ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ CỨNG CỦA LỐP ĐẾN TẢI TRỌNG ĐỘNG TRÊN XE TẢI BA TRỤC

THE INFLUENCE OF TIRE RIGIDITY ON DYNAMIC LOAD IN THREE-AXLE TRUCKS

Lương Văn Vạn[1,*], Phan Chương Anh Khôi[1], Nguyễn Thành Trường Giang[1]

DOI: https://doi.org/10.57001/huih5804.2024.047

TÓM TẮT

Tải trọng động sinh ra trong quá trình ô tô di chuyển trên đường dưới kích động của mấp mô mặt đường, ảnh hưởng đến kiến trúc hạ tầng giao thông, gây mỏi các chi tiết trên ô tô. Trong đó độ cứng của lốp là một trong những biến liên quan đến tải trọng. Tác giả đã xây dựng mô hình động lực học của ô tô, thiết lập hệ phương trình vi phân và sử dụng phần mềm Matlab xác định tải trọng động tác dụng lên ô tô khi độ cứng của lốp thay đổi để có cơ sở phân tích tác động của độ cứng của lốp đến tải trọng động tác dụng lên xe tải ba cầu. Kết quả đánh giá chỉ ra rằng tải trọng động tăng tỷ lệ thuận với độ cứng của lốp theo tốc độ.

Từ khóa: *Động lực học; độ cứng lốp xe; Matlab.*

ABSTRACT

Dynamic loads are generated during the car's movement on the road under the agitation of the road surface unevenness, affecting the traffic infrastructure architecture, causing fatigue of the car's details. Tire stiffness is one of the load-related variables. The author created a dynamic model of the vehicle, set up a system of differential equations, and used Matlab software to calculate the dynamic load acting on the vehicle when the tire stiffness changes in order to have a foundation for analyzing the impact of tire stiffness on dynamic loads acting on three-wheeled trucks. The evaluation's findings indicate that the dynamic load rises proportionally to tire stiffness with speed.

Keywords: *Dynamic; tire stiffness; Matlab.*

[1]Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long
[*]Email: vanlv@vlute.edu.vn
Ngày nhận bài: 13/6/2023
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 26/9/2023
Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

DANH MỤC KÝ HIỆU

C: Điểm đặt tại trọng tâm xe

Z: Phương dịch chuyển thẳng đứng theo khối lượng được treo

φ: Góc lắc dọc quanh trục ngang tính theo khối lượng được treo (rad)

β: Góc lắc ngang quanh trục dọc theo khối lượng được treo (rad)

Z_i: Phương dịch chuyển thẳng đứng theo khối lượng không được treo

β_i: Góc lắc ngang quanh trục dọc theo khối lượng không được treo (rad)

m_C: Khối lượng được treo (kg)

m_{Ai}: Khối lượng không được treo (kg)

$\ddot{\beta}_c$: Gia tốc góc lắc ngang của khối lượng được treo (rad/s^2)

$\ddot{\beta}_{Ai}$: Gia tốc góc lắc ngang của khối lượng không được treo (rad/s^2)

$\ddot{Z}_{Ai}$: Dịch chuyển theo phương thẳng đứng của khối lượng không được treo (m)

$\ddot{z}_c$: Dịch chuyển theo phương thẳng đứng của khối lượng được treo (m)

$\ddot{\varphi}_c$: Gia tốc góc lắc dọc của khối lượng được treo (rad/s^2)

$\dot{\varphi}_c$: Vận tốc góc lắc dọc của khối lượng được treo (rad/s)

$\dot{x}_c$: Vận tốc theo phương dọc của khối lượng được treo (m/s)

J_{yC}: Mô-men quán tính quanh trục y của khối lượng được treo (kgm^2)

J_{xC}: Mô-men quán tính quanh trục x của khối lượng được treo (kgm^2)

J_{Axi}: Mô-men quán tính quanh trục y của khối lượng không được treo (kgm^2)

l_1: Khoảng cách từ trọng tâm C đến bánh xe cầu trước (m)

l_2: Khoảng cách từ trọng tâm C đến bánh xe cầu giữa (m)

l_3: Khoảng cách từ trọng tâm C đến bánh xe cầu sau (m)

w_1: Chiều rộng cơ sở cầu trước (m)

w_2: Chiều rộng cơ sở cầu giữa (m)

w_3: Chiều rộng cơ sở cầu sau (m)

$2w_i$: Khoảng cách giữa hai hệ thống treo trục thứ i (m)

$2b_i$: Chiều rộng cơ sở trục thứ i (m)

F_{C11}: Lực đàn hồi của hệ thống treo gần bánh xe cầu trước bên trái (N)

F_{K11}: Lực giảm chấn của hệ thống treo gần bánh xe cầu trước bên trái (N)

F_{C12}: Lực đàn hồi của hệ thống treo gần bánh xe cầu trước bên phải (N)

F_{K12}: Lực giảm chấn của hệ thống treo gần bánh xe cầu trước bên phải (N)

F_{C21}: Lực đàn hồi của hệ thống treo gần bánh xe cầu giữa bên trái (N)

F_{K21}: Lực giảm chấn của hệ thống treo gần bánh xe cầu giữa bên trái (N)

F_{C22}: Lực đàn hồi của hệ thống treo gần bánh xe cầu giữa bên phải (N)

F_{K22}: Lực giảm chấn của hệ thống treo gần bánh xe cầu giữa bên phải (N)

F_{C31}: Lực đàn hồi của hệ thống treo gần bánh xe cầu sau bên trái (N)

F_{K31}: Lực giảm chấn của hệ thống treo gần bánh xe cầu sau bên trái (N)

F_{C32}: Lực đàn hồi của hệ thống treo gần bánh xe cầu sau bên phải (N)

F_{K32}: Lực giảm chấn của hệ thống treo gần bánh xe cầu sau bên phải (N)

F_{CLi1}: Lực đàn hồi lốp thứ i bên trái (N)

F_{CLi2}: Lực đàn hồi lốp thứ i bên phải (N)

F_{KLi1}: Lực giảm chấn lốp thứ i bên trái (N)

F_{KLi2}: Lực giảm chấn lốp thứ i bên phải (N)

F_{Ci1}: Lực đàn hồi hệ thống treo thứ i bên trái (N)

F_{Ci2}: Lực đàn hồi hệ thống treo thứ i bên phải (N)

F_{Ki1}: Lực giảm chấn hệ thống treo thứ i bên trái (N)

F_{Ki2}: Lực giảm chấn hệ thống treo thứ i bên phải (N)

F_{z1}: Tải trọng động bánh trước (N)

F_{z3}: Tải trọng động bánh sau (N)

F_{z1max}: Tải trọng động lớn nhất tại bánh trước (N)

F_{z3max}: Tải trọng động lớn nhất tại bánh sau (N)

C_L: Độ cứng hướng kính của lốp ô tô (N/m)

1. GIỚI THIỆU

Xe tải ba cầu đóng vai trò quan trọng trong vận chuyển hàng hóa, chiếm tỷ trọng lớn trong vận chuyển hàng hóa đường bộ. Cùng với sự phát triển của hạ tầng giao thông, xe tải ba cầu càng đóng vai trò then chốt trong vận chuyển phục vụ phát triển xây dựng kết cấu hạ tầng giao thông. Việc vận chuyển những vật liệu có khối lượng lớn cũng là nguyên nhân gây phá hủy đường xá do tải trọng động sinh ra từ mấp mô mặt đường. Tải trọng động phụ thuộc vào yếu tố vận hành và yếu tố thiết kế. Với yếu tố vận hành, tải trọng động phụ thuộc vào vận tốc chuyển động của xe, chất lượng đường (độ mấp mô mặt đường) và mức tải của xe (không tải, đầy tải, quá tải,…). Đối với yếu tố thiết kế ảnh hưởng đến gồm thông số hình học của xe, độ cứng hệ thống tre, độ cứng lốp xe,…[1].

Bài báo này phân tích ảnh hưởng độ cứng của lốp xe đến tải trọng động tác động lên xe tải ba cầu, mục đích là xây dựng mô hình động lực học theo phương thẳng đứng, thiết lập hệ phương trình mô tả dao động của xe và sử dụng phần mềm Matlab để khảo sát tải trọng động khi xe di chuyển trên đường loại B theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016 [2, 3, 5].

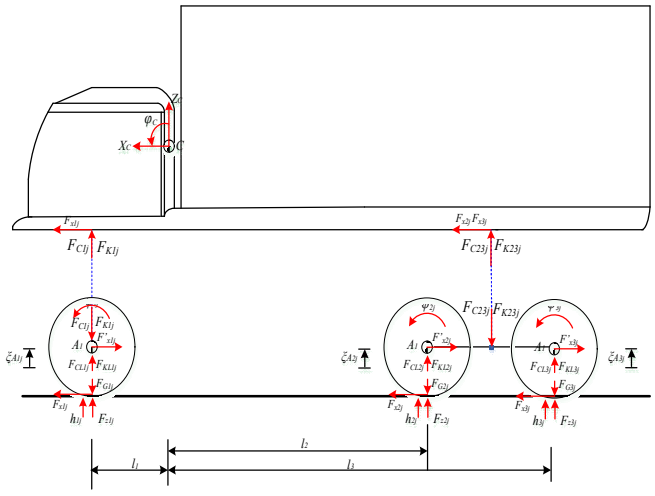
2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH

Xe khảo sát là xe tải 3 cầu, với cầu trước sử dụng hệ thống treo phụ thuộc, cầu sau sử dụng hệ thống treo cân bằng.

Hình 1 mô tả mô hình động lực học xe tải 3 cầu gồm khối lượng được treo và khối lượng không được treo. Khối lượng được treo đặt tại trọng tâm C, có dịch chuyển theo phương thẳng đứng là Z, góc lắc dọc quanh trục ngang là φ, góc lắc ngang quanh trục dọc là β. Khối lượng không được treo gồm cầu trước, cầu giữa và cầu sau có dịch chuyển theo phương thẳng đứng Z_i và góc lắc quanh trục dọc β_i tại mỗi cầu.

Để xác định tải trọng động, mô hình sử dụng một số giả thiết sau [4]:

- Xe đối xứng theo chiều dọc;
- Các mô men tại các bánh xe bằng 0;
- Độ đàn hồi của hệ thống theo là tuyến tính khi chưa ca chạm vấu hành trình;
- Các bánh xe được quy về bánh xe đơn;
- Bỏ qua chuyển động dịch ngang tương đối giữa khối lượng được treo và không được treo.



Hình 1. Mô hình động lực học xe tải 3 cầu

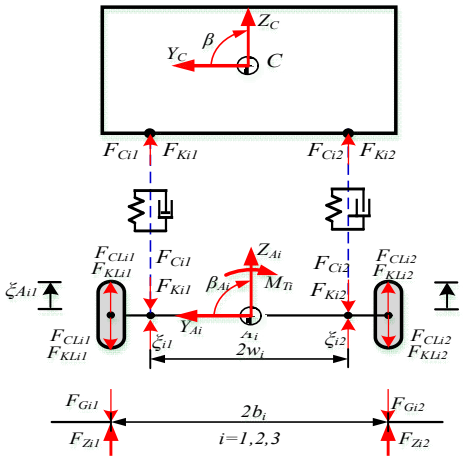
Phương trình vi phân mô tả dao động thẳng đứng và góc lắc dọc của trọng tâm phần khối lượng được treo được viết như sau:

Phương trình động lực học phương thẳng đứng của khối lượng được treo:

$$m_C(\ddot{z}_C - \ddot{\varphi}_C \dot{x}_C) = F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12} + F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22} + F_{C31} + F_{K31} + F_{C32} + F_{K32} \quad (1)$$

Phương trình động lực học phương lắc dọc của khối lượng được treo:

$$J_{yC}\ddot{\varphi}_C = -(F_{C11}+F_{K11}+F_{C12}+F_{K12})l_1 + (F_{C21}+F_{K21}+F_{C22}+F_{K22})l_2 + (F_{C31}+F_{K31}+F_{C32}+F_{K32})l_3 \quad (2)$$



Hình 2. Hệ tọa độ của xe tải ba cầu theo mặt phẳng ngang (YOZ)

Phương trình động lực học phương lắc ngang của khối lượng được treo:

$$J_{xC}\ddot{\beta}_C = (F_{C11}+F_{K11}-F_{C12}-F_{K12})w_1 + (F_{C21}+F_{K21}-F_{C22}-F_{K22})w_2 + (F_{C31}+F_{K31}-F_{C32}-F_{K32})w_3 \quad (3)$$

- Các phương trình chuyển động của các cầu phương thẳng đứng, phần khối lượng không được treo (3 khối lượng gồm cầu trước, cầu giữa và cầu sau):

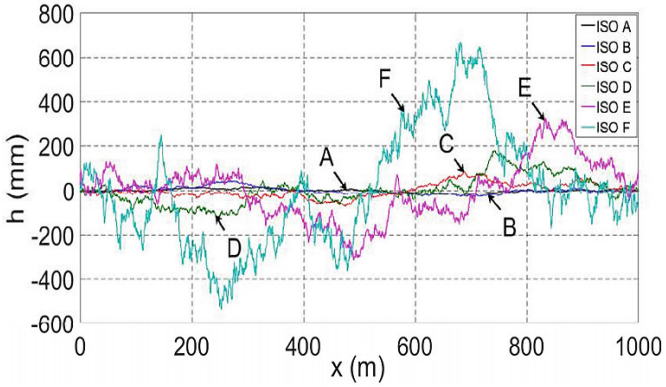
$$m_{Ai}\ddot{z}_{Ai} = F_{CLi1}+F_{KLi1}+F_{CLi2}+F_{KLi2}-F_{Ci1}-F_{Ki1}-F_{Ci2}-F_{Ki2}, \quad i=(1,2,3) \quad (4)$$

- Các phương trình chuyển động góc lắc ngang của cầu phần khối lượng không được treo (3 khối lượng gồm cầu trước, cầu giữa và cầu sau):

$$J_{Axi}\ddot{\beta}_{Ai} = (F_{Ci1}+F_{Ki1}-F_{Ci2}-F_{Ki2})w_i + (-F_{CLi1}-F_{KLi1}+F_{CLi2}+F_{KLi2})b_i, \quad i=(1,2,3) \quad (5)$$

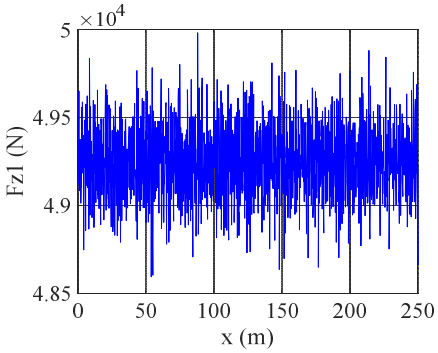
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mấp mô mặt đường theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016 có các loại chất lượng đường khác nhau từ A đến H, trong đó đường loại A có chất lượng tốt nhất và đường loại H có chất lượng xấu nhất [5].

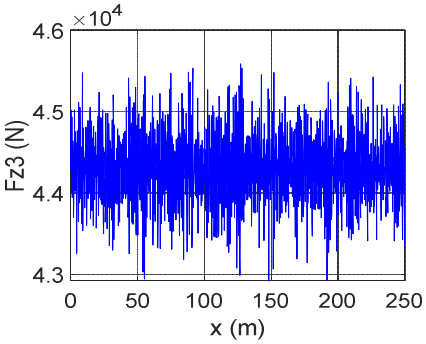


Hình 3. Mấp mô mặt đường theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016

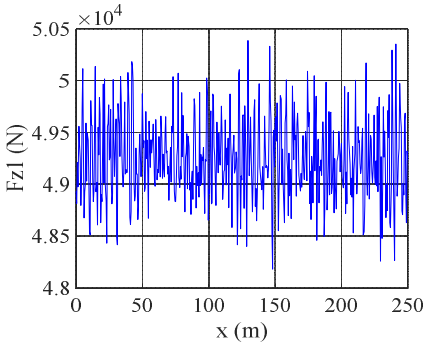
Trong nội dung khảo sát này, nhóm tác giả khảo sát khi xe di chuyển trên đường loại B có chất lượng tốt, đây cũng là loại đường mà xe tải thường xuyên làm việc. Với đặc điểm là loại đường có chất lượng tốt, do đó khi khảo sát xác định tải trọng động tác động lên xe với hàm kích động là hàm ngẫu nhiên với loại đường B, vận tốc khảo sát từ 30 đến 90km/h [6], bước nhảy là 10 km/h.



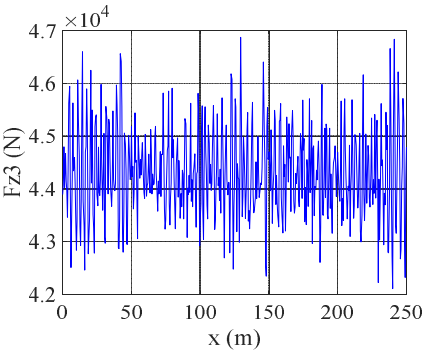
Hình 4. Tải trọng động bánh trước (F_{z1}) trên đường loại B, vận tốc 30km/h



Hình 5. Tải trọng động bánh sau (F_{z3}) trên đường loại B, vận tốc 30km/h

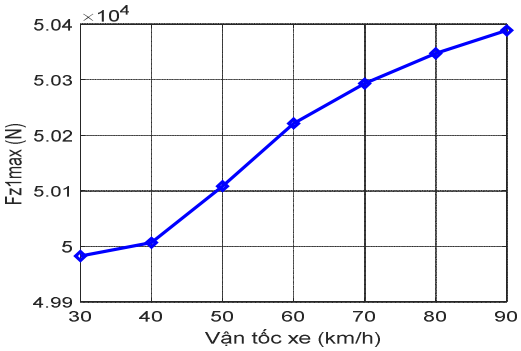


Hình 6. Tải trọng động bánh trước (F_{z1}) trên đường loại B, vận tốc 90km/h

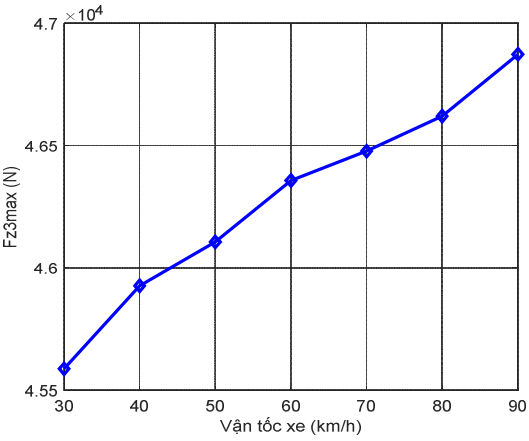


Hình 7. Tải trọng động bánh sau (F_{z3}) trên đường loại B, vận tốc 90km/h

Hình 4 và 5 mô tả tải trọng động của xe tương ứng tại bánh trước và bánh sau khi di chuyển trên đường loại B, vận tốc 30 km/h trong quãng đường di chuyển 250m. Đối với hình 6 và 7 mô tả tải trọng động của xe tương ứng tại bánh trước và bánh sau khi di chuyển trên đường loại B, vận tốc 90km/h trong quãng đường di chuyển 250m. Kết quả phân tích trên cho thấy với cùng một chất lượng đường, vận tốc của xe tăng lên thì tải trọng động của xe tăng lên.



Hình 8. Giá trị tải trọng động lớn nhất tại bánh trước (F_{z1max}) trên đường loại B, vận tốc 30 - 90km/h



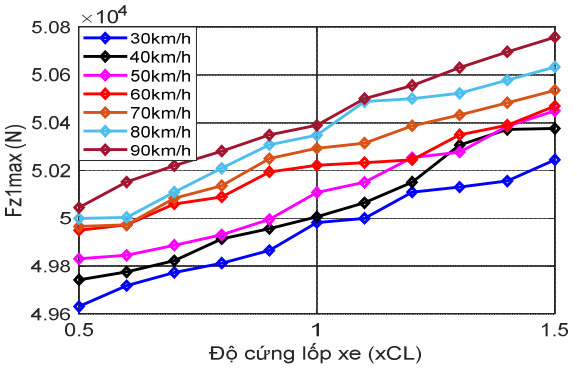
Hình 9. Giá trị tải trọng động lớn nhất tại bánh sau (F_{z3max}) trên đường loại B, vận tốc 30 - 90km/h

Hình 8 và 9 mô tả giá trị lớn nhất của tải trọng động tại bánh trước và tại bánh sau khi xe di chuyển trên đường loại B khi thay đổi vận tốc từ 30km/h đến 90km/h. Qua kết quả mô tả trên hình 8, 9 và bảng 1 cho thấy cùng một tốc độ chuyển động, trên loại đường có vận tốc chuyển động của xe lớn hơn thì tải trọng động lớn nhất có giá trị cao hơn.

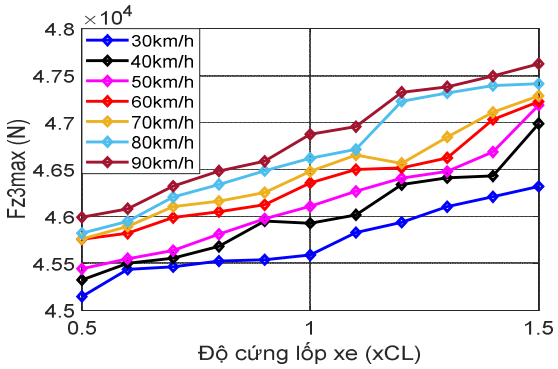
Bảng 1. Tổng hợp giá trị cực đại của tải trọng động tại bánh trước và bánh sau trên đường loại B phụ thuộc vào vận tốc

Vận tốc (km/h)	30	40	50	60	70	80	90
F_{z1max} (N)	49982	50006	50108	50221	50293	50347	50389
F_{z3max} (N)	45588	45927	46106	46358	46477	46621	46874

Độ cứng lốp xe cầu trước có giá trị là C_{L1} = 690000N và độ cứng lốp xe cầu sau có giá trị là C_{L2} = C_{L3} = 1380000N [6]. Phương án thay đổi độ cứng lốp xe là tăng hoặc giảm độ so với độ cứng ban đầu với giá trị x [0,5 ÷ 1,5], bước nhảy có giá trị là 0,1.



Hình 10. Tải trọng động lớn nhất tại bánh xe trước (F_{z1max}), vận tốc 30 - 90km/h



Hình 11. Tải trọng động lớn nhất tại bánh xe sau (F_{z3max}), vận tốc 30 - 90km/h

Bảng 2. Tổng hợp các giá trị cực đại của giá trị tải trọng động tại bánh trước max(F_{z1}) và bánh sau max(F_{z3}) với cùng một loại đường B phụ thuộc vào vận tốc và độ cứng lốp xe

Đường loại B								
Độ cứng lốp	Tải trọng động	Vận tốc xe (km/h)						
		30	40	50	60	70	80	90
$x0,5C_L$	max(Fz_1)	49631	49743	49830	49951	49966	49999	50045
	max(Fz_3)	45146	45324	45442	45758	45760	45820	45990
$x0,6C_L$	max(Fz_1)	49718	49776	49845	49972	49973	50004	50152
	max(Fz_3)	45437	45501	45549	45819	45894	45946	46081
$x0,7C_L$	max(Fz_1)	49774	49823	49887	50060	50084	50110	50220
	max(Fz_3)	45463	45556	45636	45987	46104	46206	46322
$x0,8C_L$	max(Fz_1)	49813	49914	49931	50090	50136	50210	50281
	max(Fz_3)	45524	45680	45810	46051	46162	46341	46484
$x0,9C_L$	max(Fz_1)	49866	49957	49995	50194	50250	50308	50349
	max(Fz_3)	45538	45951	45974	46123	46253	46487	46587
C_L	max(Fz_1)	49982	50006	50108	50221	50293	50347	50389
	max(Fz_3)	45588	45927	46106	46358	46477	46621	46874
$x1,1C_L$	max(Fz_1)	50000	50065	50151	50233	50315	50488	50501
	max(Fz_3)	45828	46016	46267	46498	46654	46713	46956
$x1,2C_L$	max(Fz_1)	50110	50151	50254	50245	50387	50501	50556
	max(Fz_3)	45937	46338	46408	46518	46566	47228	47322
$x1,3C_L$	max(Fz_1)	50131	50307	50277	50350	50432	50523	50630
	max(Fz_3)	46103	46411	46477	46623	46846	47315	47381

x1,4C_L	max(Fz_1)	50156	50372	50385	50390	50484	50578	50697
	max(Fz_3)	46208	46431	46686	47031	47109	47394	47494
x1,5C_L	max(Fz_1)	50245	50375	50449	50470	50536	50634	50758
	max(Fz_3)	46319	46988	47186	47222	47285	47412	47626

Dựa trên kết quả tại hình 10, 11 có thể thấy rằng, cùng một loại đường với vận tốc xe tăng dần và cùng độ cứng thì tải trọng động lớn nhất có xu hướng tăng (độ cứng tăng 1,5 lần: v = 30 km/h, max(Fz_3) = 46319 (N); v = 40 km/h, max(Fz_3) = 46998 (N); v = 50 km/h, max(Fz_3) = 47186 (N); v = 60km/h, max(Fz_3) = 47222 (N); v = 70 km/h, max(Fz_3) = 47285 (N); v = 80 km/h, max(Fz_3) = 47412 (N); v = 90km/h, max(Fz_3) = 47494 (N). Trên cùng một loại đường, khi thay đổi giá trị độ cứng lốp xe theo hướng giảm với cùng một tốc độ thì tải trọng động lớn nhất có xu hướng giảm v = 90km/h: độ cứng lốp xe tăng 1,5 lần, max(Fz_1) = 50758 (N); độ cứng lốp xe ban đầu max(Fz_1) = 50389 (N); độ cứng lốp xe giảm một nữa, max(Fz_1) = 50045 (N).

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã khảo sát tải trọng động tác động lên xe tải ba cầu với kích động mặt đường ngẫu nhiên trên loại đường tốt (B) theo theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016. Kết quả nghiên cứu đã đánh giá, xác định được ảnh hưởng của độ cứng lốp xe đến tải trọng động, khi tăng độ cứng lốp xe thì tải trọng động tăng lên và ngược lại khi giảm độ cứng lốp xe thì tải trọng động giảm xuống. Từ kết quả phân tích trên, tác giả đưa ra một số nhận xét sau:

- Trên đường loại B, khi tăng độ cứng lốp xe lên 1,5 lần so với độ cứng ban đầu, tại vận tốc xe chuyển động 90km/h thì tải trọng động lớn nhất tác động lên xe ở cầu trước tăng lên 0,73%, tại cầu sau tăng lên 1,64%. Khi độ cứng lốp xe giảm xuống 0,5 lần so với độ cứng ban đầu, tại vận tốc xe chuyển động 90km/h thì tải trọng động lớn nhất tác động lên xe ở cầu trước giảm xuống 0,68%, tại cầu sau giảm xuống 1,92%

- Việc lựa chọn độ cứng lốp xe thì quan trọng trong quá trình, độ cứng lốp xe liên quan đến khả năng chịu tải, đặc tính động lực học, độ êm dịu chuyển động của xe và đặc biệt ảnh hưởng đến tải trọng động của xe.

- Kết quả nghiên cứu này là cơ sở trong việc tính toán thiết kế xe, khuyến cáo người sử dụng cần tuân thủ quy định về áp suất lốp xe (độ cứng lốp xe) theo hướng dẫn của nhà sản xuất nhằm tối ưu hóa quá trình sử dụng xe.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Dang Viet Ha, "Analyze the effect of tire stiffness on the dynamic load of a semi-trailer," *Transport Journal*, 3, 2021.

[2]. Phan Tuan Kiet, *Research to determine the vertical dynamic load of the vehicle fleet on the road surface*. Doctoral Thesis, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, 2018.

[3] Le Van Quynh, "Influence of semi-trailer truck operating condition on road surface friendliness," *JVE International Ltd. Vibroengineering PROCEDIA vol.16*, 2017. Doi: https://doi. org/10.21595/vp.2017.19321.

[4]. Truong Dang Viet Thang, Trinh Minh Hoang, Nguyen Trong Hoan, "A study to determine dynamic loadings affecting the semi-trailer frame," in *The 5th National Scientific Conference on Mechanical Engineering,* Hanoi, 2018

[5]. ISO8608:1995, Mechanical vibration-Road Surface Profiles-Reporting of Measured Data.

[6]. Phan Chuong Anh Khoi, *Research the influence of suspension stiffness on the dynamic load of three-axle trucks.* Master Thesis, Vinh Long University of Technology and Education, Vinhlong, 2022.

AUTHORS INFORMATION

Luong Van Van, Phan Chuong Anh Khoi, Nguyen Thanh Truong Giang

Vinh Long University of Technology and Education, Vietnam