

KHẢO SÁT DAO ĐỘNG Ô TÔ ĐIỆN TESLA MODEL 3 BẰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC DAO ĐỘNG 3D A SURVEY ON THE OSCILLATION OF TESLA MODEL 3 ELECTRIC CARS BY 3D OSCILLATION DYNAMICS MODEL

KS. NGUYỄN THÀNH TRƯỜNG GIANG^{1*},
PGS.TS. CAO HÙNG PHI¹, ThS. KHÁU TẤN PHÁT¹

¹Trường Đại học SPKT Vĩnh Long

Email*: giangntt@vlute.edu.vn; ĐTDĐ: 0939994036.

Nhận bài (received): 15/12/2021; Phản biện (revised): 09/02/2022; Chấp nhận (accepted): 08/4/2022

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày kết quả khảo sát dao động của ô tô điện Tesla Model 3 khi di chuyển trên loại đường C tiêu chuẩn ISO 8608:2016 với các vận tốc khác nhau. Phương pháp chủ yếu được sử dụng tách cấu trúc Newton Euler để thiết lập hệ phương trình động lực học ô tô bằng mô hình dao động 3D. Các phương trình thiết lập được mô phỏng bằng phần mềm MATLAB-Simulink để khảo sát dao động của ô tô điện Tesla Model 3. Các kết quả khảo sát, tác giả đưa ra kết luận với khoảng tốc độ từ 60 đến 80 km/h thì ô tô chuyển động trong giới hạn sức làm việc của con người với loại mặt đường C theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016.

Từ khóa: dao động, vận tốc, động lực học, ô tô điện.

ABSTRACT

This paper presents the survey results of the oscillation of Tesla Model 3 electric cars when traveling on the ISO 8608:2016 standard C road with different speeds. The main method used is the Newton Euler structure separation method to establish the system of car dynamics equations by the 3D oscillation model. The setup equations are simulated using MATLAB-Simulink software to investigate the oscillation of Tesla Model 3 electric cars. The survey results show that with a speed range from 60 to 80 km/h, the car moves within the limits of human working capacity with the C pavement type according to ISO 8608:2016 standard.

Keywords: oscillation, speed, dynamics, electric cars.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dao động của ô tô ảnh hưởng trực tiếp đến tuổi thọ của xe và khả năng chịu đựng của con người ngồi trên xe. Khi xe chuyển động với tốc độ cao trên các mặt đường mấp mô khác nhau thì tần số dao động

cũng thay đổi liên tục nên dễ dẫn đến mất ổn định do xảy ra hiện tượng trượt quay bánh xe, độ êm dịu chuyển động vượt quá ngưỡng chịu đựng của con người.

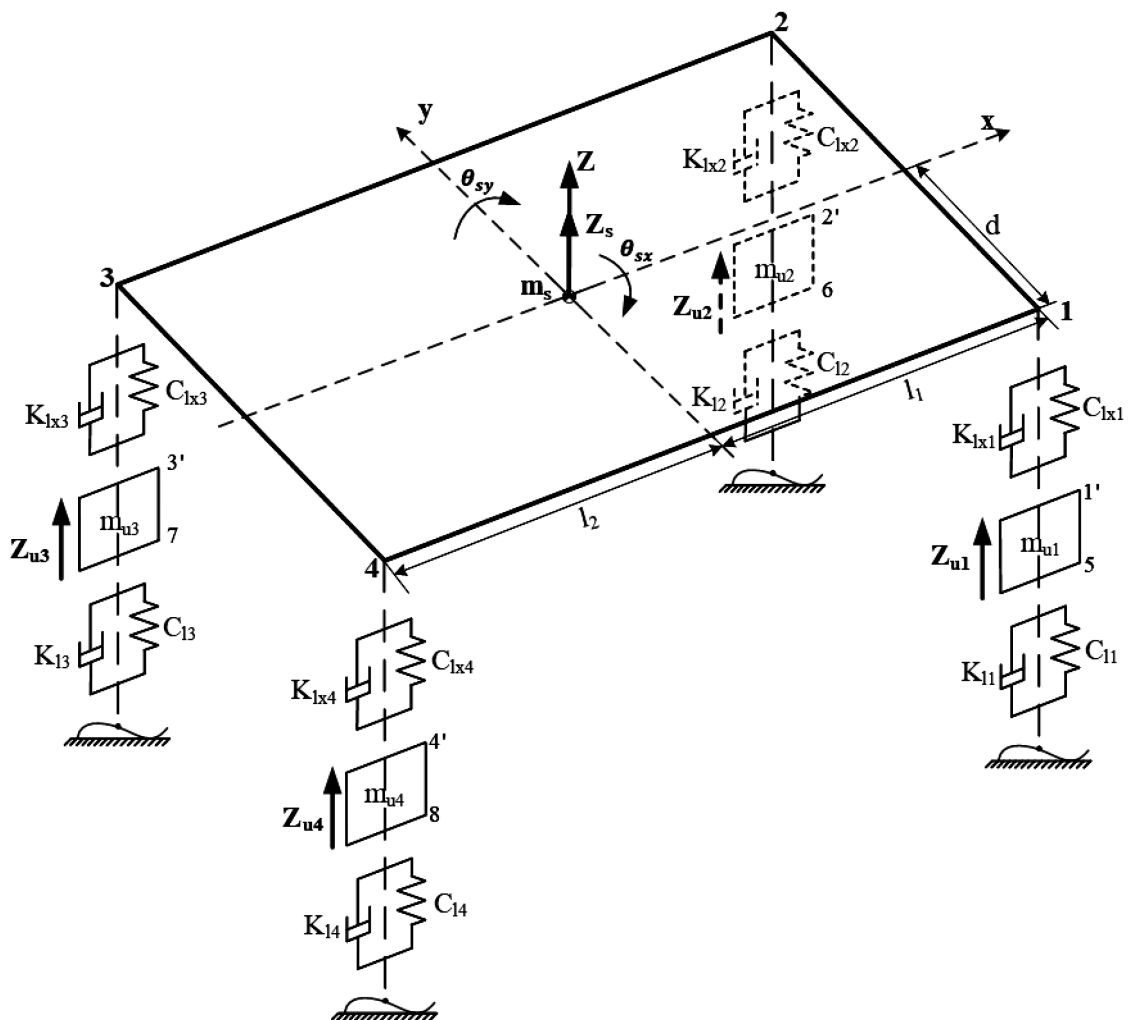
Bên cạnh đó, việc sử dụng động cơ đốt trong đang gây ảnh hưởng xấu đến môi

trường, đặc biệt là lượng khí thải độc hại tác động đến sức khỏe con người. Nhiên liệu truyền thống sử dụng cho động cơ đốt trong cũng dần cạn kiệt do nguồn tài nguyên suy giảm. Việc sử dụng nguồn nhiên liệu thay thế trở nên cấp bách hơn bao giờ hết, trong đó các phương án sử dụng năng lượng điện, pin nhiên liệu, khí hóa lỏng,...., lần lượt được thực nghiệm và đưa ra sản xuất. Ô tô điện nói chung và Tesla Model 3 nói riêng là dòng xe thân thiện với môi trường, ứng dụng công nghệ cao trong vận hành và khả năng êm dịu trong dao động được lựa chọn trong nhiều đề tài nghiên cứu khoa học để khảo sát, đánh giá.

Vì vậy tác giả đã chọn hướng nghiên cứu lý thuyết “*Xây dựng mô hình động lực học và khảo sát dao động trên ô tô điện Tesla Model 3*” và khảo sát trường hợp khi xe chuyển động trên loại đường C theo tiêu chuẩn ISO ISO 8608:2016 để xác định được mức độ ảnh hưởng tốc độ đến dao động ô tô điện Tesla Model 3. Từ đó đưa ra lời khuyên phù hợp cho người sử dụng để tăng tuổi thọ xe và độ êm dịu cho người điều khiển và hành khách trên xe.

2. XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG LỰC HỌC

2.1. Mô hình tính toán



Hình 1.1. Mô hình không gian hai cầu hệ thống treo cầu trước và cầu sau độc lập 7 DOF

Trong đó:

+ $Z_s, Z_{u1}, Z_{u2}, Z_{u3}, Z_{u4}$: chuyển vị của khối lượng được treo theo phương Z , chuyển vị của khối lượng không được treo tại vị trí trước phải, trước trái, sau trái và sau phải theo phương Z .

+ $m_s, m_{u1}, m_{u2}, m_{u3}, m_{u4}$: khối lượng được treo, khối lượng không được treo tại vị trí trước phải, trước trái, sau trái và sau phải.

+ θ_{sy}, θ_{sx} : góc xoay của khối lượng được treo quanh trục Y, X .

+ $C_{Lx1}, C_{Lx2}, C_{Lx3}, C_{Lx4}, K_{Lx1}, K_{Lx2}, K_{Lx3}, K_{Lx4}, C_{L1}, C_{L2}, C_{L3}, C_{L4}, K_{L1}, K_{L2}, K_{L3}, K_{L4}$: độ cứng lò xo hệ thống treo trước, sau; Hệ số cản giảm chấn hệ thống treo trước, sau; Độ cứng lớp xe trước, sau; Hệ số cản giảm chấn lớp trước, lớp sau.

+ l_1, l_2 : khoảng cách từ tâm ô tô đến tâm cầu trước, cầu sau.

+ d : Khoảng cách từ tâm bánh xe đến điểm liên kết bánh xe trái hoặc phải.

+ Điểm 1, 2, 3, 4; 1', 2', 3', 4': các điểm liên kết của khối lượng được treo và không được treo với hệ thống treo ứng với các vị trí trước phải, trước trái, sau trái, sau phải.

+ Điểm 5, 6, 7, 8: các điểm liên kết của khối lượng không được treo với lớp xe ứng với các vị trí trước phải, trước trái, sau trái, sau phải.

2.2. Biên dạng mặt đường

Hiện nay phương pháp mô tả mấp mô mặt đường bằng hàm ngẫu nhiên đã được chuẩn hoá theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016 [1]. Vì vậy, các nhà nghiên cứu thường sử dụng tiêu chuẩn này để mô tả kích thích

từ mặt đường trong các mô hình động lực học của ô tô. Đặc điểm của tiêu chuẩn là được phân biệt các dạng đường theo mật độ phổ năng lượng và chia chúng thành 6 loại tiêu chuẩn với các ký hiệu quy ước từ A đến F.

Hàm mật độ năng lượng chiều cao của mấp mô mặt đường theo tần số n được tính như sau:

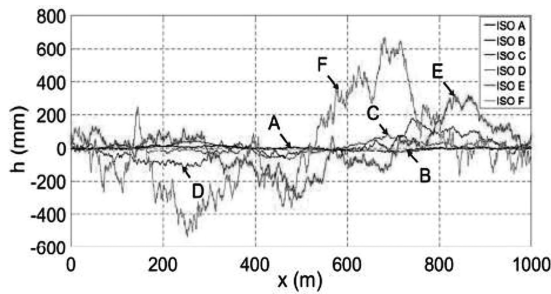
$$G_d(n) = G_d(n_0) \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-w} \quad (2.1)$$

Hoặc

$$G_d(\Omega) = G_d(\Omega_0) \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{-w} \quad (2.2)$$

Trong đó: n là tần số không gian (*chu kỳ/m*); n_0 là giá trị tham chiếu của n ($n_0 = 0.1$ *chu kỳ/m*); $G_d(n_0)$ là mật độ phổ năng lượng ở tần số n_0 ; Ω là tần số góc (*rad/m*), $\Omega_0 = 1$ *rad/m*, Mối quan hệ giữa tần số n và tần số góc được thể hiện bằng biểu thức: $n = \Omega/2\pi$. Khi tính toán thì w thường được chọn bằng 2.

Mấp mô mặt đường theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016 được ứng dụng trong khảo sát bài toán động nhằm xác định ảnh hưởng của tải trọng động của các loại mô hình đường. Các tải trọng động này gây ra các ứng suất động trong khung sát xi, ảnh hưởng đến độ bền của khung. Do đó, việc khảo sát tải trọng động lên khung sát xi khi xe chạy trên các mặt đường để xác định độ bền của khung, đồng thời làm thông số đầu vào cho bài toán xác định độ bền động của khung. Mấp mô bề mặt của 6 loại đường theo ISO 8608:2016, khoảng chiều dài 1000 m được mô tả ở hình 1.2.



Hình 1.2. Mấp mô mặt đường theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016

Từ tiêu chuẩn ISO 8608:2016 ta có thể xây dựng hàm ngẫu nhiên mô tả độ cao mấp mô mặt đường h . Hàm mật độ phổ được mô tả bằng biểu thức:

$$h = f(x) \text{ hoặc } h = f'(x)$$

Trong đó: với h - chiều cao mấp mô, t - thời gian, x - dịch chuyển theo hướng

$$\begin{aligned} m_s \ddot{Z}_s = & -K_{Lx1} (2\dot{Z}_s + 2\dot{\theta}_{sy} l_1 - \dot{Z}_{u1} - \dot{Z}_{u2}) - C_{Lx1} (2Z_s + 2\theta_{sy} l_1 - Z_{u1} - Z_{u2}) \\ & - K_{Lx2} (2\dot{Z}_s - 2\dot{\theta}_{sy} l_2 - 2\dot{Z}_{u3}) - C_{Lx2} (2Z_s - 2\theta_{sy} l_2 - 2Z_{u3}) = 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

- Phương trình lắc dọc $\ddot{\theta}_{sy}$ của ô tô:

$$\begin{aligned} J_{sy} \ddot{\theta}_{sy} = & -K_{Lx1} l_1 (2\dot{Z}_s + 2\dot{\theta}_{sy} l_1 - \dot{Z}_{u1} - \dot{Z}_{u2}) - C_{Lx1} l_1 (2Z_s + 2\theta_{sy} l_1 - Z_{u1} - Z_{u2}) \\ & + K_{Lx2} l_2 (2\dot{Z}_s - 2\dot{\theta}_{sy} l_2 - 2\dot{Z}_{u3}) + C_{Lx2} l_2 (2Z_s - 2\theta_{sy} l_2 - 2Z_{u3}) = 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

- Phương trình lắc ngang $\ddot{\theta}_{sx}$ của khối lượng được treo:

$$\begin{aligned} J_{sx} \ddot{\theta}_{sx} = & -K_{Lx1} d (2\dot{\theta}_{sx} d - \dot{Z}_{u1} + \dot{Z}_{u2}) - C_{Lx1} d (2\theta_{sx} d - Z_{u1} + Z_{u2}) \\ & - K_{Lx2} d (2\dot{\theta}_{sx} d) - C_{Lx2} d (2\theta_{sx} d) = 0 \end{aligned} \quad (2.5)$$

- Hệ phương trình động lực học ngang của cầu trước bên phải:

$$\begin{aligned} m_{u1} \ddot{Z}_{u1} = & -K_{Lx1} (\dot{Z}_{u1} - \dot{Z}_s - \dot{\theta}_{sy} l_1 - \dot{\theta}_{sx} d) - C_{Lx1} (Z_{u1} - Z_s - \theta_{sy} l_1 - \theta_{sx} d) \\ & - K_{L1} (\dot{Z}_{u1} - \dot{h}_{11}) - C_{L1} (Z_{u1} - h_{11}) \end{aligned} \quad (2.6)$$

- Hệ phương trình động lực học ngang của cầu trước bên trái:

$$\begin{aligned} m_{u2} \ddot{Z}_{u2} = & -K_{Lx1} (\dot{Z}_{u2} - \dot{Z}_s - \dot{\theta}_{sy} l_1 + \dot{\theta}_{sx} d) - C_{Lx1} (Z_{u2} - Z_s - \theta_{sy} l_1 + \theta_{sx} d) \\ & - K_{L1} (\dot{Z}_{u2} - \dot{h}_{12}) - C_{L1} (Z_{u2} - h_{12}) \end{aligned} \quad (2.7)$$

- Hệ phương trình động lực học ngang của cầu sau bên phải:

$$\begin{aligned} m_{u3} \ddot{Z}_{u3} = & -K_{Lx2} (\dot{Z}_{u3} - \dot{Z}_s + \dot{\theta}_{sy} l_2 + \dot{\theta}_{sx} d) - C_{Lx2} (Z_{u3} - Z_s + \theta_{sy} l_2 + \theta_{sx} d) \\ & - K_{L2} (\dot{Z}_{u3} - \dot{h}_{21}) - C_{L2} (Z_{u3} - h_{21}) \end{aligned} \quad (2.8)$$

chuyển động.

2.3 Thiết lập phương trình dao động

Áp dụng phương trình Newton Euler cho các khối lượng dao động gồm: Khối lượng được treo gồm chuyển động tịnh tiến theo phương Z (Z_s), chuyển động xoay quanh trục x (θ_{sx}), chuyển động xoay quanh trục Y (θ_{sy}); khối lượng không được treo cầu trước gồm chuyển động tịnh tiến theo phương Z của bánh trái, phải là Z_{u2} , Z_{u1} ; khối lượng không được treo cầu sau gồm chuyển động tịnh tiến theo phương Z của bánh trái, phải là Z_{u3} , Z_{u4} . Tác giả thiết lập được hệ phương trình vi phân gồm 7 phương trình:

- Phương trình chuyển động thân xe theo phương Z của ô tô:

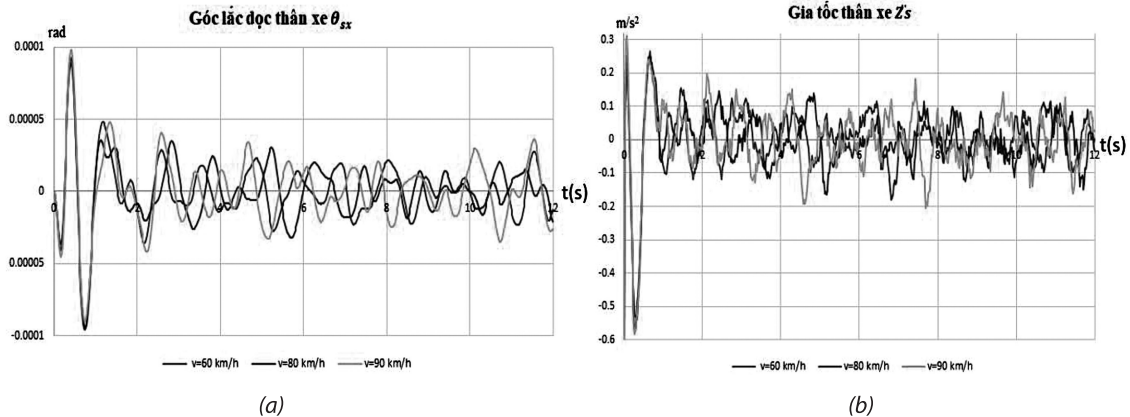
- Hệ phương trình động lực học ngang của cầu sau bên trái:

$$m_{u4} \ddot{Z}_{u4} = -K_{Lx2} (\dot{Z}_{u4} - \dot{Z}_s + \dot{\theta}_{sy} l_2 - \dot{\theta}_{sx} d) - C_{Lx2} (Z_{u4} - Z_s + \theta_{sy} l_2 - \theta_{sx} d) - K_{L2} (\dot{Z}_{u4} - \dot{h}_{22}) - C_{L2} (Z_{u4} - h_{22}) \quad (2.9)$$

3. KẾT QUẢ KHẢO SÁT, ĐÁNH GIÁ

Trường hợp ô tô chạy trên mặt đường

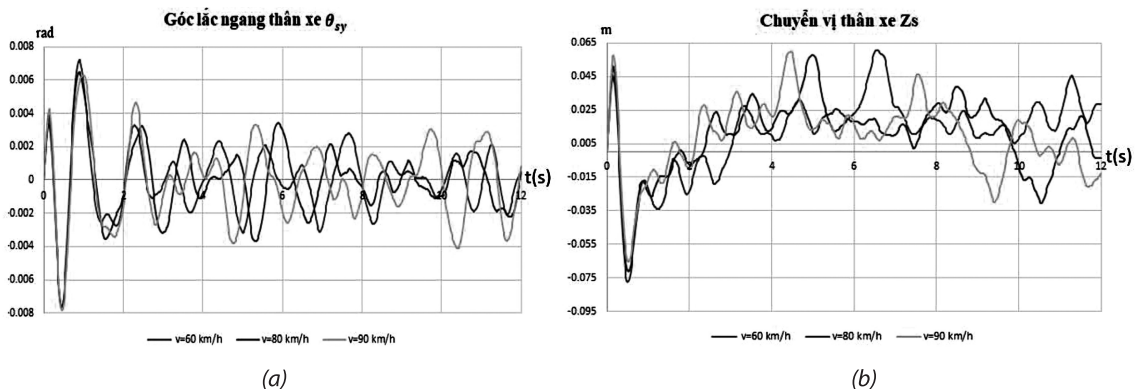
theo tiêu chuẩn ISO loại mặt đường C với các vận tốc khảo sát 60 km/h, 80 km/h, 90 km/h.



Hình 1.3. Góc lắc dọc thân xe θ_{sx} (a) và gia tốc thân xe ở tốc độ $\ddot{Z}_s$ (b)

- Từ kết quả khảo sát cho thấy dựa trên biên dạng mặt đường C theo chuẩn ISO 8608:2016 với các dãy vận tốc 60 km/h, 80 km/h, 90 km/h thì ở tốc độ 60÷80 km/h với gia tốc (hình 1.3.b) cực đại thân xe khoảng 0.25 m/s², gia tốc thân xe trở lại mức ổn định khoảng 0.15 m/s². Tốc độ 90 km/h gia

tốc thân xe dao động cực đại lớn hơn 0.3 m/s² nên sẽ gây ra một môi cho hành khách. Góc lắc dọc cực đại (hình 1.3.a) khoảng 0.0001 rad. Tốc độ 90 km/h góc lắc dọc cực đại nhỏ hơn 0.06 nhưng góc lắc dọc khi trở lại trạng thái ổn định lớn hơn góc lắc dọc ở các tốc độ 60÷80 km/h.



Hình 1.4. Góc lắc ngang thân xe θ_{sy} (a) và chuyển vị thân xe Z_s (b)

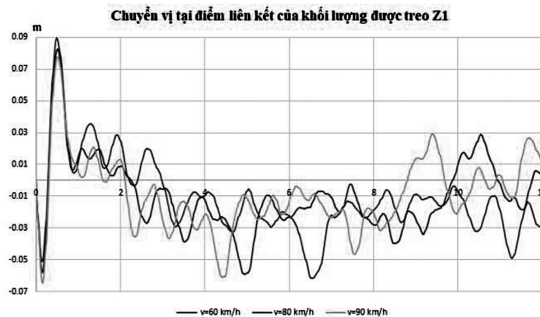
- Từ kết quả khảo sát cho thấy dựa trên biên dạng mặt đường C theo chuẩn ISO

8608:2016 với các dãy vận tốc 60 km/h, 80 km/h, 90 km/h thì ở tốc độ 60÷80 km/h

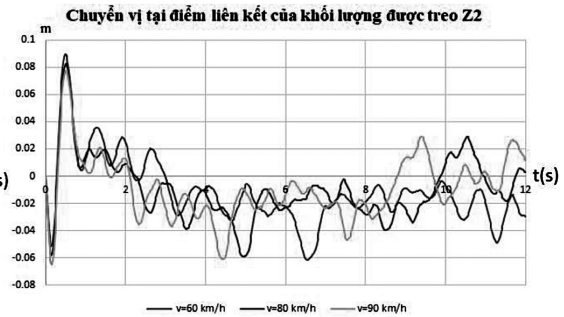
góc lắc ngang cực đại (hình 1.4.a) khoảng 0.007 rad. Tốc độ 90 km/h góc lắc ngang cực đại nhỏ hơn 0.008 rad.

Chuyển vị của thân xe cực đại (hình

1.4.b) khoảng 0.61 m và chuyển vị thân xe ổn định ở mức dưới 0.06 m. Tốc độ 90 km/h chuyển vị của thân xe cực đại khoảng 0.63 m.



(a)



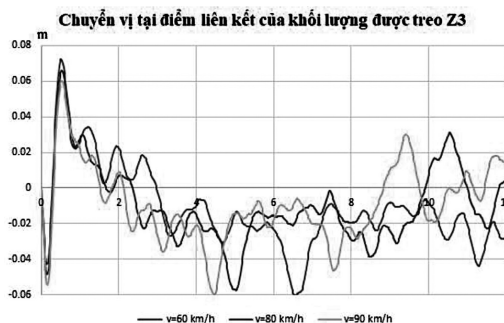
(b)

Hình 1.5. Chuyển vị tại điểm liên kết của khối lượng được treo Z_1 (a) và Z_2 (b)

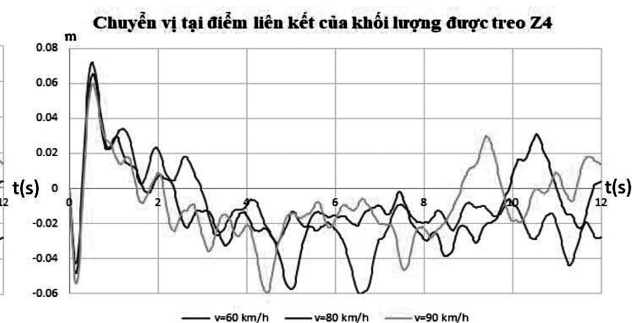
- Ở tốc độ 60÷80 km/h chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_1 (hình 1.5.a) đạt giá trị cực đại khoảng 0.09 m và chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo ổn định ở mức dưới 0.03m. Tốc độ 90 km/h chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_1 đạt giá trị cực đại khoảng 0.08m.

Chuyển vị tại các điểm liên kết của

khối lượng được treo Z_2 (hình 1.5.b) đạt giá trị cực đại khoảng 0.09 m và chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo ổn định ở mức dưới 0.02m. Tốc độ 90 km/h chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_2 đạt giá trị cực đại khoảng dưới 0.08m và chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo ổn định ở mức dưới 0.04m.



(a)



(b)

Hình 1.6. Chuyển vị tại điểm liên kết của khối lượng được treo Z_3 (a) và Z_4 (b)

- Ở tốc độ 60÷80 km/h chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_3 (hình 1.6.a) đạt giá trị cực đại khoảng 0.07 m và chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo ổn định ở mức dưới 0.02 m. Tốc độ 90 km/h chuyển vị tại các điểm liên

kết của khối lượng được treo Z_3 đạt giá trị cực đại khoảng dưới 0.06 m và chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo ổn định ở mức dưới 0.04 m.

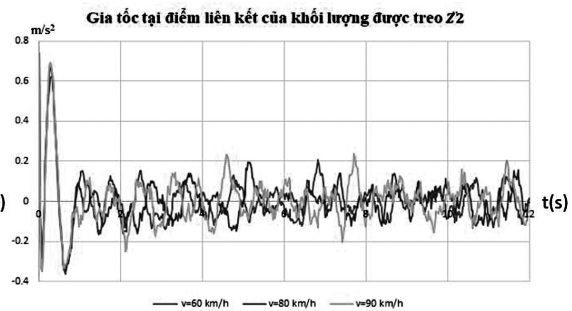
Chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_4 (hình 1.6.b) đạt

giá trị cực đại khoảng 0.07 m và chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo ổn định ở mức dưới 0.02 m. Tốc độ 90 km/h chuyển vị tại các điểm liên kết của

khối lượng được treo Z_4 đạt giá trị cực đại khoảng dưới 0.06 m và chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo ổn định ở mức dưới 0.04 m.



(a)

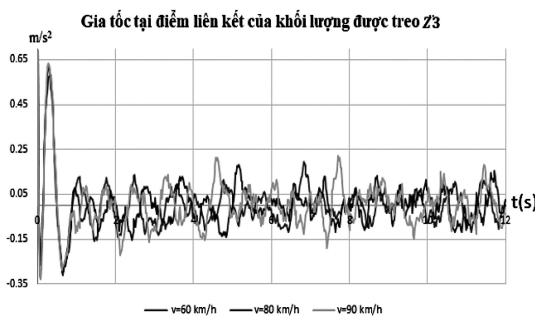


(b)

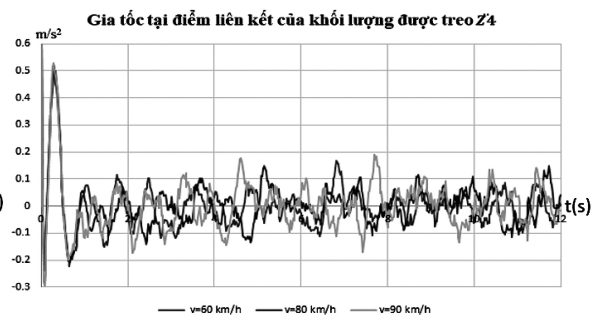
Hình 1.7. Gia tốc tại điểm liên kết của khối lượng được treo $\ddot{Z}_1$ (a) và $\ddot{Z}_2$ (b)

- Ở tốc độ 60÷80 km/h gia tốc tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_1 (hình 1.7.a) đạt giá trị cực đại ở khoảng 0.6 m/s² sau đó gia tốc trở lại trạng thái ổn định ở mức dưới 0.2 m/s². Ở tốc độ 90 km/h gia tốc tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_1 đạt giá trị cực đại ở khoảng 0.8 m/s² sau đó gia tốc trở lại trạng thái ổn định ở mức dưới 0.4 m/s².

Gia tốc tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_2 (hình 1.7.b) đạt giá trị cực đại ở khoảng 0.6 m/s² sau đó gia tốc trở lại trạng thái ổn định ở mức dưới 0.2 m/s². Ở tốc độ 90 km/h gia tốc tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_2 đạt giá trị cực đại ở khoảng 0.8 m/s² sau đó gia tốc trở lại trạng thái ổn định ở mức dưới 0.4 m/s².



(a)



(b)

Hình 1.8. Gia tốc tại điểm liên kết của khối lượng được treo $\ddot{Z}_3$ (a) và $\ddot{Z}_4$ (b)

- Ở tốc độ 60÷80 km/h gia tốc tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_3 (hình 1.8.a) đạt giá trị cực đại ở khoảng 0.6 m/s² sau đó gia tốc trở lại trạng thái ổn định ở mức dưới 0.25 m/s². Ở tốc độ 90 km/h gia tốc tại các điểm liên kết của khối lượng

được treo Z_3 đạt giá trị cực đại ở khoảng 0.8 m/s² sau đó gia tốc trở lại trạng thái ổn định ở mức dưới 0.25 m/s².

Gia tốc tại các điểm liên kết của khối lượng được treo Z_4 (hình 1.8.b) đạt giá trị cực đại ở khoảng 0.8 m/s² sau đó gia tốc trở

lại trạng thái ổn định ở mức dưới 0.22 m/s^2 . Ở tốc độ 90 km/h gia tốc tại các điểm liên kết của khối lượng được treo $\ddot{Z}_4$ đạt giá trị cực đại ở khoảng 0.8 m/s^2 sau đó gia tốc trở lại trạng thái ổn định ở mức dưới 0.25 m/s^2 .

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả khảo sát cho thấy dựa trên biên dạng mặt đường C theo chuẩn ISO 8608:2016 với các dãy vận tốc 60 km/h , 80 km/h , 90 km/h thì xe chuyển động êm dịu nhất (*gia tốc theo phương thẳng đứng không tăng đột ngột*) ở tốc độ $60 \div 80 \text{ km/h}$ với gia tốc cực đại thân xe khoảng 0.25 m/s^2 có thể gây ra mệt mỏi nhưng thời gian diễn ra gia tốc cực đại rất ngắn chỉ khoảng 0.2 s sau đó gia tốc thân xe trở lại mức ổn định khoảng 0.15 m/s^2 , góc lắc dọc cực đại khoảng 0.0001 rad , góc lắc ngang cực đại khoảng 0.007 rad .

Chuyển vị của thân xe cực đại khoảng 0.04 m và chuyển vị thân xe ổn định ở mức dưới 0.06 m , Chuyển vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) đạt giá trị cực đại khoảng 0.04 m và chuyển

vị tại các điểm liên kết của khối lượng được treo ổn định ở mức dưới 0.02 m .

Gia tốc tại các điểm liên kết của khối lượng được treo đạt giá trị cực đại ở khoảng 0.8 m/s^2 sẽ ảnh hưởng đến sức khỏe nhưng thời gian xảy ra gia tốc cực đại rất ngắn chỉ khoảng 0.2 s sau đó gia tốc trở lại trạng thái ổn định ở mức dưới 0.2 m/s^2 nên có thể chấp nhận được.

Tác giả đã mô phỏng dao động của ô tô dao động của ô tô điện Tesla Model 3 khi di chuyển trên loại đường C tiêu chuẩn ISO 8608:2016 với các vận tốc khảo sát 60 km/h , 80 km/h , 90 km/h bằng phần mềm MATLAB - Simulink. Qua các kết quả khảo sát, tác giả đưa ra kết luận với khoảng tốc độ từ $60 \div 80 \text{ km/h}$ thì ô tô chuyển động trong giới hạn sức làm việc của con người với loại mặt đường C theo chuẩn ISO 8608:2016.

Mô hình dao động trong không gian của ô tô điện Tesla Model 3 làm cơ sở cho việc khảo sát các dao động thẳng đứng và các dao động góc trong mặt phẳng dọc và trong mặt phẳng ngang của ô tô sau này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ISO 8608:2016, *Mechanical vibration - Road Surface Profiles - Reporting of Measured Data*.
- [2] Trần Thanh An (2012), *Nghiên cứu tối ưu các thông số hệ thống treo ô tô*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, học viện kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
- [3] Nguyễn Phúc Hiểu (1999), *Nghiên cứu ảnh hưởng của khung xương ô tô khi chuyển động trên đường*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa, Hà Nội.
- [4] Đào Mạnh Hùng (2006), *Xác định lực động giữa bánh xe và mặt đường của ô tô tải trong điều kiện sử dụng ở Việt Nam*, Luận án tiến sĩ Đại học Giao Thông Vận Tải, Hà Nội.
- [5] Võ Văn Hường (2004), *Nghiên cứu hoàn thiện mô hình khảo sát dao động ô tô tải nhiều cầu*, Luận án Tiến sĩ, Đại Học Bách Khoa Hà Nội, Hà Nội.
- [6] Nguyễn Thái Bạch Liên (1979), *Nghiên cứu dao động của xe tải hai cầu dưới tác động ngẫu nhiên của mặt đường*, Luận án Tiến sĩ, Đại học Giao Thông Vận Tải, Hà Nội.

Thông tin phản biện: TS. Lương Văn Vạn; PGS.TS. Lê Văn Anh