

NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH QUỸ ĐẠO CHUYỂN ĐỘNG CỦA Ô TÔ ĐIỆN CỖ NHỎ KHI CHUYỂN LÀN ĐƯỜNG

RESEARCH ON THE STABILITY OF SMALL ELECTRIC VEHICLE WHEN CHANGING LANES

Nguyễn Tiến Dũng, Lê Bảo Việt, Trần Đình Tuấn, Dương Ngọc Khánh

Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Giao thông vận tải bằng ô tô đóng vai trò rất quan trọng trong đời sống xã hội hiện đại. Ô tô là một phương tiện giao thông đang dần dần phổ biến ở nước ta và giữ vai trò quan trọng trong mạng lưới giao thông đường bộ. Hệ thống hạ tầng giao thông cùng kỹ thuật hiện đại cho phép ô tô chuyển động với tốc độ cao, nâng cao năng suất vận chuyển. Với sự tăng trưởng tốc độ và mật độ chuyển động của ô tô ngày nay đòi hỏi ô tô phải đảm bảo tính điều khiển, tính năng ổn định ở mức độ cao nhằm nâng cao tính an toàn chuyển động của nó. Do chi phí cho việc thử nghiệm phục vụ thiết kế và chế tạo ô tô là tương đối lớn, nên trong bài báo này nhóm tác giả tiến hành sử dụng phương pháp mô phỏng số để nghiên cứu ổn định quỹ đạo chuyển động cho ô tô điện cỡ nhỏ khi chuyển làn đường, kết quả của nghiên cứu có thể áp dụng để làm giảm chi phí thí nghiệm trong sản xuất ô tô và là tiền đề cho những nghiên cứu sau này.

Từ khóa: Xe điện cỡ nhỏ; Mô phỏng số; Quỹ đạo chuyển động.

ABSTRACT

Transport plays a very important role in modern social life. Cars are a means of transport that are gradually becoming popular in our country and play an important role in the road traffic network. Modern transportation technology and infrastructure allow cars to move at high speeds, improving transportation productivity. With the increasing speed and density of car movements today, cars are required to ensure a high level of control and stability to improve the safety of their movements. Because the testing costs for designing and manufacturing cars are relatively large, in this article the authors use numerical simulation methods to study the stability of the car's motion trajectory small electric vehicle when changing lanes, the research results can be applied to reduce experimental costs in automobile production and serve as a premise for future research.

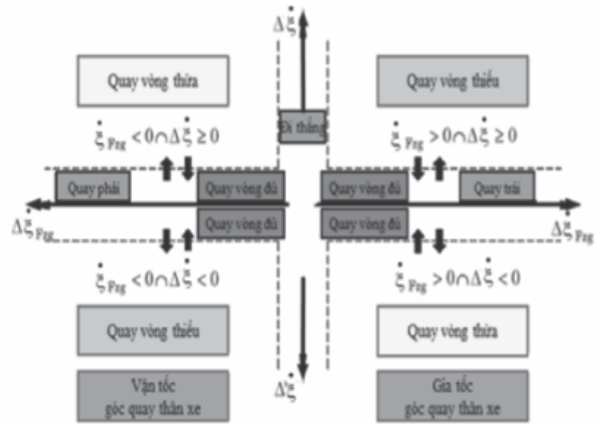
Keywords: Small electric vehicle; Numerical simulation; Car's motion trajectory.

1. TỔNG QUAN

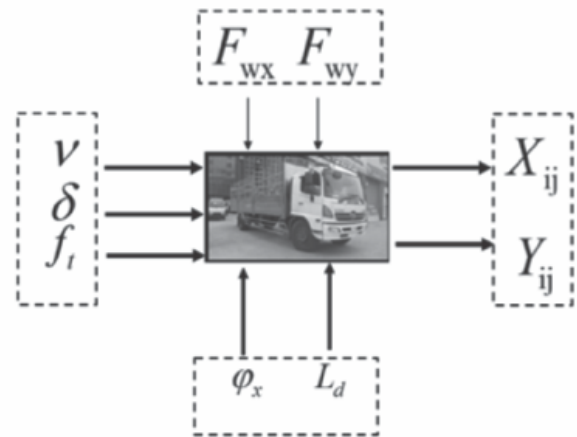
Theo các tài liệu [1, 2, 3], khi khảo sát dao động ô tô trong không gian thường sử dụng các mô hình dao động tương đương của ô tô thay cho mô hình vật lý thực. Việc thiết lập và lựa chọn các mô hình dao động tương đương của ô tô phụ thuộc vào mục tiêu nghiên cứu, đối tượng nghiên cứu, khả năng tính toán và phương tiện tính toán. Trong phần tổng quan, tác giả chỉ đưa ra một số mô hình đặc trưng với mục đích có một cách nhìn tổng quan về lập mô hình.

Khi xe đi trên đường có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng như: Ngoại lực, đường, người lái, tải trọng của xe... Tác động của đường gồm có: Liên kết lớp đường được thể hiện theo hệ số bám φ_x , biên dạng đường ξ_{ij} và hành lang đường L_d ... Tác động của người lái gồm: Dạng đánh lái, vận tốc đánh lái, góc đánh lái và tần số đánh lái... Tác động của ngoại lực gồm: Lực gió dọc F_{wx} và lực gió ngang F_{wy} ...

Giao thông vận tải bằng ô tô đóng vai trò rất quan trọng trong đời sống xã hội hiện đại. Ô tô là một phương tiện giao thông đang dần dần phổ biến ở nước ta và giữ vai trò quan trọng trong mạng lưới giao thông đường bộ. Hệ thống hạ tầng giao thông cùng kỹ thuật hiện đại cho phép ô tô chuyển động với tốc độ cao, nâng cao năng suất vận chuyển. Với sự tăng trưởng tốc độ và mật độ chuyển động của ô tô ngày nay đòi hỏi ô tô phải đảm bảo tính điều khiển ở mức độ cao. Tuy nhiên ở tốc độ cao, ô tô đòi hỏi tính năng ổn định cao nhằm nâng cao tính an toàn chuyển động của nó. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu xây dựng mô hình nghiên cứu tính ổn định khi chuyển làn đường của xe điện cỡ nhỏ VFe34, cho phép đánh giá được sự ổn định quỹ đạo chuyển động của xe trong quá trình chuyển làn.



Hình 1. Các thông số đặc trưng đặc tính quay vòng.



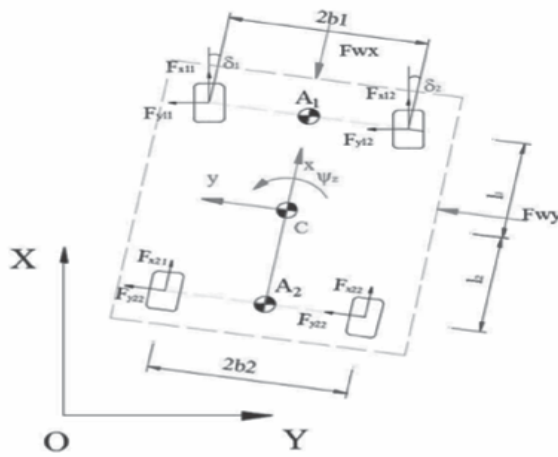
Hình 2. Các yếu tố ảnh hưởng.

2. THIẾT LẬP HỆ PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA XE ĐIỆN CỖ NHỎ

2.1. Các phương trình xác định chuyển động trong mặt phẳng đường

Áp dụng hệ phương trình Newton Euler cho xe với khối lượng M (bao gồm khối lượng được treo và các khối lượng không được treo) trong mặt phẳng đường. Với 3 bậc tự do, ta thiết lập được 3 phương trình mô tả chuyển động của xe trong mặt phẳng song song với mặt đường.





Hình 3. Mô hình lực tác động lên xe trong mặt phẳng song song với mặt đường.

Phương trình mô tả chuyển động dọc trong hệ quy chiếu cục bộ Cxy viết như sau:

$$M\ddot{x} = F_{x1}\cos\delta + F_{x2} - F_{y1}\sin\delta + M\dot{\psi}\dot{y} - \frac{1}{2}\rho C_{wx}A_{wx}\dot{x}\cos\psi \quad (2.1)$$

Phương trình mô tả chuyển động ngang của xe như sau:

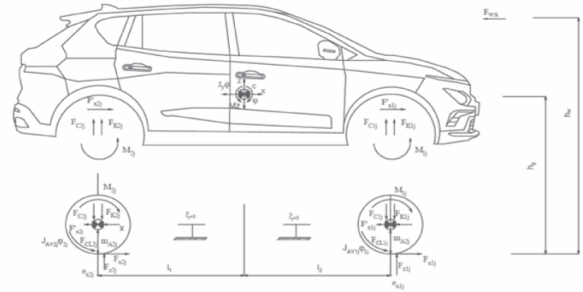
$$M\dot{y} = F_{y1}\cos\delta_1 + F_{y2}\cos\delta_2 + F_{x1}\sin\delta_1 + F_{x2}\sin\delta_2 + F_{y3} + F_{y4} - M\dot{\psi}\dot{x} \quad (2.2)$$

Trong đó có các ký hiệu: δ_1, δ_2 : Góc quay bánh xe dẫn hướng bên trái và bên phải; F_{xi} : Phản lực từ mặt đường tác dụng lên bánh xe thứ i ($i = 1 \div 4$) theo phương dọc; F_{yi} : Phản lực từ mặt đường tác dụng lên bánh xe thứ i ($i = 1 \div 4$) theo phương ngang; F_{zi} : Phản lực từ mặt đường tác dụng lên bánh xe thứ i ($i = 1 \div 4$) theo phương thẳng đứng.

2.2. Các phương trình dao động của khối lượng được treo trong mặt phẳng dọc

Áp dụng hệ phương trình Newton Euler trong mặt phẳng dọc (Cxz) cho phần khối lượng được treo đặc trưng bởi khối lượng m đặt tại

trọng tâm thân xe. Trọng tâm này thực hiện hai chuyển động là dao động thẳng đứng (z) và góc lắc dọc (φ) (hình 4).



Hình 4. Mô hình các lực tác động trong mặt phẳng dọc

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

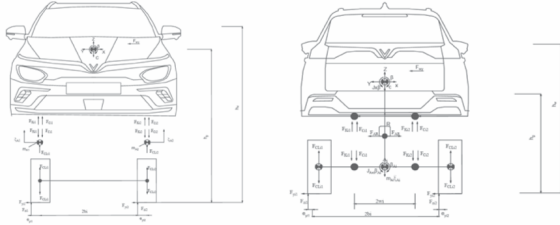
$$m\ddot{z} = F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12} + F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22} \quad (2.3)$$

Đối với góc lắc dọc thân xe, ta cần xác định các thành phần mô-men gây ra góc này. Các thành phần này gồm có các lực liên kết hệ treo trước – sau, các lực dọc tại điểm treo trên của xe. Phương trình xác định góc lắc được viết như sau:

$$J_y\ddot{\varphi} = (F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22})l_2 - (F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12})l_1 - (F_{x11}\cos\delta_{11} + F_{x12}\cos\delta_{12} - F_{y11}\sin\delta_{11} - F_{y12}\sin\delta_{12})(h_g^{\square} - r_1) - (h_g^{\square} - r_2)(F_{x21} + F_{x22}) - (M_{11} + M_{12} + M_{21} + M_{22}) - F_{wx}(h_w - h_g) \quad (2.4)$$

Trong đó có các ký hiệu: F_{Cij} và F_{Kij} là lực đàn hồi và lực cản giảm chấn của hệ thống treo gần bánh xe thứ ij ($i = 1 \div 2, j = 1 \div 2$). Các lực này được xác định từ các chuyển vị trên và dưới của hệ thống treo; M_{ij} : Mô-men quay bánh xe thứ ij quanh trục y ($i = 1 \div 2, j = 1 \div 2$); F_{Cij} : Lực đàn hồi lốp bánh xe thứ ij ($i = 1 \div 2, j = 1 \div 2$); r_1, r_2 : Bán kính động lực học của các bánh xe trước và sau; h_w : Chiều cao tâm khí động; h_g : Chiều cao trọng tâm xe; l_{wx} : Khoảng cách từ tâm khí động đến trọng tâm xe theo phương x ; F_{wz} : Lực nâng do không khí tạo ra theo phương

thẳng đứng; M_{wy} : Mô-men quay của lực khí động quanh trục y.



Hình 5. Mô hình các lực tác động trong mặt phẳng ngang.

2.3. Các phương trình dao động trong mặt phẳng ngang

Góc lắc ngang của khối lượng được treo được mô tả như sau:

$$J_x \ddot{\beta} = (F_{C11} + F_{K11} - F_{C12} - F_{K12})w_1 + (F_{C21} + F_{K21} - F_{C22} - F_{K22})w_2 - F_{wy}(h_w - h_g) - M_{wx} + F_{R1}(h_g - h_{R1}) + F_{R2}(h_g - h_{R2}) - M_{r1} - M_{r2} \quad (2.5)$$

Đối với các cầu trước và sau được xét 2 bậc tự do là dao động thẳng đứng (ξ_{Ai}) và góc lắc ngang (β_{Ai}). Đối với cầu trước được viết như sau:

$$\begin{aligned} m_{A1} \ddot{\xi}_{A1} &= (F_{CL11} + F_{CL12}) - (F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12}) \\ J_{Ax1} \ddot{\beta}_{A1} &= (F_{C12} + F_{K12} - F_{C11} - F_{K11})w_1 + (F_{CL11} - F_{CL12})b_1 + \\ &+ (F_{y11} \cos \delta_{11} + F_{x11} \sin \delta_{11} + F_{y12} \cos \delta_{12} + F_{x12} \sin \delta_{12})r_1 - F_{R1}(h_{R1} - r_1) + M_{T1} \end{aligned} \quad (2.6)$$

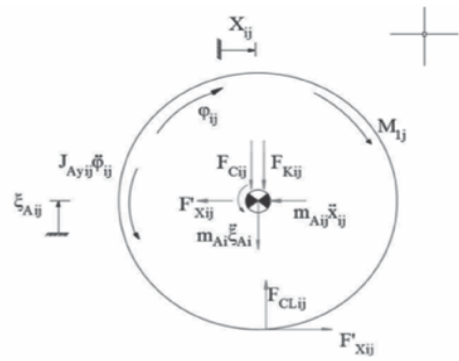
Đối với cầu sau được viết như sau:

$$\begin{aligned} m_{A2} \ddot{\xi}_{A2} &= (F_{CL21} + F_{CL22}) - (F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22}) \\ J_{Ax2} \ddot{\beta}_{A2} &= (F_{C22} + F_{K22} - F_{C21} - F_{K21})w_2 + (F_{CL21} - F_{CL22})b_2 \\ &+ (F_{y21} + F_{y22})r_2 - F_{R2}(h_{R2} - r_2) + M_{T2} \end{aligned} \quad (2.7)$$

2.4. Động lực học bánh xe

Nghiên cứu động lực học ô tô cần thiết phải xác định được tính chất liên kết giữa lốp và đường bởi các lực này trực tiếp gây ra chuyển động của ô tô. Chuyển động xe được xác định bởi các lực tương tác bánh xe với đường F_{xij} , F_{yij} , F_{zij} . Chuyển động của bánh xe

có được nhờ mô-men M_{ij} (mô-men kéo hoặc mô-men phanh) và trạng thái mặt đường (hệ số bám dọc $\max \varphi$ y $\max x$ và hệ số bám ngang φ). Mô-men M_{ij} làm cho bánh xe quay quanh trục y của bánh xe. Tuy nhiên, do tương tác bánh xe với đường là có trượt nên chuyển động quay của bánh xe độc lập với chuyển động tịnh tiến của nó, nghĩa là khi lăn, bánh xe có trượt và tổn hao vận tốc. Do đó, khi mô phỏng cần thiết lập mô hình động lực học bánh xe.



Hình 6. Mô hình động lực học bánh xe đàn hồi.

Phương trình cân bằng mô-men theo trục y của bánh xe 11:

$$J_{Ay11} \ddot{\phi}_{11} = M_{11} - (F_{x11} + f F_{z11})r_{11} \quad (2.8)$$

Phương trình cân bằng mô-men theo trục y của bánh xe 12:

$$J_{Ay12} \ddot{\phi}_{12} = M_{12} - (F_{x12} + f F_{z12})r_{12} \quad (2.9)$$

Phương trình cân bằng mô-men theo trục y của bánh xe 21:

$$J_{Ay21} \ddot{\phi}_{21} = M_{21} - (F_{x21} + f F_{z21})r_{21} \quad (2.10)$$

Phương trình cân bằng mô-men theo trục y của bánh xe 22:

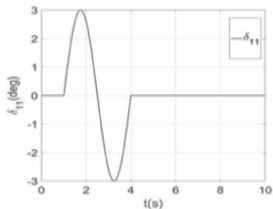
$$J_{Ay22} \ddot{\phi}_{22} = M_{22} - (F_{x22} + f F_{z22})r_{22} \quad (2.11)$$

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

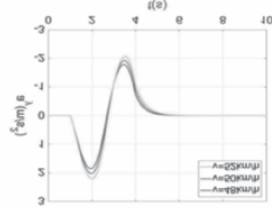
TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Gia tốc trọng trường	g	9.81	m/s^2
2	Hệ số cản lăn	f	0.02	
3	Bán kính tĩnh bánh xe	r_t	0.59	m
4	Độ cứng hệ thống treo trước	C_1, C_2	76640	N/m
5	Độ cứng hệ thống treo sau	C_3, C_4	178870	N/m
6	Hệ số cản giảm chấn trước	K_1, K_2	7347	N.s/m
7	Hệ số cản giảm chấn sau	K_3, K_4	11106	N.s/m
8	Độ cứng hướng kính lớp trước	C_{L1}, C_{L2}	209067	N/m
9	Độ cứng hướng kính lớp 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 trước quanh trục dọc x	J_{Ax1}	285	kgm^2
32	Mô-men quán tính khối lượng của cầu sau quanh trục dọc x	J_{Ax2}	335	kgm^2
33	Mô-men quán tính khối lượng của các bánh xe trước quanh trục ngang y	J_{Ay1}, J_{Ay2}	10	kgm^2
34	Mô-men quán tính khối lượng của các bánh xe sau quanh trục ngang y	J_{Ay3}, J_{Ay4}	20	kgm^2

3. KHẢO SÁT SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA VẬN TỐC ĐÁNH LÁI ĐẾN CHUYỂN LÀN ĐƠN

Khảo sát với góc lái dạng Sin đơn như Hình 7 với δ_A bằng 30, tần số đánh lái $f = 0,33\text{Hz}$ trên đường 40 có hệ số bám $\varphi_{\max}$ bằng 0,8; ở các vận tốc [40...60] km/h.

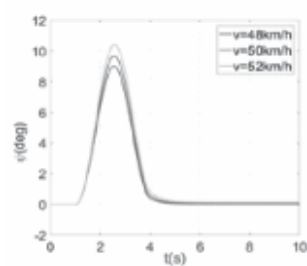


Hình 7. Đồ thị góc δ_{11} .

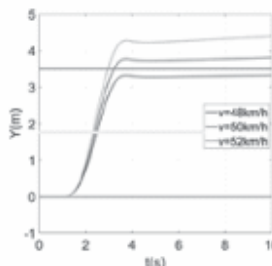


Hình 8. Đồ thị gia tốc ngang a_y .

Các kết quả khảo sát biểu diễn cho ba mức vận tốc là 48, 50 và 52 km/h cho thấy, vận tốc tăng thì các thông số phản ứng như gia tốc ngang a_y , vận tốc góc quay thân xe ψ ... biến đổi tương ứng. Quy luật biến đổi của gia tốc ngang xe a_y gần bám sát với quy luật góc lái δ_{11} . Khi tăng vận tốc thì gia tốc ngang a_y tăng lên tương ứng. Vận tốc càng cao, gia tốc ngang càng lớn. Ở vận tốc 52 km/h, gia tốc ngang xe có thể đạt được 2,2 m/s².



Hình 9. Đồ thị góc quay thân xe ψ .



Hình 10. Đồ thị tọa độ ngang Y .

Sự thay đổi của góc xoay thân xe ψ được thể hiện trong đồ thị Hình 9. Từ đồ thị có thể thấy rằng giá trị này thay đổi liên tục khi xe đánh lái. Khi xe đã trả lái, giá trị này có xu hướng tiến dần về "0". Ở vận tốc lớn, góc xoay

thân xe cũng thay đổi lớn hơn. Xét trạng thái thừa, trạng thái thiếu khi chuyển làn đường qua tọa độ ngang của các trọng tâm xe như Hình 9. Với cùng một điều kiện điều khiển, ở vận tốc 48 km/h thì xe gần đạt đến trạng thái chuyển làn đường đủ. Khi vận tốc càng tăng thì trọng tâm xe càng ra ngoài tâm đường mong muốn. Khi vận tốc càng giảm thì 42 trọng tâm xe càng vào trong của đường mong muốn.

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 xe tải. 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: 16/3/2024

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]. Nguyễn Đức Sơn, 2022; *Nghiên cứu khảo sát quỹ đạo chuyển động của xe tải bằng phần mềm chuyên dụng*, Luận văn Thạc sĩ, Đại học Bách Khoa Hà Nội.