

Nghiên cứu xác định tải trọng động tác dụng lên khung sơ mi - rơ moóc

A study to determine dynamic loadings affecting the semi-trailer frame

Trương Đặng Việt Thắng*, Trịnh Minh Hoàng, Nguyễn Trọng Hoan

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: thang.truongdangviet@hust.edu.vn

Tóm tắt

Từ khóa:

Động lực học, Hệ nhiều vật, Đoàn xe, Sơ mi rơ moóc, Tải trọng động, Matlab/Simulink

Mục đích của nghiên cứu là xây dựng và mô phỏng mô hình động lực học đoàn xe nhằm xác định tải trọng động tác dụng lên khung xe sơ mi rơ moóc. Mô hình động lực học đoàn xe gồm đầu kéo và sơ mi rơ moóc dài 40 feet được mô phỏng sử dụng Matlab/Simulink. Tải trọng động sinh ra do kích thích từ mấp mô mặt đường đến bánh xe qua hệ thống treo tác động lên khung xe. Mô hình được ứng dụng để nghiên cứu về rung ồn và phân tích độ bền kết cấu. Kết quả khảo sát mô hình là tải trọng động lên khung xe khi xe đi qua đường mấp mô ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn ISO 8608. Một số kết quả nghiên cứu được đưa ra để đánh giá và phân tích khả năng ứng dụng của mô hình.

Abstract

Keywords:

Dynamics, Multibody, Articulated Vehicle, Semi-Trailer, Dynamic Loading, Matlab/Simulink

This study aim is to develop and simulate dynamics of a combination tractor and semi-trailer to determine dynamic loading generated at semi-trailer chassis frame. Dynamics model of articulated vehicle with 40 feet semi-trailer using Matlab/Simulink. Dynamic loading in motion generated mostly due to the excitation from the rough surface of the road via wheels and suspension system to the frame chassis. This model is usually utilized to study the vibration problem (NVH) and structural strength analysis. The results of analysing model are the dynamic loads generated when the vehicle travels on road surface with the typical bump and road roughness profiles in accordance with ISO 8608. The research results are plotted for assessing and analyzing the applicability of the proposed model.

Ngày nhận bài: 31/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 04/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong dịch vụ vận chuyển hàng hóa, xe tải nặng và đoàn xe đóng vai trò quan trọng, chiếm phần lớn khối lượng vận chuyển bằng đường bộ. Với sự phát triển kinh tế xã hội, nhu cầu sử dụng sơ mi rơ moóc (SMRM) vận chuyển hàng hóa đường bộ ngày càng nhiều và đa dạng.

Đối với các đoàn xe sơ mi rơ moóc (ĐXSMMR), thông thường các nghiên cứu về động lực học thì tập trung vào nghiên cứu tính điều khiển quỹ đạo chuyển động nhằm đảm bảo an toàn cho hàng hóa, con người và các phương tiện khác do tính thảm khốc nếu có tai nạn xảy ra hoặc nghiên cứu ảnh hưởng tải trọng của chúng ảnh hưởng đến kết cấu cầu đường, hệ thống giao

thông hoặc đưa ra các cảnh báo vùng hoạt động ảnh hưởng xấu tác động đến hàng hóa, đường xá, tai nạn trong một số các nghiên cứu đã được công bố [2, 3, 4, 7].

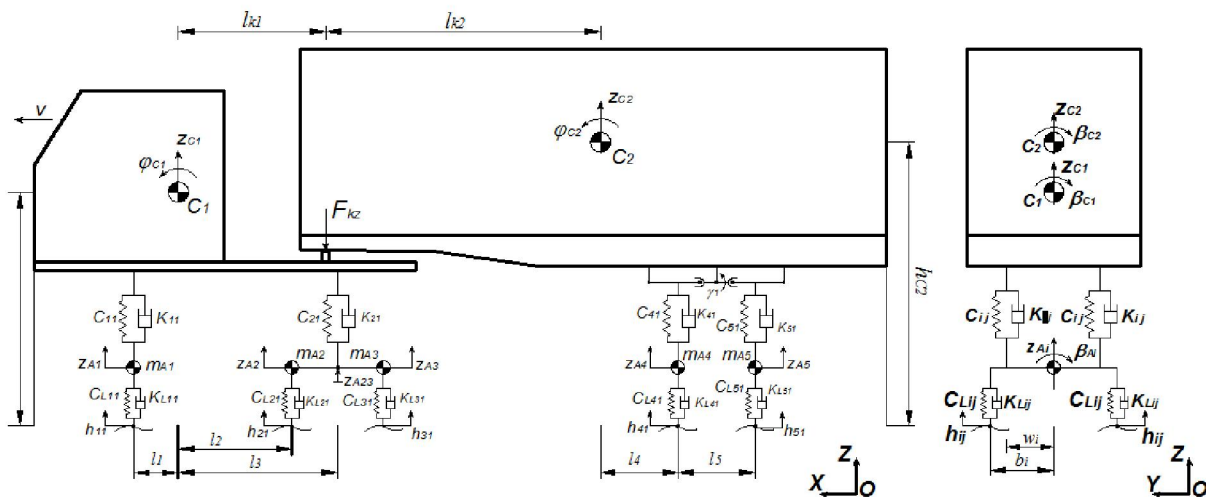
Mục đích chính của bài báo là xây dựng mô hình động lực học thẳng đứng ĐXSMMR có kể đến đặc tính phi tuyến hình học của hệ thống treo và lốp nhằm mục đích xác định các tải trọng động thẳng đứng sinh ra do kích động từ mấp mô mặt đường. Nghiên cứu khảo sát và mô hình động lực học thẳng đứng của ĐXSMMR 5 trục dài 40 feet trong Matlab/Simulink. Mô hình này được ứng dụng vào để nghiên cứu về rung ồn và phân tích độ bền kết cấu. Kết quả khảo sát mô hình là tải trọng động lên khung SMRM khi xe đi qua đường có mấp mô ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn ISO 8608:1995. Một số kết quả khảo sát ở các chế độ khác nhau và được đưa ra để đánh giá và phân tích.

Nội dung bài báo bao gồm các phần chính như sau: phần giới thiệu, phần hai là xây mô hình động lực học thẳng đứng của đoàn xe, phần ba giới thiệu và mô tả mấp mô mặt đường theo tiêu chuẩn ISO để khảo sát mô hình, kết quả và phân tích kết quả khảo sát được trình bày trong phần bốn và cuối cùng là kết luận và kiến nghị.

2. MÔ HÌNH ĐOÀN XE

2.1. Mô hình không gian

Đoàn xe được chọn khảo sát là đoàn xe SMRM 5 cầu, gồm xe đầu kéo 3 cầu và SMRM 2 cầu (hình 1). Trong đó, cầu 1 là cầu dẫn hướng, cầu 2-3 là cầu tandem dẫn động xe kéo với hệ thống treo dạng cân bằng, cầu 4-5 là cầu tandem liên kết với SMRM bằng hệ thống treo dạng cân bằng đòn lắc dọc.



Hình 1. Mô hình đoàn xe 5 cầu
a. Hình chiếu cạnh b. Hình chiếu từ sau

Theo Hình 1, OXYZ là hệ tọa độ cố định; m_{C1} , m_{C2} , là khối lượng được treo xe kéo, SMRM và m_{Ai} là các khối lượng không được treo tại các cầu i ($i = 1 \div 5$); Z_{C1} , Z_{C2} là chuyển vị thẳng đứng của khối lượng m_{C1} , m_{C2} ; Z_{Ai} là chuyển vị thẳng đứng của khối lượng không được treo m_{Ai} ; l_1 , l_2 , l_3 khoảng cách từ trọng tâm xe kéo đến cầu 1, 2; l_4 , l_5 khoảng cách từ trọng tâm SMRM đến cầu 4,5; l_{k1} , l_{k2} khoảng cách từ chốt kéo của SMRM đến trọng tâm xe kéo và SMRM; C_{ij} , K_{ij} độ cứng và hệ số cản giảm chấn hệ thống treo thứ ij , với i là thứ tự các cầu xe và

j : 1_trái, 2_phải; C_{Lij} , K_{Lij} độ cứng và hệ số cản hướng kính lớp thứ ij , w_i khoảng cách tâm cầu xe đến điểm đặt hệ thống treo i , $2b_i$ là chiều rộng cơ sở cầu xe thứ i , h_{ij} mấp mô mặt đường tại các bánh xe ij ($i = 1 \div 5, j = 1 \div 2$);

Trong nghiên cứu [7], tác giả đã thiết lập một mô hình xác định tải trọng động làm tải liệu tham khảo cho các nghiên cứu thiết kế đường với mô hình đoàn xe trong không gian với 28 bậc tự do khuyến cáo cho ngành cầu đường trong việc thiết kế đường cho ô tô nói chung và đoàn xe nói riêng. Mô hình động lực học đoàn xe SMRM được mô tả không gian cho các mục tiêu khác nhau như kích động một dãy, kích động hai dãy, kích động đơn. Trong nội dung bài báo, nghiên cứu nhằm xác định tải trọng động thẳng đứng tác dụng lên khung xe SMRM đối với đoàn xe 5 cầu với 16 bậc tự do (DOF) mô tả 16 tọa độ suy rộng bao gồm chuyển động phương thẳng đứng ĐXSMMR gồm các khối lượng được treo m_{C1} và m_{C2} (z_{C1}, z_{C2}); các góc lắc dọc β_{C1}, β_{C2} và góc lắc ngang $\varphi_{C1}, \varphi_{C2}$, chuyển động thẳng đứng và lắc ngang các khối lượng không treo tại các cầu xe z_{Ai}, β_{Ai} .

Để xác định tải trọng động thẳng đứng, mô hình sử dụng một số các giả thiết sau:

- Đoàn xe SMRM đối xứng trục theo chiều dọc;
- Các mô men M_{zij} tại các bánh xe bằng không ($M_{zij} = 0, i = 1 \div 5, j = 1 \div 2$);
- Độ đàn hồi của hệ thống treo tuyến tính khi chưa va chạm vấu hạn chế hành trình;
- Độ cứng hướng kính lớp không thay đổi khi chưa tách bánh;
- Bánh xe là đàn hồi; Các bánh xe kép được quy về bánh xe đơn; Khoảng cách giữa hai vết tiếp xúc được xác định là giá trị trung bình của vết tiếp xúc hai bánh xe đơn;
- Bỏ qua chuyển động dịch chuyển ngang tương đối giữa khối lượng được treo và không được treo, chỉ xét lắc dọc và lắc ngang.

2.2. Mô hình động lực học

Phương trình động lực học đoàn xe bao gồm các khối lượng được treo của xe kéo, SMRM và các khối lượng không được treo của cầu dẫn hướng xe kéo, cầu tandem chủ động xe kéo và cầu tandem xe bán moóc. Việc thiết lập phương trình động lực học theo nguyên lý tách cấu trúc hệ nhiều vật và dựa trên nguyên lý D'Alambert để mô tả chuyển động của các tọa độ suy rộng.

Hệ phương trình dao động thẳng đứng của mô hình đoàn xe khảo sát theo [5, 7] được mô tả như sau:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{C1} \ddot{z}_{C1} = F_{C1} + F_{K1} + F_{C2} + F_{K2} + F_{C3} + F_{K3} - F_{kz} \\ J_{yC1} \ddot{\beta}_{C1} = -(F_{C1} + F_{K1})l_1 + (F_{C23} + F_{K23})l_2 - F_{kz} \cdot l_{k1} \\ J_{xC1} \ddot{\beta}_{C1} = (F_{C11} + F_{K11} - F_{C12} - F_{K12})w_1 + (F_{C2l} + F_{K2l} - F_{C2r} - F_{K2r})w_2 \\ \quad + (F_{C31} + F_{K31} - F_{C32} - F_{K32})w_3 \\ m_{C2} \ddot{z}_{C2} = F_{C4} + F_{K4} + F_{C5} + F_{K5} + F_{kz} \\ J_{yC2} \ddot{\beta}_{C2} = (F_{C4} + F_{K4})l_4 + (F_{C5} + F_{K5})l_5 - F_{kz} \cdot l_{k2} \\ J_{xC2} \ddot{\beta}_{C2} = (F_{C41} + F_{K41} - F_{C42} - F_{K42})w_4 + (F_{C51} + F_{K51} - F_{C52} - F_{K52})w_5 \\ m_{Ai} \ddot{z}_{Ai} = F_{CLi1} + F_{KLi2} - F_{Ci1} - F_{Ki2} \\ J_{xAi} \ddot{\beta}_{Ai} = (F_{Ci1} + F_{Ki1} - F_{Ci2} - F_{Ki2})w_i + (F_{CLi2} + F_{KLi2} - F_{CLi1} - F_{KLi1})b_i \end{array} \right. \quad (1)$$

với ($i = 1 \div 5, j = 1 \div 2$)

Hệ phương trình (1) mô tả chuyển động thẳng đứng của tổ hợp đoàn xe SMRM với bảy khối lượng gồm 16 phương trình mô tả các bậc tự do của hệ với thông số đầu vào là kích động mặt đường. Trong đó, F_{Cij} và F_{Kij} là các nội lực của hệ thống treo:

$$\begin{cases} F_{Cij} = C(z_{Ai} - z_i) \\ F_{Kij} = K(\dot{z}_{Ai} - \dot{z}_i) \end{cases} \quad (2)$$

Với K, C là các hệ số đặc trưng cho hệ thống treo ô tô, F_{CLij} và F_{KLij} là các nội lực hướng kính của lốp.

2.3. Đặc tính hệ thống treo và tải trọng động tại bánh xe

Trong nội dung nghiên cứu này, các lực liên kết gồm liên kết giữa khối lượng được treo và không được treo, liên kết giữa mặt đường và bánh xe được mô tả trong mô hình khảo sát được coi là các lực phi tuyến hình học.

Đối với cầu dẫn động xe kéo sử dụng hệ thống treo cân bằng kiểu tandem, các lực đàn hồi F_{Cij} và lực cản giảm chấn F_{Kij} ($i=2\div 3, j=1\div 2$) được mô tả theo [5] như sau:

$$\begin{cases} z_{A23j} = \frac{1}{2}(z_{A2j} + z_{A3j}) \\ F_{C2j} + F_{K2j} = F_{C3j} + F_{K3j} = \frac{1}{2}(F_{C23j} + F_{K23j}) \end{cases} \quad (3)$$

Đối với cầu 4 và 5 xe bán moóc sử dụng hệ thống treo cân bằng liên tiếp có đòn lắc dọc, Phương trình chuyển động góc của các thanh cân bằng dọc theo [7]:

$$\begin{cases} J_{y1}\ddot{\gamma}_1 = (F_{C51} + F_{K51} - F_{C41} + F_{K41})\frac{c}{4} \\ J_{y2}\ddot{\gamma}_2 = (F_{C52} + F_{K52} - F_{C42} + F_{K42})\frac{c}{4} \end{cases} \quad (4)$$

Với γ_i là góc gắc dọc của đòn dọc, c là chiều dài đòn lắc dọc. Nội lực hệ thống treo được xác định từ độ cứng phần tử đàn hồi C và hệ số cản K với độ dịch chuyển và vận tốc dịch chuyển tương đối giữa khối lượng được treo và không được treo được xác định như sau:

$$\begin{cases} F_{Cij} = \begin{cases} C_\infty(z_{Aij} - z_{ij} + f_{dij}^n) \\ C_{ij}(z_{Aij} - z_{ij}) \\ -C_\infty(z_{Aij} - z_{ij} - f_{dij}^n) \end{cases} \\ F_{Kij} = K_{ij}(\dot{z}_{Aij} - \dot{z}_{ij}) \end{cases} \quad (5)$$

Tải trọng bánh xe có bản chất là phản lực lốp-đường, gồm tải trọng tĩnh và tải trọng động, nếu bỏ qua cản hướng kính của lốp thì các phản lực thẳng đứng F_{zij} được xác định phụ thuộc vào trạng thái tiếp xúc giữa bánh xe với mặt đường [2]:

$$F_{zij} = F_{Gij} + F_{z,dyn}$$

Trong đó, F_{Gij} là tải trọng tĩnh; $F_{z,dyn}$ là tải trọng động.

$$F_{zij,dyn} = \begin{cases} F_{CLij}, & h_{ij}(z_{Aij} - f_{dij}^n) \geq 0 \\ 0, & h_{ij}(z_{Aij} - f_{dij}^n) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$F_{CLij} = \begin{cases} C_{Lij}(h_{ij} - z_{Aij}); & h - \left(\xi - g \left(\frac{m+m_A}{c_L} \right) \right) \geq 0 \\ 0 & ; h - \left(\xi - g \left(\frac{m+m_A}{c_L} \right) \right) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

3. KÍCH ĐỘNG MẮP MÔ MẶT ĐƯỜNG

Có nhiều nguồn kích thích gây ra dao động thẳng đứng cho ô tô, trong đó nguồn kích động chính là từ các mấp mô của biên dạng đường. Nó ảnh hưởng đến nhiều tính năng khai thác, đặc biệt ảnh hưởng đến tính êm dịu, an toàn chuyển động và độ bền lâu của ô tô. Đối với các nghiên cứu về dao động và độ bền kết cấu của ô tô khi chịu tải trọng động thẳng đứng từ mặt đường lên các kết cấu của SMRM thì số liệu về độ mấp mô biên dạng mặt đường là rất cần thiết.

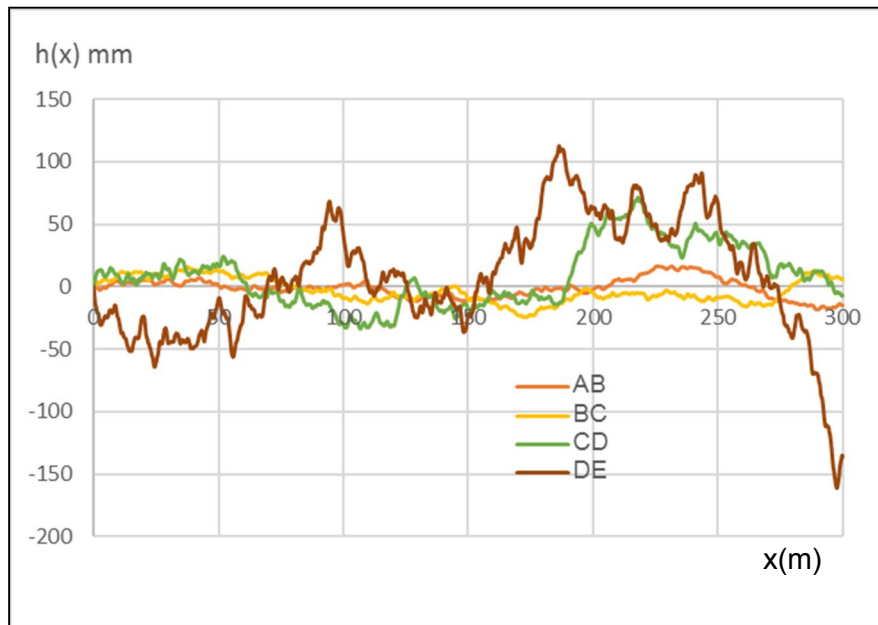
Tổ chức tiêu chuẩn quốc tế (ISO) đưa ra phương pháp biểu thị độ mấp mô biên dạng mặt đường với tiêu chuẩn ISO 8608:1995 [1] với 4 loại đường thông dụng phù hợp điều kiện khảo sát và mô phỏng đối với đoàn xe: “A-B” rất tốt, “B-C” đường tốt, “C-D” đường trung bình, “D-E” đường xấu.

Theo [6], nếu xem ô tô chuyển động đều với vận tốc không đổi thì mô tả mấp mô mặt đường ngẫu nhiên thông qua hàm biến đổi Fourier ngược như sau:

$$h(x) = \sum_{i=0}^N \sqrt{\Delta n_i} \cdot 2^k \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n_0}{i \cdot \Delta n} \right) \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot \Delta n \cdot x + \varphi_i) \quad (8)$$

Với x là biến thay đổi từ $0 \rightarrow L$; $\Delta n = 1/L$; $n_{\max} = 1/B$; $N = n_{\max}/\Delta n$, k là hằng số theo ISO cho từng loại mặt đường, có giá trị từ 3 đến 6 tương ứng cho mặt đường AB, BC, CD, DE; $n_0 = 0,1$ vòng/m; φ có giá trị ngẫu nhiên từ $0 \rightarrow 2\pi$.

Hàm $h(x)$ được sử dụng làm hàm kích thích cho mô hình khảo sát được thực hiện trong Matlab/Simulink. Hình 2 mô tả mấp mô mặt đường ngẫu nhiên với tốc độ 40km/h cho các loại đường AB, BC, CD, DE.



Hình 2. Biên dạng mấp mô mặt đường theo ISO cho các mặt đường AB, BC, CD, DE

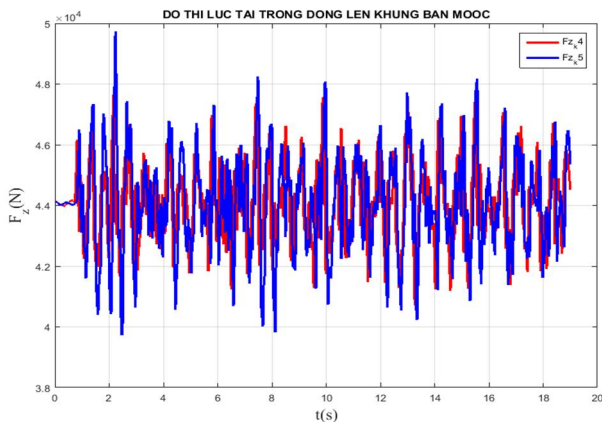
4. KẾT QUẢ

Tải trọng động thẳng đứng của ĐXSMMR 5 cầu qua hệ phương trình (1) được mô phỏng trong môi trường Matlab/Simulink với các thông số của xe tham khảo theo Bảng 1.

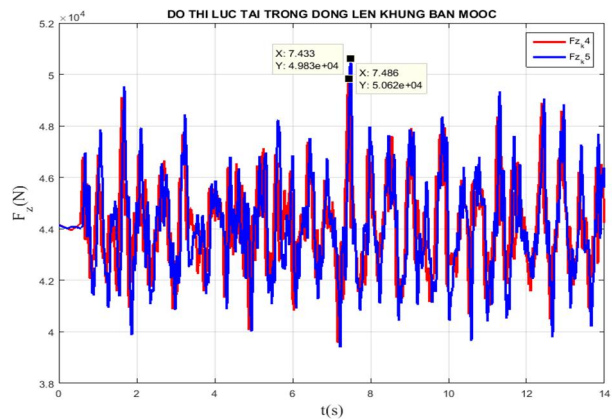
Bảng 1. Thông số kết cấu đoàn xe 5 cầu tham khảo

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Chiều dài cơ sở của xe kéo	L_1+a	m	3,05 + 1,3
Kích thước bao bán moóc	$DxRxC$	m	12,500 x 2,480 x 3,95
Chiều dài cơ sở của xe bán moóc	L_2+b	m	9 + 1,31
Khối lượng toàn bộ xe kéo	M_1	kg	8.720
Khối lượng rơ moóc	M_2	kg	27.000
Khối lượng phân bố lên chốt kéo	m_{ck}	kg	9.200
Khối lượng phân bố lên cầu 4,5 bán moóc	-	kg	9.000
Độ cứng của nhíp trước xe kéo	C_{1j}	N/m	250.000
Độ cứng của nhíp sau xe kéo	C_{23j}	N/m	1.400.000
Độ cứng của nhíp cầu xe rơ moóc	C_{4j}, C_{5j}	N/m	700.000
Hệ số cản giảm chấn của treo trước xe kéo	K_{1j}	Ns/m	15.000
Hệ số cản giảm chấn của treo sau xe kéo	K_{23j}	Ns/m	30.000
Hệ số cản giảm chấn của treo xe rơ moóc	K_{4j}, K_{5j}	Ns/m	30.000
Độ cứng hướng kính lớp trước xe kéo	C_{L1j}	N/m	1.000.000
Độ cứng hướng kính lớp sau xe kéo	C_{L2j}, C_{L3j}	N/m	2.000.000
Độ cứng hướng kính lớp SMRM	C_{L4j}, C_{L5j}	N/m	2.000.000

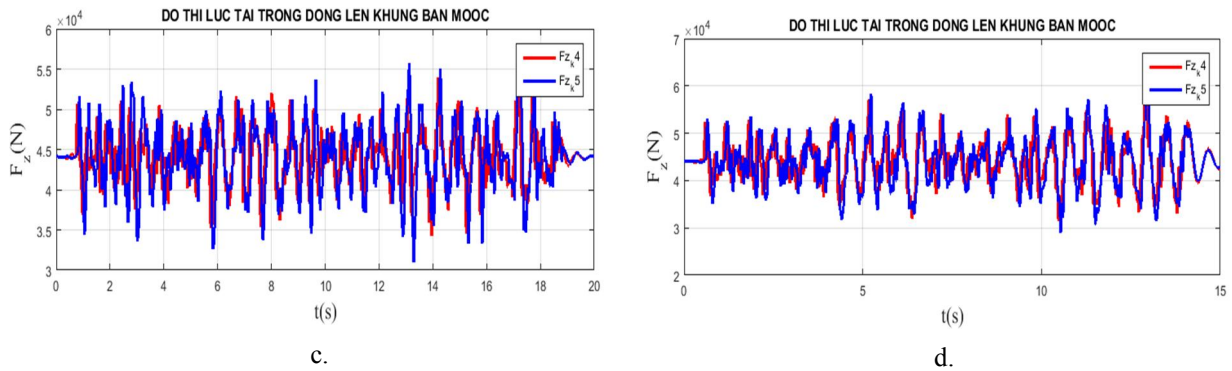
Trong nội dung nghiên cứu này, các chế độ được lựa chọn để khảo sát mô hình đoàn xe ở các tốc độ 60km/h và 80km/h trên các mặt đường BC và CD nhằm mục đích xác định tải trọng động từ kích động mấp mô mặt đường và bánh xe qua hệ thống treo tác động lên các vị trí lắp ghép hệ thống treo với khung xe bán moóc. Đây là trường hợp thường xuyên xảy ra trong thực tế đối với ĐXSMMR phù hợp cho bài toán xác định tải trọng động nhằm đánh giá độ bền các kết cấu.



a.

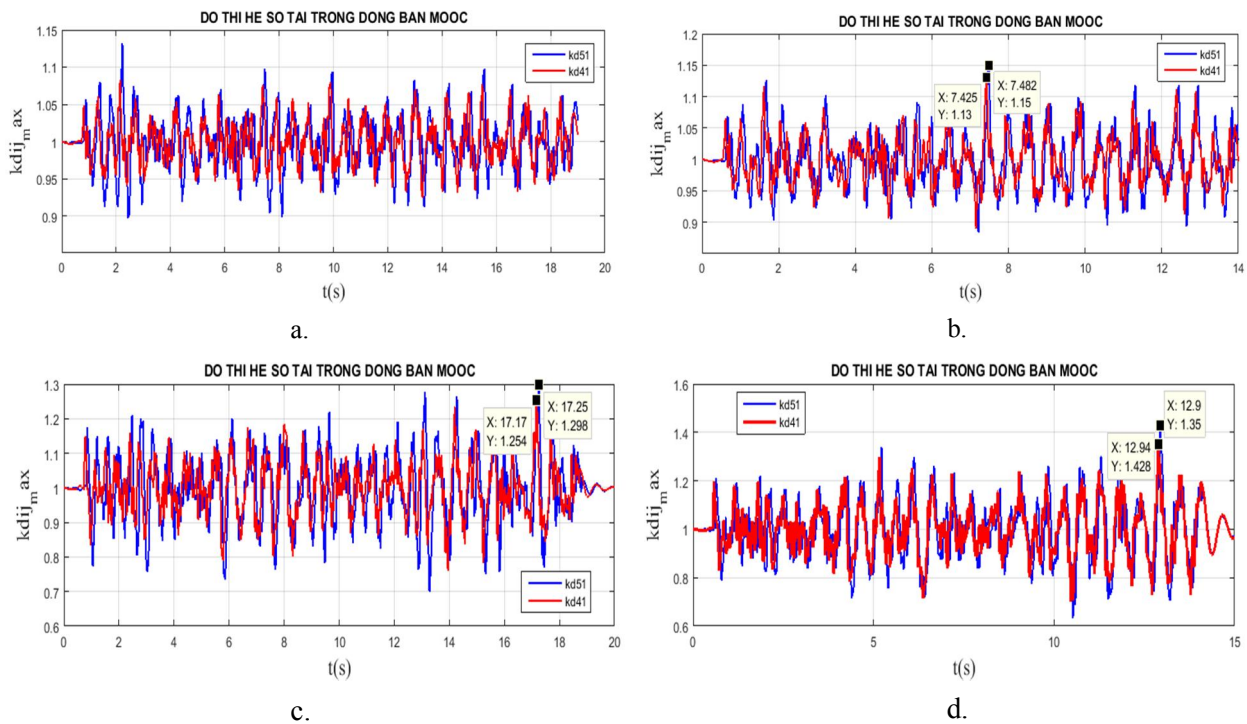


b.



Hình 3. Tải trọng động tại các mẫu nhíp ở cầu 4 và 5 xe bán moóc

a. Đường BC, 60km/h b. Đường BC, 80km/h c. Đường CD, 60km/h d. Đường CD, 80km/h

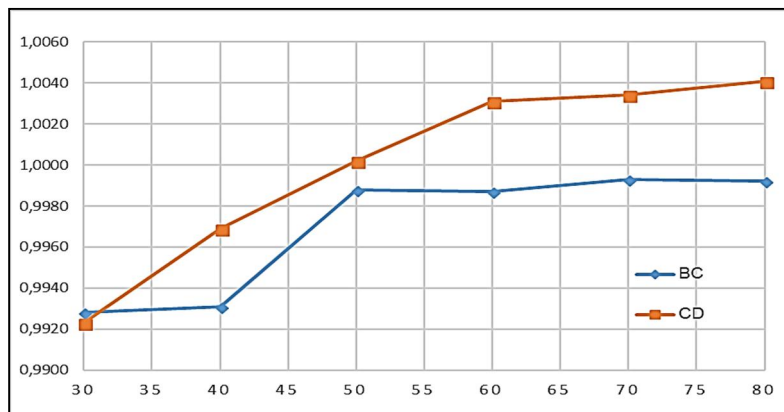


Hình 4. Hệ số tải trọng động cầu 4, 5 xe bán moóc

a. Đường BC, 60km/h b. Đường BC, 80km/h c. Đường CD, 60km/h d. Đường CD, 80km/h

Qua các kết quả mô phỏng tải trọng động và hệ số tải trọng động tại vị trí của khung và hệ thống treo ở cầu 4 và 5 xe SMRM khi cho đoàn xe chạy các tốc độ khác nhau trên các mặt đường mấp mô ngẫu nhiên khác nhau. Có thể dễ dàng quan sát được trên cùng loại đường vận tốc càng lớn thì giá trị tải động và hệ số tải trọng động tăng theo và cùng một vận tốc loại đường càng xấu thì các các giá trị cực đại của chúng cũng tăng theo. Giá trị hệ số tải trọng động lớn nhất sinh ra ở vị trí cầu số 5, cụ thể trên đường BC là 1,131 và 1,15 và trên đường CD là 1,3 và 1,43 ở vận tốc lần lượt 60km/h và 80km/h.

Để đánh giá hệ số tải trọng động ở các kết quả mô phỏng, ta có thể dùng giá trị bình phương trung bình RMS(kd) thể hiện qua Hình 5.



Hình 5. giá trị bình phương trung bình RMS(kd) khung SMRM tại cầu số 5

Giá trị bình phương trung bình hệ số tải trọng động tại khung cũng có xu hướng tăng khi vận tốc tăng và tăng khi cùng vận tốc mà đường xấu hơn. Giá trị bình phương trung bình đối với hệ số tải trọng động có thể được dùng tham số tham chiếu khi mô phỏng mô hình động lực học ô tô trong môi trường MBS (Multibody System) để đánh giá độ bền kết cấu.

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp xác định tải trọng động lên khung sơ mi rơ moóc khi cho xe trên một số đường có biên dạng theo tiêu chuẩn ISO. Kết quả xác định tải trọng động này có thể được sử dụng cho bài toán phân tích độ bền tĩnh và bền mỏi của khung SMRM. Dĩ nhiên, để đánh giá độ chính xác và độ tin cậy của mô hình cần có thí nghiệm thực tế để kiểm chứng. Hiện nay, với ứng dụng công cụ CAE có hỗ trợ mô tả động lực học hệ nhiều vật (MBD), có thể xây dựng mô hình động lực học bằng phương pháp MBD kết hợp CAE để nâng cao hiệu quả trong các vấn đề nghiên cứu về rung ồn và đánh giá độ bền các kết cấu trên ô tô nói chung, đoàn xe sơ mi rơ moóc nói riêng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. ISO8608:1995, Mechanical vibration-Road Surface Profiles-Reporting of Measured Data.
- [2]. P. Bolzern, R. M. DeSantis, A. Locatelli, *An Input-Output Linearization Approach to the Control of an n-Body Articulated Vehicle*, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, SEPTEMBER 2001, Vol. 123 Ồ 309.
- [3]. Le, V.Q. & Zhang, J & Liu, X & Wang, Y. (2011). *Nonlinear dynamic analysis of interaction between vehicle and road surfaces for 5-axle heavy truck*. Journal of Southeast University (English Edition). 27. 405-409. 10.3969/j.issn.1003-7985.2011.04.012.
- [4]. Rosnawati Buhari, Munzilah Md Rohani and Mohd Ezree Abdullah, *Dynamic Load Coefficient of Tyre Forces from Truck Axles*, Applied Mechanics and Materials Vols. 405-408 (2013) pp 1900-1911.
- [5]. Võ Văn Hùng, Nguyễn Tiến Dũng, Dương Ngọc Khánh, Đàm Hoàng Phúc, “*Động lực học ô tô*”, NXBGDVN, 2014.
- [6]. M. Agostinacchio & D. Ciampa & S. Olita, *The vibrations induced by surface irregularities in road pavements - a Matlab® approach*, Eur. Transp. Res. Rev. (2014) 6:267-275.
- [7]. Phan Tuấn Kiệt, *Nghiên cứu xác định tải trọng động thẳng đứng của đoàn xe lên mặt đường*, Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 2018.