

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ TẢI TRỌNG ĐỘNG CỦA ĐOÀN XE SƠ MI RƠ MOOC TÁC DỤNG XUỐNG MẶT ĐƯỜNG

A STUDY TO EVALUATE THE DYNAMIC LOADS OF SEMI-TRAILER AFFECTING THE ROAD

Kiều Đức Thịnh^{1,*},
Đoàn Cảnh Quốc¹, Nguyễn Thế Hoàng²

DOI: <http://doi.org/10.57001/huinh5804.2025.016>

TÓM TẮT

Khi nhu cầu vận chuyển hàng hóa bằng đoàn xe sơ mi rơ moóc ngày càng gia tăng thì vấn đề đánh giá tải trọng động giữa các bánh xe của đoàn xe và mặt đường ngày càng được quan tâm nhiều bởi các nhà nghiên cứu để phục vụ quá trình thiết kế đường, xe. Để giảm sự phá hủy của mặt đường đối với mỗi loại đoàn xe sơ mi rơ moóc thì cần có nghiên cứu theo các tiêu chuẩn đánh giá tải trọng động với các loại đường, các dải vận tốc khác nhau để đưa ra đánh giá cũng như cảnh báo cho tài xế những dải tốc độ phù hợp với loại đường. Bài báo sử dụng tiêu chuẩn là hệ số áp lực đường động DRSF (Dynamic Road Stress Factor) để nghiên cứu đánh giá về mô hình hệ thống treo 5 trục sử dụng nhíp, khảo sát trên các loại đường ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn ISO 8608 với dải vận tốc thay đổi từ 20 đến 120km/h. Kết quả đã đưa ra các giá trị DRSF để đánh giá và khuyến cáo những vận tốc phù hợp của đoàn xe sơ mi rơ moóc khi đi trên các loại đường khác nhau nhằm giảm thiểu sự phá hủy mặt đường.

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

ABSTRACT

As the demand for transporting goods by semi-trailers is increasing, the issue of assessing the dynamic load between the wheels of the vehicle and the road surface is increasingly of concern by the researchers to serve the road and vehicle design process. To reduce road surface damage for each type of road, it is necessary to conduct research according to dynamic load assessment standards for different road types and speed ranges to provide assessments and warnings to drivers the speed ranges appropriate to road type. The article uses the Dynamic Road Stress Factor (DRSF) to research and evaluate the suspension system model of 5-axle semi-trailer using leaf spring, surveying on random types of roads according to ISO 8608 standards with speed range varying from 20 to 120 km/h. The results have provided DRSF values to evaluate and recommend appropriate speeds of semi-trailer when traveling on different types of roads to minimize road surface damage.

Keywords: Suspension system, dynamic load, dynamic load stress factor, semi-trailer, road surface damage.

¹Trường Đại học Thủy lợi

²Trường Đại học Mở - Địa chất

*Email: kieu ducthinh@tlu.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/8/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 23/10/2024

Ngày chấp nhận đăng: 26/01/2025

1. GIỚI THIỆU

Xã hội càng phát triển dẫn đến nhu cầu lưu thông hàng hóa ngày càng gia tăng. Trong vận chuyển đường bộ, số lượng các xe tải trọng nặng tham gia với một tỷ trọng lớn, với nhu cầu vận chuyển hàng hóa đường dài cao, đoàn xe sơ mi rơ moóc (ĐXSMMR) đóng một vai trò quan trọng.

Một trong những vấn đề được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm là vấn đề tải trọng động của ĐXSMMR tác dụng xuống đường khi di chuyển [1-4] bởi chúng liên quan đến vấn đề phá hủy mặt đường, những nghiên cứu này là quan trọng phục vụ cho quá trình thiết kế đường, thiết kế xe cũng như đưa ra khuyến nghị cho người lái xe khi vận hành [5].

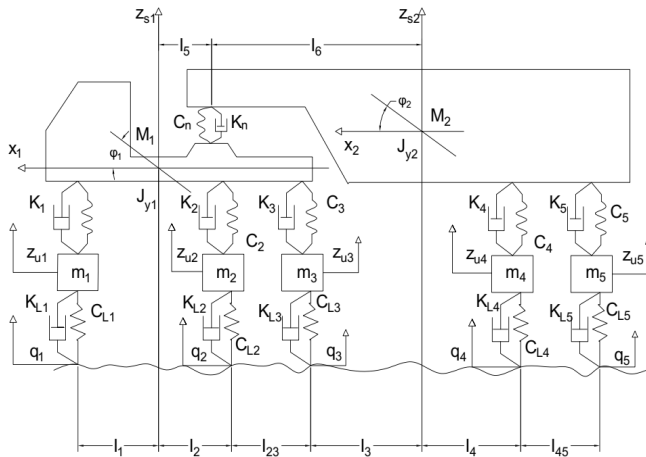
Trong một số nghiên cứu đã đưa ra cách xây dựng mô hình mô phỏng và có áp dụng các tiêu chuẩn đánh giá tải trọng động [1, 3, 6, 7], tuy nhiên phần lớn chưa miêu tả được một cách trực quan thông số đánh giá khi vận tốc tăng và loại đường trở nên xấu đi.

Bài báo tập trung trình bày xây dựng mô hình dao động của ĐXSMMR, áp dụng tiêu chuẩn đánh giá tải trọng động là hệ số áp lực đường động để đánh giá khi đoàn xe chạy trên các loại đường ngẫu nhiên với dải vận tốc thay đổi, kết quả đã chỉ ra được các vận tốc phù hợp cho đoàn xe khi đi trên các loại đường khác nhau.

Các phần kế tiếp của bài báo gồm phần 2 là xây dựng mô hình ĐXSMMR, giới thiệu các loại mặt đường ngẫu nhiên ở phần 3 và tiêu chuẩn đánh giá tải trọng động ở phần 4, phần 5 mô phỏng đánh giá kết quả và được kết luận ở phần 6.

2. MÔ HÌNH ĐOÀN XE SƠ MI RƠ MOỐC

Mô hình khảo sát là mô hình đoàn xe sơ mi rơ moóc 5 cầu được miêu tả trong hình 1, bao gồm có 3 cầu ở đầu kéo và 2 cầu ở SMRM.



Hình 1. Mô hình đoàn xe sơ mi rơ moóc 5 cầu

Các thông số được miêu tả trong hình 1 bao gồm:

M_1, J_{y1} - Khối lượng và mô men quán tính của khối lượng được treo của đầu kéo đối với trục ngang đi qua trọng tâm phần được treo của đầu kéo.

M_2, J_{y2} - Khối lượng và mô men quán tính của khối lượng được treo của moóc kéo đối với trục ngang đi qua trọng tâm phần được treo của rơ moóc.

m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 - Khối lượng không được treo của các cầu của đầu kéo và moóc kéo.

C_i, K_i - Hệ số độ cứng và hệ số giảm chấn của hệ thống treo các cầu ($i = 1, 2, 3, 4, 5$).

C_{Li}, K_{Li} - Các hệ số độ cứng và hệ số giảm chấn của lớp xe các cầu ($i = 1, 2, 3, 4, 5$).

C_n, K_n - Hệ số độ cứng và hệ số giảm chấn của cơ cấu nối moóc.

z_{s1}, z_{s2} - Chuyển dịch thẳng đứng của trọng tâm phần được treo của đầu kéo và moóc kéo.

φ_1, φ_2 - Chuyển dịch góc dọc của phần được treo của đầu kéo và moóc kéo.

z_{ui} - Chuyển dịch phần không được treo các cầu của đầu kéo và moóc kéo ($i = 1, 2, 3, 4, 5$).

q_i - Chiều cao lắp đặt mô biên dạng đường tương ứng ở từng bánh xe của các cầu ($i = 1, 2, 3, 4, 5$).

x_1, x_2 - Toạ độ trọng tâm phần được treo của đầu kéo và moóc kéo theo phương chuyển động của.

Trong mô hình trên, các thông số về lực tính theo đơn vị (N), chuyển vị được tính theo đơn vị (m), các thông số dịch chuyển góc tính theo đơn vị (rad). Các thông số khác của mô hình có giá trị và đơn vị đo như thể hiện trong bảng 2.

Các phương trình động lực học của đoàn xe được thiết lập dựa trên nguyên lý tách các cơ hệ riêng biệt và nguyên lý D'Alembert, được thể hiện trong hệ phương trình sau [8]:

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

với $i = 1 \div 5$

Hệ phương trình (1) gồm 9 phương trình mô tả các bậc tự do của mô hình đoàn xe. Trong hệ phương trình động lực học này F_{Ci}, F_{Ki} là các nội lực tác dụng của của nhíp và giảm chấn, F_{CLi}, F_{KLi} là các lực đàn hồi và giảm chấn của lớp với thông số đầu vào chính là kích động mặt đường được tính như sau:

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

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

Tải trọng động tương tác giữa bánh xe với mặt đường được tính theo công thức sau:

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

3. MẶT ĐƯỜNG KÍCH THÍCH

Loại mặt đường được sử dụng trong mô phỏng dao động của đoàn xe SMRM 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 [9]:

$$\begin{aligned} \dot{z}_R(t) = & 2\pi \cdot n_0 \cdot w(t) \cdot \sqrt{G_q(n_0) \cdot v} \\ & - 2\pi \cdot f_0 \cdot z_R(t) \end{aligned} \quad (4)$$

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

Bảng 1. 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. Thông số này thể hiện mật độ phổ công suất PSD (power spectral density) của sự dịch chuyển mặt cắt đường theo phương thẳng đứng. Giá trị của nó sẽ quyết định các loại mặt đường [10].	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	$20 \div 100$	Km/h

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 [11]:

$$DLSF = 1 + 6DLC^2 + 3DLC^4 \quad (5)$$

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 [11].

5. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

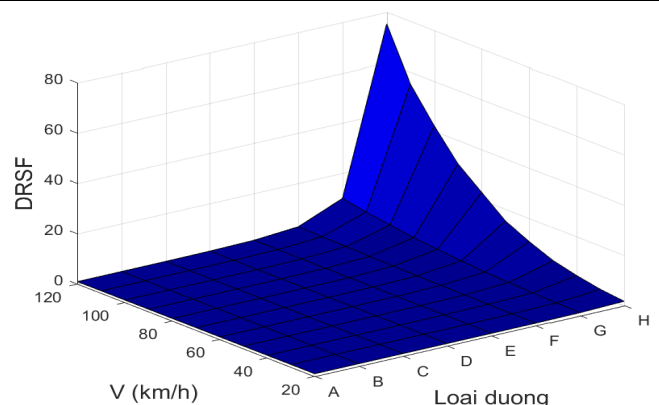
Mô hình đoàn xe SMRM 5 trục được mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink với các thông số được cho trong bảng 2.

Hệ số áp lực đường động DRSF của 5 trục được biểu thị trên hình 2, ở đây cho thấy một sự logic là khi mặt đường xấu đi và tốc độ tăng lên, hệ số DRSF có xu hướng tăng lên, đặc biệt đối mặt đường xấu nhất loại H, giá trị DRSF tăng đột biến. Hệ số này tương ứng với 5 trục còn

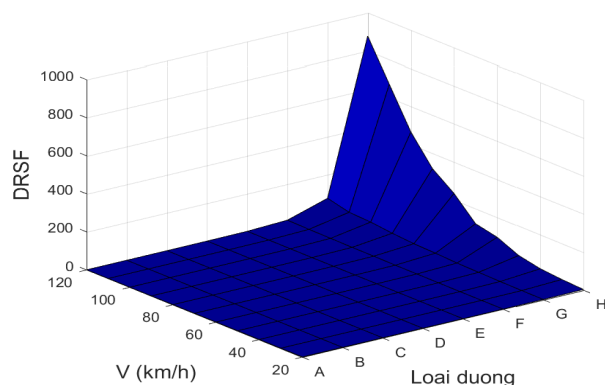
được thể hiện rõ hơn ở bảng 3, ở loại mặt đường rất xấu là G-H thì không có tốc độ nào từ 20km/h trở lên có hệ số DRSF nằm trong khoảng cho phép theo tiêu chuẩn đánh giá, nhỏ hơn 1,46, với loại mặt đường thay đổi theo hướng tốt lên thì dải tốc độ với hệ số DRSF thỏa mãn cũng tăng lên, cụ thể với mặt đường loại F có tốc độ 20km/h, mặt đường loại E tăng tốc độ thỏa mãn lên 40km/h, mặt đường loại D cho tốc độ thỏa mãn lên 100km/h và đặc biệt với loại đường loại C hay tốt hơn thì tất cả dải tốc độ khảo sát lên tới 120km/h đều có hệ số DRSF nằm trong khoảng cho phép, điều đó cho thấy sự logic hợp lý.

Bảng 2. Các thông số của đoàn xe SMRM 5 trục [1]

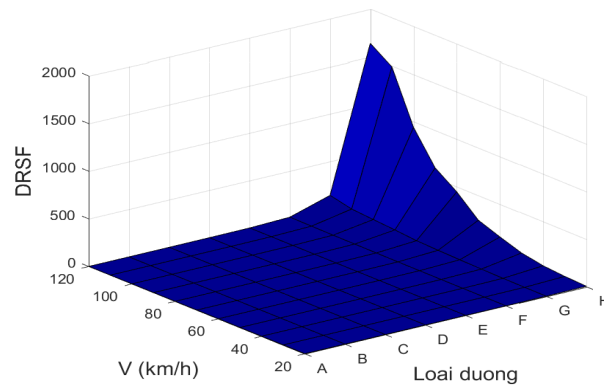
STT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Khối lượng được treo của đầu kéo	M_1	8720	kg
2	Khối lượng được treo rơ moóc	M_2	26830	kg
3	Khối lượng không được treo	m_{u1}	570	kg
		m_{u2}, m_{u3}	785	kg
		m_{u4}, m_{u5}	690	kg
4	Độ cứng của nhíp	K_1	2×250000	N/m
		$K_{2,3,4,5}$	2×700000	N/m
5	Hệ số cản giảm chấn	$C_{1,2,3}$	2×15000	N.s/m
		$C_{4,5}$	2×30000	N.s/m
6	Độ cứng của lốp	K_{L1}	2×980000	N/m
		$K_{L2,3,4,5}$	2×1960000	N/m
7	Hệ số cản của lốp	C_{Li}	0	N.s/m
8	Các khoảng cách	l_1	1,6363	m
		l_2	1,4137	m
		$l_{2,3}$	1,3	m
		l_4	2,5306	m
		$l_{4,5}$	1,31	m
		l_5	1,8037	m
9	Mô men quán tính đầu kéo	J_{y1}	43223	kg.m ²
		J_{y2}	522690	kg.m ²



a) Trục 1



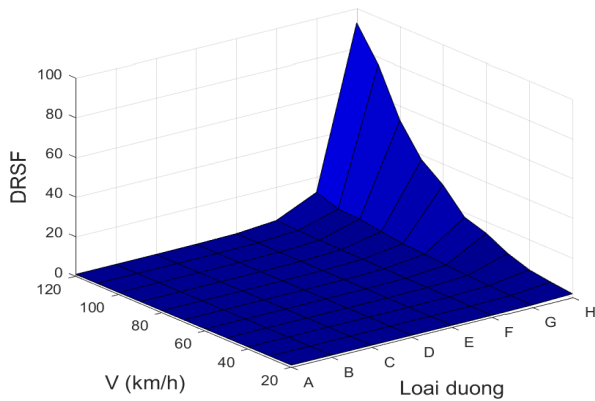
b) Trục 2



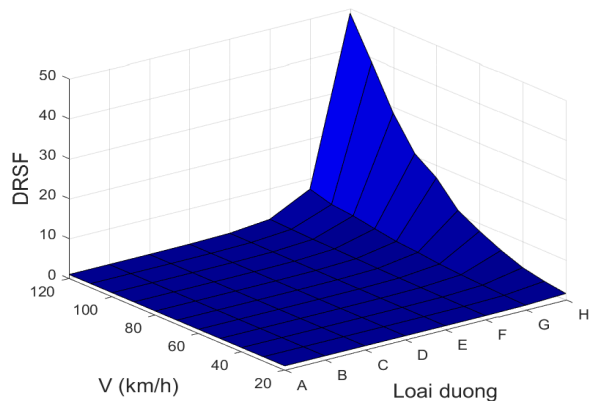
c) Trục 3

Bảng 3. Hệ số DRSF tại các trục bánh xe

Trục	Loại đường		A	B	C	D	E	F	G	H
	Vận tốc (km/h)									
1	20		1,000	1,000	1,001	1,003	1,011	1,044	1,176	1,712
	40		1,000	1,001	1,002	1,011	1,045	1,172	1,764	4,602
	60		1,000	1,002	1,005	1,024	1,102	1,406	2,648	10,762
	80		1,001	1,003	1,009	1,044	1,179	1,775	4,391	23,005
	100		1,001	1,004	1,013	1,068	1,266	2,203	6,708	42,155
	120		1,002	1,006	1,018	1,094	1,397	2,744	9,989	75,338
2	20		1,000	1,001	1,002	1,012	1,040	1,163	1,772	4,140
	40		1,001	1,003	1,009	1,044	1,191	1,614	4,470	21,434
	60		1,001	1,007	1,023	1,093	1,408	2,743	9,979	95,398
	80		1,003	1,010	1,038	1,188	1,832	4,667	20,035	234,128
	100		1,004	1,017	1,055	1,269	2,073	6,832	42,097	465,635
	120		1,006	1,022	1,069	1,424	2,588	10,880	75,743	878,495
3	20		1,000	1,001	1,003	1,017	1,062	1,238	2,234	6,419
	40		1,001	1,004	1,014	1,061	1,280	1,951	6,370	37,664
	60		1,002	1,010	1,033	1,143	1,595	3,599	18,018	157,022
	80		1,004	1,014	1,055	1,276	2,212	6,646	34,906	447,027
	100		1,006	1,025	1,086	1,436	2,853	10,159	73,887	941,177
	120		1,009	1,034	1,104	1,640	3,468	16,226	144,869	1640,057
4	20		1,000	1,000	1,001	1,003	1,012	1,046	1,218	1,853
	40		1,000	1,001	1,003	1,012	1,054	1,180	1,847	4,762
	60		1,000	1,002	1,006	1,027	1,113	1,448	3,041	14,085
	80		1,001	1,003	1,011	1,053	1,222	1,888	4,710	29,213
	100		1,001	1,005	1,016	1,078	1,305	2,306	7,937	52,775
	120		1,002	1,006	1,020	1,116	1,417	3,073	12,284	92,694
5	20		1,000	1,000	1,000	1,002	1,008	1,033	1,139	1,563
	40		1,000	1,001	1,002	1,008	1,035	1,126	1,593	3,474
	60		1,000	1,001	1,004	1,018	1,079	1,310	2,293	8,001
	80		1,001	1,002	1,007	1,033	1,144	1,572	3,395	16,799
	100		1,001	1,003	1,010	1,050	1,208	1,852	5,217	28,422
	120		1,001	1,004	1,014	1,075	1,289	2,284	7,325	48,856



d) Trục 4



e) Trục 5

Hình 2. Hệ số áp lực đường động DRSF tại các trục bánh xe SMRM

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã tiến hành xây dựng mô hình động lực học cho ĐXSMMR 5 trục sử dụng hệ thống treo nhíp, sau đó mô phỏng đánh giá tải trọng động theo hệ số áp lực đường động với các loại mặt đường ngẫu nhiên thay đổi từ A đến H theo tiêu chuẩn của ISO 8608 và dải tốc độ từ 20 đến 120km/h, kết quả hệ số DRSF đã cho thấy với loại mặt đường xấu nhất là G-H thì không có tốc độ nào từ 20km/h trở lên cho hệ số DRSF thỏa mãn, khi mặt đường thay đổi theo hướng tốt hơn thì bắt đầu có những tốc độ với hệ số DRSF nằm trong khoảng cho phép, với loại mặt đường D thì tốc độ thỏa mãn lên đến 120km/h. Nghiên cứu sâu hơn được đề xuất là so sánh hệ số áp lực đường động của ĐXSMMR sử dụng hai loại hệ thống treo là nhíp và khí nén để đánh giá hệ thống treo nào ưu việt hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phan Tuấn Kiệt, *Nghiên cứu xác định tải trọng động thẳng đứng của đoàn xe lên mặt đường*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội, Hà Nội, 2018.
- [2]. N. Philipson, et al, "Heavy Vehicles Modeling with the Vehicle Dynamics Library," In *Proceedings of The Modelica Association, Modelica*, 2008.
- [3]. Trương Đăng Việt Thắng và cộng sự, "Nghiên cứu xác định tải trọng động tác dụng lên khung sơ mi - rơ moóc," *Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí lần thứ V*, Hà Nội, 2018.
- [4]. Đặng Việt Hà, "Phân tích ảnh hưởng độ cứng của lớp nền tải trọng động của sơ mi rơ moóc," *Tạp chí Giao thông vận tải*, 2021.
- [5]. L. V. Quynh, "Influence of semi-trailer truck operating conditions on road surface friendliness," *JVE International LTD. Vibroengineering Procedia*, 16, 2017.
- [6]. S. Misaghi, *Impact of truck Suspension and road roughness on Loads exerted to Pavements*. Research Report FHWA-RD-07-1008-02, The University of Texas at El Paso, 2010.
- [7]. C. Cheng, et al, "Parameter and state estimation for articulated heavy vehicles," *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 2010.
- [8]. Vũ Đức Lập, *Dao động Ô tô - Máy kéo*. Trường Đại học Lâm nghiệp, Hà Nội, 2015.
- [9]. 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.
- [10]. Technical Committee ISO/TC, *Mechanical Vibration - Road Surface Profiles*. Reporting of Measured Data Vol. 8608. International Organization for Standardization, 2016.
- [11]. F. Sweatman, *A study of dynamic wheel forces in axle group suspensions of heavy vehicles*. Australian Road Research Board, Special Report SR27, 1983.

AUTHORS INFORMATION

Kieu Duc Thinh¹, Doan Canh Quoc¹, Nguyen The Hoang²

¹Thuyloi University, Vietnam

²Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam