctoral thesis, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, 2018. (in Vietnamese)

AUTHOR INFORMATION

Duc Thinh Kieu

Thuyloi University, Vietnam