

ĐÁNH GIÁ ĐỘ AN TOÀN CHUYỂN ĐỘNG VÀ KHẢ NĂNG BẮM ĐƯỜNG CỦA Ô TÔ QUÂN SỰ 2 CẦU KHI CHUYỂN ĐỘNG TRÊN ĐƯỜNG KHÔNG BẰNG PHẪNG

INVESTIGATION AND EVALUATION OF RIDE SAFETY AND ROAD HOLDING
CAPABILITY OF A TWO-AXLE MILITARY VEHICLE ON UNEVEN ROAD

Cù Đình Anh*, GS. Vũ Đức Lập

Viện Cơ khí Động lực, Học viện Kỹ thuật quân sự

*Email: dinhanh.mta1203@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả khảo sát ảnh hưởng của kích thích mặt đường đến độ an toàn chuyển động và khả năng bám đường của ô tô quân sự 2 cầu thông qua mô hình dao động 1/2 dọc xe. Mô hình động lực học được thiết lập dưới dạng phương trình không gian trạng thái và giải bằng phần mềm MATLAB. Hai dạng kích thích gồm mặt đường hình sin và mặt đường ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn ISO 8608 (loại D). Các chỉ tiêu đánh giá gồm tải trọng thẳng đứng bánh xe, số lần tách bánh, phân bố thống kê tải trọng.

Từ khóa: An toàn chuyển động; Khả năng bám đường; Tải trọng thẳng đứng; ISO 8608; Tách bánh.

ABSTRACT

This paper presents an investigation of ride safety and road holding capability of a two-axle military vehicle using a half-car vertical dynamic model. The state-space model is established and solved numerically in MATLAB. Two types of road excitation are considered: harmonic sinusoidal input and random road profile according to ISO 8608 (Class D). Evaluation criteria include vertical tire force, tire-road separation events, statistical distribution of vertical load.

Keywords: Ride safety; Road holding; Vertical tire force; ISO 8608; Tire separation.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

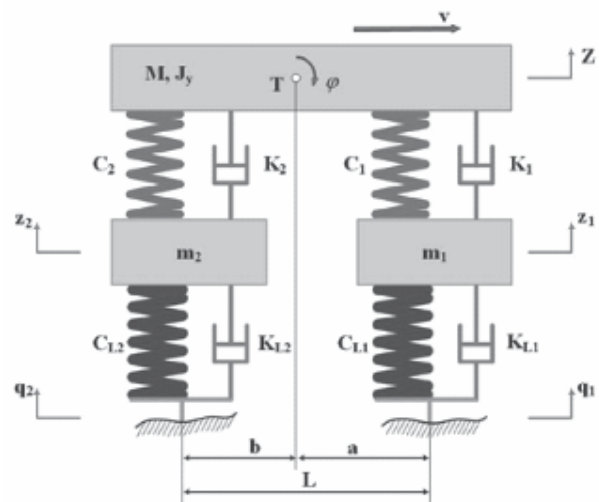
Đối với ô tô quân sự, khả năng cơ động và duy trì tiếp xúc bánh xe – mặt đường trong điều kiện đường xấu có ý nghĩa quyết định đến độ an toàn chuyển động. Thông số quan trọng nhất phản ánh khả năng bám đường là tải trọng thẳng đứng giữa bánh xe và mặt đường. Khi tải trọng này giảm về 0 hoặc có giá trị âm, bánh xe mất tiếp xúc, lực bám giảm và nguy cơ mất ổn định tăng.

Bài báo tập trung khảo sát ảnh hưởng của hai dạng kích thích mặt đường đến khả năng bám đường của xe.

2. MÔ HÌNH VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình động lực học

Xe được mô hình hóa theo mô hình 1/2 dọc xe (Hình 1).



Hình 1. Mô hình phẳng dao động ô tô 2 cầu

Hệ dao động có 3 khối lượng (M, m_1, m_2) với 4 bậc tự do với 4 tọa độ suy rộng là: Z, φ, z_1, z_2 . Dùng phương trình Lagrange loại 2 để thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của hệ [2]. Hệ phương trình vi phân dao động của cơ hệ được gồm 4 phương trình sau đây:

$$\begin{cases} M\ddot{Z} + (K_1 + K_2)\dot{Z} + (C_1 + C_2)Z + (aK_1 - bK_2)\dot{\varphi} + (aC_1 - bC_2)\varphi - \\ \quad - K_1\dot{z}_1 - C_1z_1 - K_2\dot{z}_2 - C_2z_2 = 0 \\ J_y\ddot{\varphi} + (aK_1 - bK_2)\dot{Z} + (aC_1 - bC_2)Z + (a^2K_1 + b^2K_2)\dot{\varphi} + \\ \quad + (a^2C_1 + b^2C_2)\varphi - aK_1\dot{z}_1 - aC_1z_1 + bK_2\dot{z}_2 + bC_2z_2 = 0 \\ m_1\ddot{z}_1 - K_1\dot{Z} - C_1Z - aK_1\dot{\varphi} - aC_1\varphi + (K_1 + K_{L1})\dot{z}_1 + (C_1 + C_{L1})z_1 \\ \quad = K_{L1}\dot{q}_1 + C_{L1}q_1 \\ m_2\ddot{z}_2 - K_2\dot{Z} - C_2Z + bK_2\dot{\varphi} + bC_2\varphi + (K_2 + K_{L2})\dot{z}_2 + (C_2 + C_{L2})z_2 \\ \quad = K_{L2}\dot{q}_2 + C_{L2}q_2 \end{cases}$$

Hệ phương trình vi phân được chuyển sang dạng không gian trạng thái:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases}$$

Mô phỏng được thực hiện bằng phần mềm MATLAB, hàm lsim [4].

Bảng 1. Các thông số mô phỏng sử dụng đối với ô tô tải quân sự 2 cầu

TT	Thông số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Trọng lượng toàn bộ (tổng tải trọng)	G	5800	kG
	Khối lượng phân bố cầu trước	M_1	2730	kg
	Khối lượng phân bố cầu sau	M_2	3070	kg
2	Khối lượng được treo	M	4766	kg
3	Khối lượng không được treo			
	Khối lượng không được treo cầu trước	m_1	552	kg
	Khối lượng không được treo cầu sau	m_2	472	kg
4	Chiều dài cơ sở của xe	L	3,3	m
	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước	a	1,8	m
	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau	b	1,5	m
5	Độ cứng của nhíp trước	C_1	98000	N/m
6	Độ cứng của nhíp sau	C_2	98000	N/m
7	Hệ số cản giảm chấn của hệ thống treo trước	K_1	78000	Ns/m
8	Hệ số cản giảm chấn của hệ thống treo sau	K_2	78000	Ns/m
9	Độ cứng của lớp trước	C_{L1}	400000	N/m
10	Độ cứng của kính lớp sau	C_{L2}	400000	N/m
11	Hệ số cản giảm chấn của lớp trước	K_{L1}	50	Ns/m
12	Hệ số cản giảm chấn của lớp sau	K_{L2}	50	Ns/m
13	Mô men quán tính của khối lượng được treo đối với trục y	J_y	12900	kgm ²

Các thông số trên được tham khảo từ số liệu thiết kế xe [1] và giả thuyết hợp lý cho mô hình.

2.2. Kích thích mặt đường

2.2.1. Mặt đường hình sin

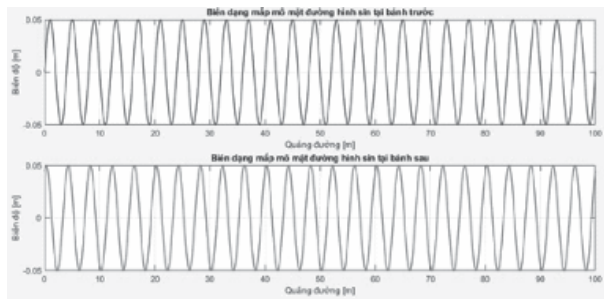
Mặt đường được mô hình hóa theo biên dạng hình sin, được mô tả bởi biên độ mấp mô A và bước sóng λ . Kích thích mặt đường tác dụng lên bánh xe được biểu diễn theo quãng đường. Biên dạng kích thích tại bánh trước được xác định theo biểu thức:

$$q_1(s) = A \cdot \sin(\omega t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi v}{\lambda} t\right) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} s\right)$$

Biên dạng kích thích tại bánh sau có xét đến độ trễ pha do chiều dài cơ sở của xe:

$$q_2(s) = A \cdot \sin\left[\omega\left(t - \frac{L}{v}\right)\right] = A \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(s - L)\right]$$

Trong mô phỏng, kích thích mặt đường hình sin xây dựng trên quãng đường $s = 100\text{m}$ với biên độ mấp mô $A = 0,05\text{m}$ và bước sóng $\lambda = 4\text{ m}$, vận tốc chuyển động của xe mô phỏng tại: 40 km/h, 60 km/h và 80 km/h. ☞



Hình 2. Biên dạng kích thích mặt đường hình sin

2.2.2. Mặt đường ngẫu nhiên theo ISO 8608

Theo tiêu chuẩn ISO 8608, đặc tính không bằng phẳng của mặt đường được mô tả dưới dạng quá trình ngẫu nhiên dừng, trong đó biên dạng mặt đường được đặc trưng thông qua mật độ phổ công suất (Power Spectral Density – PSD) trong miền tần số không gian. Mật độ phổ công suất của biên dạng mặt đường theo tiêu chuẩn ISO 8608 được xác định theo biểu thức:

$$G_q(n) = G_q(n_0) \cdot \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-w}$$

Trong đó: n là tần số không gian (chu kỳ/m);

n_0 là tần số tham chiếu;

$G_q(n_0)$ là giá trị mật độ phổ công suất tại tần số tham chiếu.

w là hệ số dốc phổ, giá trị xấp xỉ 2 với các mặt đường thông dụng.

Để tổng hợp biên dạng mặt đường theo miền không gian, sử dụng phương pháp Fourier ngẫu nhiên. Biên dạng mặt đường được xác định theo biểu thức:

$$q(s) = \sum_{i=1}^N \sqrt{2G_q(n_i) \cdot \Delta n \cdot \cos(2\pi n_i s + \varphi_i)}$$

Trong đó:

s là tọa độ không gian dọc theo chiều

chuyển động (quãng đường);

n_i là các thành phần tần số không gian;

Δn là bước chia tần số;

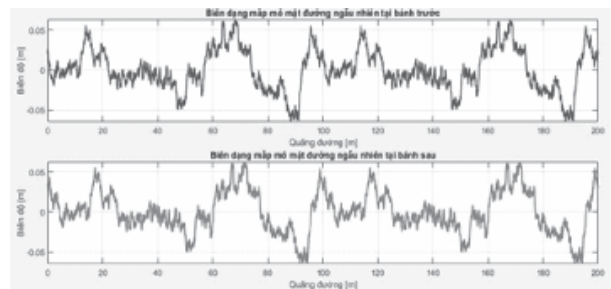
φ_i là các pha ngẫu nhiên phân bố đều trong khoảng $[0, 2\pi]$;

N là số thành phần tần số được xét trong quá trình tổng hợp.

Do đó, kích thích mặt đường tại bánh xe cầu trước và cầu sau lần lượt được xác định theo các biểu thức:

$$q_1(s) = q(s); \text{ và } q_2(s) = q(s - L)$$

Trong mô phỏng này, mặt đường loại D (đường đất xấu) được lựa chọn với $G_q(n_0) = 1024 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, $n_0 = 0,1$ chu kỳ/m và hệ số dốc phổ $w = 2$. Dải tần số không gian n được lựa chọn trong khoảng từ $n_{\min} = 0,01$ đến $n_{\max} = 10$ chu kỳ/m. Quãng đường mô phỏng $s = 200 \text{ m}$ với các vận tốc chuyển động của xe: 40 km/h, 60 km/h và 80 km/h.



Hình 3. Biên dạng kích thích mặt đường ngẫu nhiên

2.3. Chỉ tiêu đánh giá

- Tải trọng thẳng đứng bánh xe:

+ Tải trọng thẳng đứng của bánh xe $R_K(t)$ bằng tổng của tải trọng tĩnh và lực động giữa bánh xe và bề mặt đường $F_d(t)$ [2]:

$$R_K(t) = R'_K \pm F_d(t);$$

+ Lực động giữa bánh xe và mặt đường:

$$F_d = -(F_{CL} + F_{KL}) = C_L(q - z) + K_L(\dot{q} - \dot{z});$$

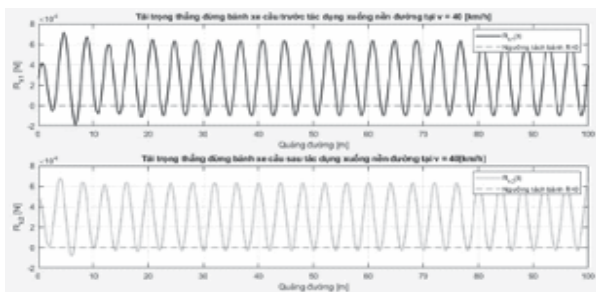
- Số lần tách bánh (số lần giá trị của tải trọng thẳng đứng $R_K(t) \leq 0$).

- Hệ số thời gian bám dính [3]:

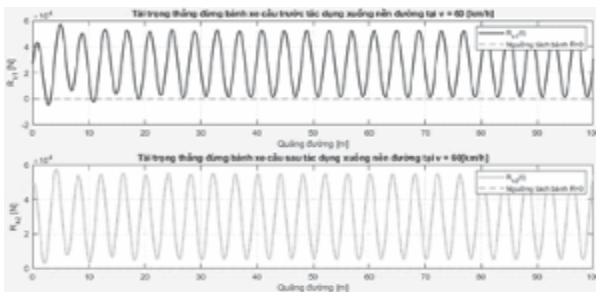
$$E = \frac{\sum t_{bd}}{\sum t_l} \cdot 100\% = \frac{\sum t_l - \sum t_{kbl}}{\sum t_l} \cdot 100\%$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

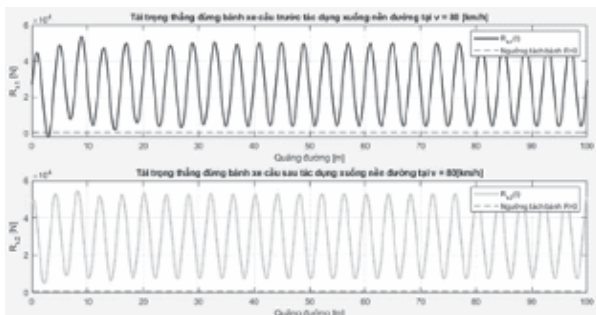
3.1. Trường hợp mặt đường hình sin



Hình 4. Tải trọng thẳng đứng tại vận tốc 40 km/h



Hình 5. Tải trọng thẳng đứng tại vận tốc 60 km/h



Hình 6. Tải trọng thẳng đứng tại vận tốc 80 km/h

===== SỐ LẦN TÁCH BÁNH =====			
Vận tốc(km/h)	Cầu trước	Cầu sau	
40	25.00	24.00	
60	3.00	0.00	
80	1.00	0.00	
===== HỆ SỐ THỜI GIAN BẮM DÍNH BÁNH XE CẦU TRƯỚC =====			
Vận tốc(km/h)	Thời gian mở phóng	Thời gian bám	Hệ số thời gian bám
40	9.00	6.65	76.1
60	6.00	5.90	98.4
80	4.50	4.47	99.4
===== HỆ SỐ THỜI GIAN BẮM DÍNH BÁNH XE CẦU SAU =====			
Vận tốc(km/h)	Thời gian mở phóng	Thời gian bám	Hệ số thời gian bám
40	9.00	7.84	87.2
60	6.00	6.00	100.0
80	4.50	4.50	100.0

Hình 7. Số lần tách bánh và hệ số thời gian bám dính mặt đường hình sin

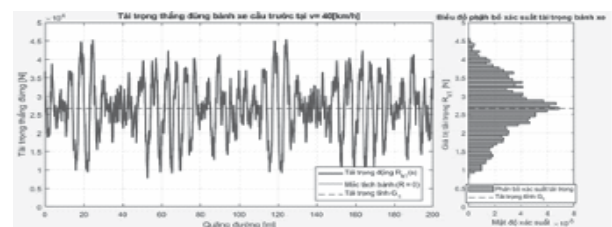
Tại 40 km/h, tải trọng thẳng đứng xuất hiện nhiều giá trị âm, phản ánh tách bánh rõ rệt.

Khi vận tốc tăng lên 60 km/h và 80 km/h:

- Biên độ tải trọng âm giảm;
- Số lần tách bánh giảm;
- Hệ số thời gian bám dính tăng.

Nguyên nhân do tần số kích thích dịch khỏi vùng cộng hưởng của hệ thống treo.

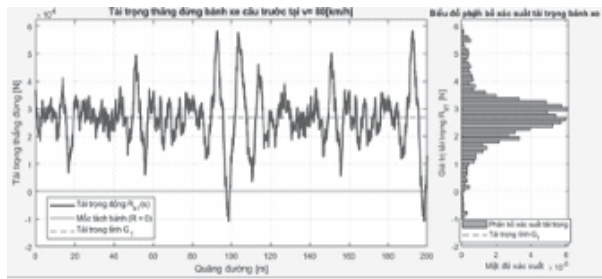
3.2. Trường hợp mặt đường ngẫu nhiên ISO 8608



Hình 8. Tải trọng thẳng đứng tại bánh xe cầu trước khi $v = 40$ km/h



Hình 9. Tải trọng thẳng đứng tại bánh xe cầu trước khi $v = 60$ km/h



Hình 10. Tải trọng thẳng đứng tại bánh xe cầu trước khi $v = 80$ km/h

==== SỐ LẦN TÁCH BÁNH ====

Vận tốc (km/h)	Cầu trước	Cầu sau
40	0.00	0.00
60	0.00	0.00
80	2.00	1.00

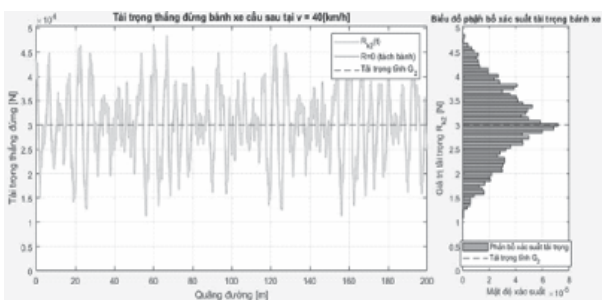
==== HỆ SỐ THỜI GIAN BẮM ĐÍNH BÁNH XE CẦU TRƯỚC ====

Vận tốc (km/h)	Thời gian mở phòng	Thời gian bám	Hệ số thời gian bám
40	18.00	18.00	100.0
60	12.00	12.00	100.0
80	9.00	8.87	98.5

==== HỆ SỐ THỜI GIAN BẮM ĐÍNH BÁNH XE CẦU SAU ====

Vận tốc (km/h)	Thời gian mở phòng	Thời gian bám	Hệ số thời gian bám
40	18.00	18.00	100.0
60	12.00	12.00	100.0
80	9.00	8.96	99.6

Hình 14. Số lần tách bánh và hệ số thời gian bám dính



Hình 11. Tải trọng thẳng đứng tại bánh xe cầu sau khi $v = 40$ km/h

==== THÔNG SỐ PHÂN BỐ THỐNG KÊ TẢI TRỌNG CẦU TRƯỚC ====

Vận tốc (km/h)	Tải trọng tĩnh	Giá trị trung bình	Giá trị cực tiểu	Giá trị cực đại
40	26781.30	26757.81	7790.40	45380.36
60	26781.30	26654.39	2660.69	52177.34
80	26781.30	26557.31	-11048.96	56257.22

==== THÔNG SỐ PHÂN BỐ THỐNG KÊ TẢI TRỌNG CẦU SAU ====

Vận tốc (km/h)	Tải trọng tĩnh	Giá trị trung bình	Giá trị cực tiểu	Giá trị cực đại
40	30116.70	30113.92	11306.25	48488.15
60	30116.70	30156.87	5911.57	52994.49
80	30116.70	30390.65	-6670.74	61330.27

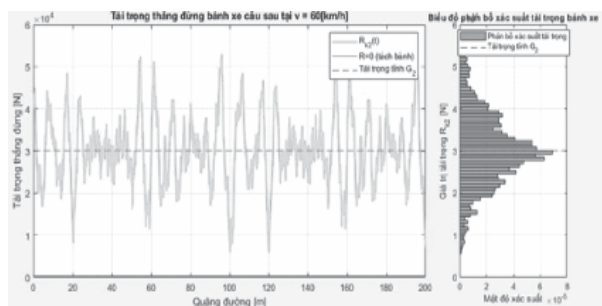
Hình 15. Các thông số phân bố thống kê tải trọng thẳng đứng

* Nhận xét:

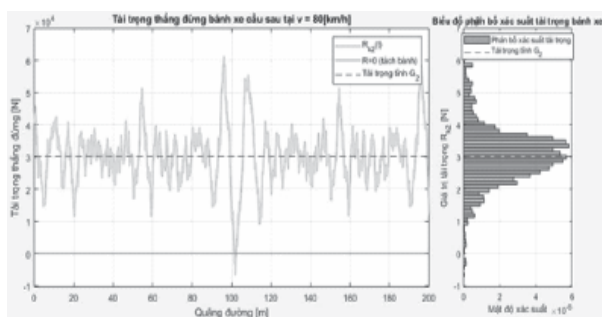
+ Tại vận tốc 40 km/h, tải trọng thẳng đứng của bánh xe luôn duy trì giá trị dương trong suốt quá trình chuyển động. Số lần tách bánh bằng 0 và hệ số thời gian bám dính đạt giá trị xấp xỉ 100%. Điều này cho thấy ở vận tốc thấp đảm bảo khả năng bám đường và an toàn chuyển động.

+ Khi vận tốc tăng lên 60 km/h, biên độ dao động tải trọng thẳng đứng tăng rõ rệt so với trường hợp 40 km/h, tuy nhiên vẫn chưa xuất hiện giá trị tải trọng âm.

+ Tại vận tốc 80 km/h, dao động tải trọng thẳng đứng tăng đáng kể và bắt đầu xuất hiện các giá trị âm cục bộ. Điều này phản ánh hiện tượng tách bánh ngắn hạn khỏi mặt đường. Phân bố thống kê tải trọng mở rộng rõ rệt và xuất hiện đuôi phân bố ở vùng tải trọng âm. Mặc dù số lần tách bánh còn nhỏ và hệ số thời



Hình 12. Tải trọng thẳng đứng tại bánh xe cầu sau khi $v = 60$ km/h



Hình 13. Tải trọng thẳng đứng tại bánh xe cầu sau khi $v = 80$ km/h

gian bám dính vẫn ở mức cao, sự xuất hiện tải trọng âm cho thấy nguy cơ suy giảm khả năng bám đường khi vận tốc tiếp tục tăng. Đây là dấu hiệu cho thấy vận tốc 80 km/h đã ảnh hưởng đến độ an toàn chuyển động trong điều kiện mặt đường khảo sát.

4. KẾT LUẬN

- Tải trọng thẳng đứng là chỉ tiêu quyết định trong đánh giá an toàn chuyển động.

- Kích thích hình sin có thể gây cộng hưởng và tách bánh mạnh tại một số vận tốc.

- Kích thích ngẫu nhiên ISO 8608 phản ánh sát điều kiện thực tế và ít gây cộng hưởng mạnh. Tại tốc độ cao xuất hiện tải trọng âm cục bộ, phản ánh hiện tượng tách bánh ngắn hạn.

- Độ an toàn chuyển động phụ thuộc đồng thời vào vận tốc và đặc tính phổ mặt đường. ❖

Ngày nhận bài: **10/4/2026**

Ngày phản biện: **21/4/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Vũ Đức Lập (2004), “*Sổ tay tra cứu tính năng kỹ thuật ô tô*”. Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội.
- [2]. Vũ Đức Lập (2011), “*Dao động ô tô*”. NXB. Quân đội nhân dân, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Khắc Trai (2006), “*Cơ sở thiết kế ô tô*”. NXB. Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [4]. The Mathworks Inc (2005), “*Using Simulink and Stateflow in Automotive Application*”. Version 4, Natick, MA.