

NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT DAO ĐỘNG CỦA Ô TÔ ĐIỆN CỖ NHỎ

RESEARCH AND SURVEY OF VIBRATION OF SMALL ELECTRIC VEHICLES

Nguyễn Tiến Dũng, Lê Bảo Việt, Lâm Thanh Chương
Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Ngành ô tô trên thế giới đã phát triển trên một trăm năm. Những sản phẩm của nó ngày càng chứa hàm lượng công nghệ cao, ô tô ngày càng chạy nhanh hơn, số lượng ngày càng nhiều, các xe ngày càng được hoàn thiện hơn về độ an toàn cũng như độ êm dịu. Những phát triển đột biến đó đã đưa đến những áp lực mới cho xã hội như tai nạn giao thông, mức độ phá hủy đường sá ngày càng nghiêm trọng. Nghiên cứu để hoàn thiện các kết cấu của ô tô nhằm nâng cao an toàn chuyển động và giảm ảnh hưởng xấu của dao động với môi trường là một nhu cầu cấp thiết của quốc gia. Nghiên cứu về dao động ô tô nói riêng và về động lực học ô tô nói chung ngày càng được quan tâm đúng mức. Ô tô là liên kết của hệ nhiều vật, các khối lượng đó được liên kết với nhau bằng các phần tử có đặc tính phi tuyến phức tạp, ví dụ như đặc tính giảm chấn, đặc tính đàn hồi, sự va chạm của bánh xe. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã tiến hành sử dụng phương pháp mô phỏng số để khảo sát dao động của ô tô điện cỡ nhỏ khi di chuyển trên các loại mặt đường khác nhau. Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng để làm tiền đề cho những nghiên cứu sâu hơn về dao động ô tô trong tương lai, đồng thời có thể dùng để tối ưu hóa kết cấu của ô tô, nhất là xe điện cỡ nhỏ.

Từ khóa: Xe điện cơ nhỏ; Mô phỏng số; Dao động ô tô.

ABSTRACT

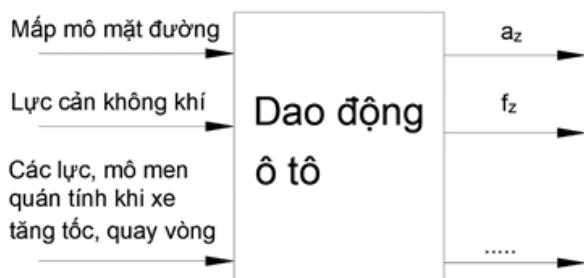
The world automobile industry has been developing for more than a hundred years. The company's products increasingly contain high technology content, cars are running faster and faster, the number is increasing and the vehicles are becoming more and more perfect in terms of safety and comfort. Sudden developments have caused new pressures on society such as traffic accidents, the ability to make the streets more and more dangerous. Research into perfecting car configurations to improve motion safety and reduce the negative impact of vibration on the environment is an urgent national need. Research on car vibrations in particular and car dynamics in general is increasingly receiving adequate attention. A car is a connection of a system of many objects, the masses are linked together by elements with impurity nonlinear properties such as damping properties, elastic properties and the sophistication of the wheels. In this article, the authors used numerical simulation methods to study the engine of electric vehicles when traveling on different types of road surfaces. The research results can serve as a basis for further research on car vibrations in the future and can be used to optimize car configurations, especially small electric cars.

Keywords: Small electric vehicle; Vehicle vibrates.



1. TỔNG QUAN

Dao động ô tô được gây ra bao gồm ba nguồn chủ yếu là [4]: Mấp mô mặt đường, lực cản không khí, các lực, mô men quán tính khi xe tăng tốc, phanh, quay vòng.



Hình 1. Sơ đồ các yếu tố ảnh hưởng đến dao động ô tô

Khi chuyển động trên đường, ô tô dao động ở tất cả các phương: phương dọc, phương ngang, phương thẳng đứng và ba dao động góc là dao động lắc dọc, lắc ngang và quay quanh trục thẳng đứng. Thông thường, khi xét dao động ô tô, ta chỉ quan tâm dao động phương thẳng đứng, dao động lắc dọc và lắc ngang mặc dù dao động ô tô là tích hợp. Dao động ô tô cũng chịu đồng thời nhiều yếu tố kích động ngẫu nhiên. Vì vậy, ta chỉ có thể lập mô hình và xét các yếu tố riêng rẽ. Trước tiên, ta xét các yếu tố gây dao động. Có 4 nguồn gây dao động: Mấp mô mặt đường: Trong thực tế, mấp mô mặt đường mang tính chất ngẫu nhiên, chúng thay đổi trong quá trình xe chuyển động về độ cao mấp mô, khoảng cách giữa các mấp mô.

Lực cản không khí (Gió): Ở nước ta, gió có cường độ mạnh, tác động đến ô tô đa phương, đa chiều với tính chất ngẫu nhiên, làm thay đổi xe chuyển động và về cơ bản tác động của gió không trùng với trọng tâm của xe.

Các lực, mô-men quán tính khi xe tăng tốc, phanh, quay vòng (Lực quán tính): Khi ô

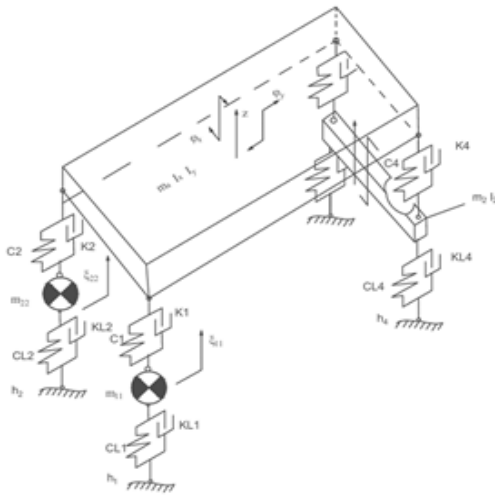
tô chuyển động, lái xe thực hiện điều khiển xe theo ba chức năng là phanh, tăng tốc, quay vô lăng riêng rẽ hoặc tích hợp, làm xuất hiện gia tốc dọc, ngang, gây dao động lắc dọc và lắc ngang.

Ngoài ra, khi xe chạy, tải của động cơ thay đổi, mô-men quán tính của động cơ cũng gây dao động cho ô tô. Trước đây, khi nghiên cứu dao động, người ta chỉ xét ảnh hưởng của mấp mô đường trong trường hợp vận tốc không đổi. Chuyển động của ô tô là chuyển động tích hợp, khi nghiên cứu Động lực học ô tô ta phải xét tất cả các yếu tố ảnh hưởng, vì vậy trong mô hình dao động phải tổng quát hơn, bao hàm ba loại kích động vừa nêu trên.

2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH DAO ĐỘNG KHÔNG GIAN

Để nghiên cứu về dao động của xe điện cỡ nhỏ, nhóm tác giả đã quyết định nghiên cứu trên xe tham khảo Vfe34 có cầu trước sử dụng hệ thống treo độc lập và cầu sau sử dụng hệ thống treo phụ thuộc. Mô hình động lực học không gian, mô hình ô tô tải HINO 500 có 2 trục là đối xứng theo trục dọc của xe, thân xe được coi như một tấm phẳng có khối lượng M đặt tại trọng tâm thân xe. Trong bài toán xét dao động của xe khi chuyển động thẳng, thân xe có 3 chuyển động (3 bậc tự do) bao gồm: chuyển động tịnh tiến theo trục thẳng đứng z và 2 góc xoay tương ứng: φ_y (góc lắc dọc – quay quanh trục ngang y), φ_x (góc lắc ngang – quay quanh trục dọc x), các cầu xe (cầu trước – 1, cầu sau – 2) là các khối lượng không được treo được coi như các thanh phẳng, có khối lượng m_{A1} , m_{A2} đặt tại trọng tâm của chúng. Mỗi cầu xe có 1 chuyển động tịnh tiến theo trục thẳng đứng (ξ_{A1} , ξ_{A2}) và 1 chuyển vị góc lắc ngang quanh trục dọc (φ_{xA1} , φ_{xA2}). Bỏ qua góc xoay của cầu xe theo trục thẳng đứng và trục ngang, thân xe

được nối với các cầu xe thông qua hệ thống treo (đặc trưng bởi các độ cứng C_{ij} và hệ số cản giảm chấn K_{ij}) (chỉ số i : 1 – Trước; 2 – Sau; chỉ số j : 1 – Trái; 2 – Phải), cầu xe liên kết với mặt đường bằng bánh xe đàn hồi, đặc trưng bởi độ cứng C_{Lij} . Bỏ qua thành phần cản của lốp, bỏ qua tác động của gió đến chuyển động của xe, bánh xe tiếp xúc điểm với mặt đường.



Hình 2. Mô hình động lực học không gian xe ô tô điện cỡ nhỏ

Trên mô hình sử dụng các ký hiệu sau:

OXYZ: Hệ tọa độ cố định; C: Trọng tâm của khối lượng được treo; A_1, A_2 : Trọng tâm của khối lượng không được treo trước (cầu 1) và sau (cầu 2); M: Khối lượng được treo; m_{A1} : Khối lượng không được treo cầu 1; m_{A2} : Khối lượng không được treo cầu 2; J_y : Mô-men quán tính trục y của khối lượng được treo xe con; J_x : Mô-men quán tính trục x của khối được treo xe; J_{Ax1} : Mô-men quán tính trục x của khối lượng không được treo cầu thứ i ($i = 1 \div 2$); z: Chuyển vị theo phương thẳng đứng của trọng tâm khối lượng được treo; φ_x : Góc lắc ngang của thân xe; φ_y : Góc lắc dọc của thân xe; ξ_{A1} : Chuyển vị thẳng đứng của trọng tâm khối lượng không được treo trước (cầu thứ 1); φ_{xA1} : Góc lắc ngang

của cầu thứ 1; ξ_{A2} : Chuyển vị thẳng đứng của trọng tâm khối lượng không được treo sau (cầu thứ 2); φ_{xA2} : Góc lắc ngang của cầu thứ 2; C_{ij} : Độ cứng của nhíp gần với bánh xe ij ($i = 1 \div 2, j = 1 \div 2$); K_{ij} : Hệ số cản giảm chấn gần với bánh xe ij ($i = 1 \div 2, j = 1 \div 2$); C_{Lij} : Độ cứng hướng kính của lốp thứ ij ($i = 1 \div 2, j = 1 \div 2$); L: Chiều dài cơ sở của xe; l_1 : Khoảng cách từ trọng tâm thân xe đến cầu trước; l_2 : Khoảng cách từ trọng tâm thân xe đến cầu sau; $2b_1$: Khoảng cách giữa tâm hai bánh xe cầu trước; $2b_2$: Khoảng cách giữa tâm hai bánh xe cầu sau; $2w_1$: Khoảng cách giữa hai vị trí bố trí treo cầu trước; $2w_2$: Khoảng cách giữa hai vị trí đặt nhíp trên cầu sau.

Như vậy, mô hình cấu trúc của xe ô tô điện cỡ nhỏ sẽ có 7 tọa độ suy rộng (7 bậc tự do) bao gồm: 3 bậc tự do mô tả chuyển động của thân xe (z, φ_x, φ_y), 2 bậc tự do mô tả cầu trước.

Phương trình mô tả dao động thân xe:

$$M\ddot{z} = F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12} + F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22} \quad (2.1)$$

$$J_y\ddot{\varphi}_y = -l_1(F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12}) + l_2(F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22}) \quad (2.2)$$

$$J_x\ddot{\varphi}_x = b_1(F_{C11} + F_{K11} - F_{C12} - F_{K12}) + w_2(F_{C21} + F_{K21} - F_{C22} - F_{K22}) \quad (2.3)$$

Phương trình mô tả dao động cầu sau (phụ thuộc):

$$m_{A2}\ddot{\xi}_{A2} = (F_{CL21} + F_{CL22}) - (F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22}) \quad (2.4)$$

$$J_{Ax2}\ddot{\varphi}_{xA2} = b_2(F_{CL21} - F_{CL22}) + w_2(F_{C22} + F_{K22} - F_{C21} - F_{K21}) \quad (2.5)$$

Phương trình mô tả dao động cầu trước (độc lập):

$$m_{A11}\ddot{\xi}_{A11} = F_{CL11} - (F_{C11} + F_{K11}) \quad (2.6)$$

$$m_{A12}\ddot{\xi}_{A12} = F_{CL12} - (F_{C12} + F_{K12}) \quad (2.7)$$

3. THÔNG SỐ VÀ PHƯƠNG ÁN KHẢO SÁT

3.1. Thông số xe tham khảo Vfe34

Trong nghiên cứu này, đối tượng khảo sát được lựa chọn là Vfe34 – xe điện cỡ nhỏ thuộc công ty sản xuất ô tô Vinfast của Việt Nam.

Bảng 1. Thông số đầu vào cho bài toán mô phỏng

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Gia tốc trọng trường	g	9.81	m/s^2
2	Hệ số cản lăn	f	0.02	
3	Bán kính tĩnh bánh xe	r_t	0.325	m
4	Độ cứng hệ thống treo trước	C_1, C_2	76640	N/m
5	Độ cứng hệ thống treo sau	C_3, C_4	178870	N/m
6	Hệ số cản giảm chấn trước	K_1, K_2	7347	N.s/m
7	Hệ số cản giảm chấn sau	K_3, K_4	11106	N.s/m
8	Độ cứng hướng kính lốp trước	C_{L1}, C_{L2}	209067	N/m
9	Độ cứng hướng kính lốp sau	C_{L3}, C_{L4}	209067	N/m
10	Khối lượng không được treo trước	m_{A1}	110	kg
11	Khối lượng không được treo sau	m_{A2}	120	kg
12	Khối lượng được treo	M	1216	kg
13	Khối lượng toàn bộ phân cho cầu trước	M_{c1}	870	kg
14	Khối lượng toàn bộ phân cho cầu sau	M_{c2}	666	kg
15	Chiều dài toàn bộ của xe	LW	4.3	m
16	Chiều rộng toàn bộ của xe	BW	1.768	m
17	Chiều cao toàn bộ của xe	HW	1.613	m
18	Chiều dài cơ sở	L	2.610	m
19	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước	l_1	1.132	m
20	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau	l_2	1.478	m
21	Một nửa khoảng cách vết bánh xe trước	b_1	0.737	m
22	Một nửa khoảng cách vết bánh xe sau	b_2	0.745	m
23	Một nửa khoảng cách treo trước	w_1	0.7	m
24	Một nửa khoảng cách treo sau	w_2	0.6	m
25	Chiều cao trọng tâm	h_g	1.5	m

26	Bán kính động bánh xe trước	r_1	0.4572	m
27	Bán kính động bánh xe sau	r_2	0.4572	m
28	Mô-men quán tính khối lượng của thân xe quanh trục dọc x	J_x	8992	kgm ²
29	Mô-men quán tính khối lượng của thân xe quanh trục ngang y	J_y	96040	kgm ²
30	Mô-men quán tính khối lượng của thân xe quanh trục thẳng đứng z	J_z	101940	kgm ²
31	Mô-men quán tính khối lượng của cầu sau quanh trục dọc x	J_{Ax2}	335	kgm ²
32	Mô-men quán tính khối lượng của các bánh xe trước quanh trục ngang y	J_{Ay1}, J_{Ay2}	10	kgm ²
33	Mô-men quán tính khối lượng của các bánh xe sau quanh trục ngang y	J_{Ay3}, J_{Ay4}	20	kgm ²

3.2. Kích thích mấp mô mặt đường

ISO 8608:2016 là tiêu chuẩn được sử dụng phổ biến nhất hiện nay trong các tính toán động lực học ô tô. Tiêu chuẩn này phân biệt các dạng đường theo mật độ phổ công suất (PSD) và chia chúng thành 8 loại với ký hiệu quy ước từ A đến H [6].

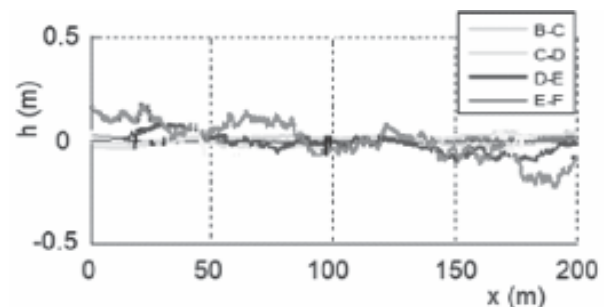
$$h(x) = \sum_{i=0}^N \sqrt{\Delta n} \cdot 2^k \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n_0}{i \Delta n} \right) \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot \Delta n \cdot x + \varphi_i) \quad (3.1)$$

Công thức (3.1) cho phép tính toán và vẽ đồ thị mô tả chiều cao mấp mô mặt đường theo dịch chuyển x. Hàm h(x) sẽ được sử dụng làm hàm kích thích trong mô hình chuyển động tổng quát của ô tô với các loại đường khác nhau. Nếu coi ô tô chuyển động đều với vận tốc v thì biểu thức tính độ cao mấp mô theo biến x có thể viết lại theo biến thời gian t như sau:

$$h(t) = \sum_{i=0}^N \sqrt{\Delta n} \cdot 2^k \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n_0}{i \Delta n} \right) \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot \Delta n \cdot V \cdot t + \varphi_i) \quad (3.2)$$

Mấp mô bề mặt của các loại đường theo ISO 8608:2016 được thể hiện trên một khoảng chiều dài 200m như trên hình 3. Trong nghiên

cứu này, bốn loại đường theo ISO 8608:2016 đã được thử nghiệm, bao gồm: Loại đường B-C (đường tốt), đường C-D (đường trung bình), đường D-E (đường xấu) và đường E-F (đường rất xấu) được khảo sát.

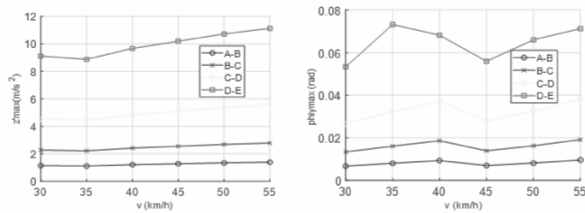


Hình 3. Mấp mô mặt đường theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016

3.3. Kết quả khảo sát

a. Khảo sát sự ảnh hưởng của tốc độ tới dao động xe

Trong nghiên cứu này, bốn loại đường ISO được khảo sát, xe ô tô chạy với các vận tốc từ 30-55 km/h. Tổng cộng 28 lần chạy chương trình mô phỏng để đánh giá.

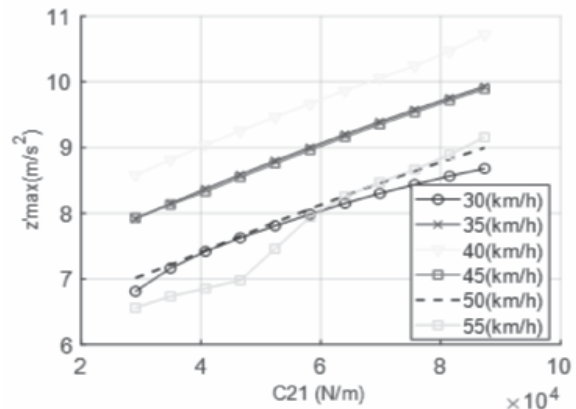


Hình 4. Gia tốc dao động thẳng đứng cực đại và góc lắc theo phương Y cực đại của thân xe khi ô tô đi trên các loại đường khác nhau.

Hình 4 thể hiện kết quả khảo sát gia tốc thẳng đứng cực đại của thân xe khi ô tô chuyển động trên các loại đường có mức độ khác nhau trong dải vận tốc khảo sát. Trên đồ thị, có hai đường thể hiện hai giá trị ngưỡng đánh giá tương ứng với giới hạn cảnh báo 5 m/s² tương ứng với giới hạn can thiệp. Kết quả trên hình 4 cho thấy, khi đi trên đường tốt (B-C), mọi giá trị gia tốc dao động thẳng đứng cực đại đều dưới 3 m/s² (ngưỡng cảnh báo), nên ô tô đảm bảo được chỉ tiêu về an toàn hàng hóa. Với loại đường trung bình (C-D), khi xe chạy với vận tốc trên 55 km/h, gia tốc dao động thẳng đứng cực đại của thân xe vượt ngưỡng cảnh báo là 5 m/s². Góc lắc ngang thân xe cũng tương tự như gia tốc max, khi xe di chuyển trên mặt đường D-E thì góc lắc max vượt ngưỡng cảnh báo, còn trên các mặt đường tốt như B-C và A-B thì góc lắc tương đối nhỏ.

b. Khảo sát sự ảnh hưởng của độ cứng hệ thống treo sau đến dao động của xe

Trong khảo sát này, xe chạy với các vận tốc từ 30-55 km/h trên loại đường xấu (D-E). Cho C_2 thay đổi trong dải [0,5 0,6... 1... 1,4 1,5]* C_{20} , chạy chương trình mô phỏng, xác định được các giá trị để đánh giá bao gồm gia tốc thẳng đứng cực đại của thân xe ($\ddot{z}_{\max}$), hệ số tải trọng động cực đại ($k_{dij,max}$), hệ số tải trọng động cực tiểu ($k_{dij,min}$). Tổng cộng 44 lần chạy chương trình mô phỏng để khảo sát.



Hình 5. Gia tốc dao động thẳng đứng cực đại của thân xe khi thay đổi độ cứng C_2 của hệ thống treo sau (đường D-E, $v = 30-55$ km/h)

Hình 3.11 thể hiện kết quả khảo sát ảnh hưởng của độ cứng C_2 của hệ thống treo sau đến gia tốc dao động thẳng đứng cực đại của thân xe khi ô tô chuyển động trên loại đường xấu D-E trong dải vận tốc khảo sát. Trên đồ thị, có hai đường thể hiện hai giá trị ngưỡng đánh giá: tương ứng với giới hạn cảnh báo và giới hạn can thiệp. Kết quả trên cho thấy, khi ô tô đi trên đường xấu (D-E), với mỗi giá trị vận tốc khảo sát, khi C_2 tăng dần, gia tốc dao động thẳng đứng cực đại cũng tăng dần. Chính vì thế, trong thiết kế để cải thiện độ an toàn cho hàng hóa, nên giảm độ cứng C_2 của hệ thống treo sau.

4. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã xây dựng được mô hình động lực học khi xe chuyển làn đơn và sử dụng phần mềm Matlab – Simulink tiến hành mô phỏng quá trình chuyển làn đơn của. Tiến hành thay đổi các thông số đầu vào là các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình chuyển động, ta có được các kết quả là các thông số đầu ra. Với loại đường có một hệ số bám nhất định khi cho xe tiến hành khảo sát chuyển động với các vận tốc, góc đánh lái và thời gian đánh lái khác

nhau đã đánh giá được quỹ đạo và khả năng chuyển động của xe để từ đó đưa ra được các biện pháp khắc phục nhằm giảm tình trạng mất lái, mất ổn định khi xe chuyển động trong quá trình chuyển làn. ❖

Ngày nhận bài: **15/3/2024**

Ngày phản biện: **17/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Nguyễn Hữu Cẩn, Dư Quốc Thịnh, Phạm Minh Thái, Nguyễn Văn Tài, Lê Thị Vàng, 2007; *Lý thuyết ô tô máy kéo*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.

- [2]. Lưu Văn Tuấn, 2019; *Lý thuyết ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.
- [3]. Nguyễn Trọng Hoan, 2019; *Thiết kế tính toán ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.
- [4]. Võ Văn Hường, Nguyễn Tiến Dũng, Dương Ngọc Khánh, Hoàng Đàm Phúc 2019; *Động lực học ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.
- [5]. Lâm Thanh Chương, 2024; *Nghiên cứu khảo sát dao động xe điện cỡ nhỏ*. Luận văn Thạc sĩ, Đại học Bách Khoa Hà Nội.