

# NGHIÊN CỨU PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA VẬN TỐC XE ĐẾN ỔN ĐỊNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA XE KHÁCH KHI QUAY VÒNG TRÊN ĐƯỜNG BÊ TÔNG KHÔ

STUDY ON EFFECTS OF SPEED ON STABILITY MOTION OF BUS WHILE TURNING MANEUVER ON THE CONCRETE AND DRY ROAD

Lương Ngọc Minh<sup>1</sup>, Võ Văn Hường<sup>2</sup>, Phùng Anh Tuấn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Vinh

<sup>2</sup>Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

## TÓM TẮT

*Nghiên cứu về các ảnh hưởng của vận tốc xe khi quay vòng là một trong những hướng nghiên cứu quan trọng trong việc đánh giá độ an toàn của xe, nhất là đối với loại xe khách là phương tiện vận chuyển chuyên chở rất nhiều người. Bài báo đề xuất các giả thuyết khi xây dựng mô hình, áp dụng hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động kết hợp với mô hình lớp Burchkhardt để mô phỏng khảo sát các thông số quan trọng như quỹ đạo chuyển động, góc lắc ngang, gia tốc ngang, vận tốc góc, tải trọng và lực ngang đặt tại 4 bánh xe. Bài báo sử dụng phần mềm Matlab-Simulink để mô phỏng, kết quả nghiên cứu có thể xác định các vận tốc nguy hiểm của ô tô gây ra sự mất ổn định lật ngang khi quay vòng.*

**Từ khóa:** *Xe khách; Mô hình động lực học ô tô; Lật ngang; Quỹ đạo chuyển động; Mô phỏng.*

## ABSTRACT

*Studying on the effects of speed when turning maneuver is one of important topic in order to evaluate the bus' stability, especially with bus, which is carry many people. The article gave lots of theories using differential equation to describe motion combining with Burchkhardt's tire model to simulate and investigate important parameters such as motion trajectory, horizontal shaking angle, horizontal acceleration, angular velocity, load and lateral force applied at 4 wheels. Matlab Simulink software is used to simulate this model. Its result can be determined the dangerous velocities of bus that causes lateral instability when turning.*

**Keywords:** *Bus; Vehicle dynamic model; Rollover; Trajectory; Simulation.*

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Do các vấn đề đặc thù đối với giao thông đường sắt ở nước ta, nên hệ thống giao thông đường bộ vẫn luôn là hệ thống giao thông phổ biến nhất. Theo số liệu thống kê trong giai đoạn 2011-2020, tỉ lệ vận tải hành khách bằng đường bộ đang chiếm tỉ lệ 65,6% so với 0,6% của đường sắt [1]. Trong đó, xe khách là một trong những phương tiện giao thông phổ biến và thuận tiện nhất với hơn 600 triệu lượt khách vận chuyển mỗi năm [2]. Bên cạnh đó, xe khách cũng là phương tiện có thể gây ra nhiều hậu quả nghiêm trọng khi gặp tai nạn, có những thời điểm tai nạn giao thông do xe ô tô chở khách, taxi và xe ô tô tải gây ra, chiếm hơn 45% số vụ, 52,1% về số người chết và 80,5% số người bị thương [3]. Do vậy, nghiên cứu ảnh hưởng vận tốc của đối tượng xe khách đến sự ổn định chuyển động khi quay vòng là vấn đề ưu tiên luôn được đặt lên hàng đầu trong các nghiên cứu.

Theo lý thuyết động lực học quay vòng ô tô, vận tốc xe là thông số quan trọng trong việc xác định sự trượt hay khả năng bám của bánh xe so với mặt đường. Khi xe quay vòng với vận tốc lớn thì lực quán tính ly tâm sẽ làm xe bị trượt ra khỏi quỹ đạo chuyển động, khi xe chuyển động trên mặt đường có hệ số bám

cao thì khả năng mất ổn định của ô tô khi quay vòng chủ yếu phụ thuộc vào góc đánh lái và vận tốc quay vòng của xe. Bài báo trình bày nghiên cứu đánh giá độ ổn định của xe khách khi chuyển hướng khảo sát trên các trường hợp vận tốc khác nhau với cùng một góc đánh lái trên đường bê tông khô.

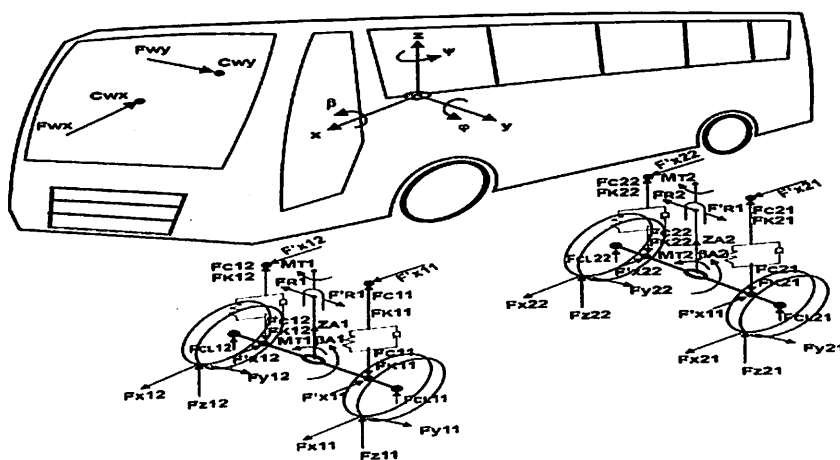
## 2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC XE KHÁCH

### 2.1. Các giả thiết khi xây dựng mô hình

Đối tượng nghiên cứu là xe khách có hệ thống treo phụ thuộc đối với cầu trước và cầu sau. Mô hình được xây dựng với các giả thiết:

- Cấu trúc của xe khách đối xứng qua mặt phẳng dọc thân xe;
- Bánh xe được xem là đàn hồi chuyển động trên nền đường cứng tuyệt đối;
- Thân xe có khối lượng được treo m và mô men quán tính theo các trục  $J_x$ ,  $J_y$  và  $J_z$ ;
- Các cầu xe có khối lượng  $m_{Ai}$  được liên kết với thân xe qua hệ thống treo gồm phần tử đàn hồi có độ cứng  $C_{ij}$ , phần tử giảm chấn có hệ số cản  $K_{ij}$  ( $i = 1$ : cầu trước;  $i = 2$ : cầu sau;  $j = 1$ : Bánh xe bên trái;  $j = 2$ : bánh xe bên phải), các thanh ổn định có độ cứng  $C_{Ti}$ .

### 2.2. Hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động



Hình 1. Mô hình động lực học của xe khách

Sử dụng phương pháp hệ nhiều vật [4, 6] để xây dựng hệ phương trình mô tả chuyển động của xe khách trong không gian. Gắn hệ quy chiếu cục bộ Cxyz vào trọng tâm của khối lượng treo như Hình 1. Gọi  $v_x, v_y, v_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z$

là các vận tốc tức thời của 6 chuyển động của khối lượng được treo đối với hệ quy chiếu cục bộ Cxyz. Áp dụng phương trình Newton-Euler 6 bậc tự do [5, 7] của thân xe như sau:

$$\left\{ \begin{aligned} m(\dot{v}_x - v_y \omega_z + v_z \omega_y) &= F'_{x11} + F'_{x12} + F'_{x21} + F'_{x22} - F_{wx} \\ m(\dot{v}_y - v_z \omega_x + v_x \omega_z) &= F'_{R1} + F'_{R2} + F_{wy} \\ m(\dot{v}_z - v_x \omega_y + v_y \omega_x) &= F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12} + F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22} \\ J_x \dot{\omega}_x + (J_z - J_y) \omega_z \omega_y &= (F_{C11} + F_{K11} - F_{C12} - F_{K12}) w_1 + (F_{C21} + F_{K21} - F_{C22} - F_{K22}) w_2 \\ &+ F'_{R1}(h - h_{R1}) + F'_{R2}(h - h_{R2}) + F_{wy}(h - h_w) - M_{T1} - M_{T2} \\ J_y \dot{\omega}_y + (J_x - J_z) \omega_x \omega_z &= -(F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12}) l_1 + (F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22}) l_2 \\ &- F_{wx} h_w - (F'_{x11} + F'_{x12})(h - r_{bx}) - (F'_{x21} + F'_{x22})(h - r_{bx}) \\ J_z \dot{\omega}_z + (J_y - J_x) \omega_y \omega_x &= F'_{R1} l_1 - F'_{R2} l_2 + F_{wy} l_w - (F'_{x11} - F'_{x12}) w_1 - (F'_{x21} - F'_{x22}) w_2 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Các lực liên kết thẳng đứng hệ thống treo được tính theo công thức như sau:

$$\left\{ \begin{aligned} F_{Cij} &= \begin{cases} C_\infty (z_{Aij} - z_{ij} + f_{dij}^n) & \text{khi } f_{dij}^n < z_{Aij} - z_{ij} \\ C_{ij} (z_{Aij} - z_{ij}) & \text{khi } f_{dij}^t \leq z_{Aij} - z_{ij} \leq f_{dij}^n \\ -C_\infty (z_{Aij} - z_{ij} - f_{dij}^n) & \text{khi } z_{Aij} - z_{ij} < f_{dij}^n \end{cases} \\ F_{Kij} &= K_{ij} (\dot{z}_{Aij} - \dot{z}_{ij}) \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Trong đó:  $z_{Aij}, z_{ij}$  là các dịch chuyển theo phương thẳng đứng của các điểm treo trên và dưới được tính từ quan hệ hình học từ dịch chuyển, góc lắc dọc, lắc ngang của trọng tâm khối lượng được treo ( $z, \phi, \beta$ ) và cầu xe ( $z_{Ai}, \beta_{Ai}$ ).

Các lực liên kết dọc tại các điểm treo trên và dưới của các bánh xe được xác định với giả thiết không có dịch chuyển tương đối theo phương dọc giữa cầu xe với khối lượng được treo. Các nhóm lực dọc và ngang từ cầu xe tác dụng lên khối lượng treo được xác định từ quá

trình xây dựng mô hình [4].

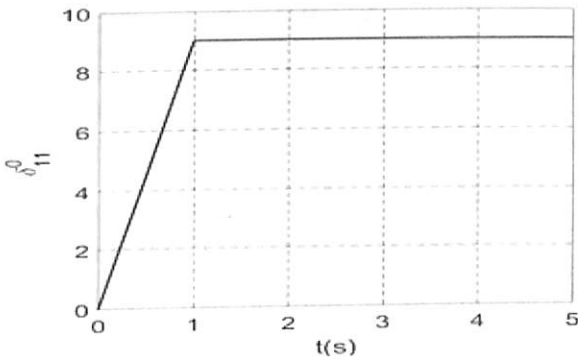
Trong nghiên cứu này, mô hình lớp Burchhardt được dùng để xác định các thành phần lực liên kết  $F_x$ ,  $F_y$  với ba hệ số  $C_1 = 1,1973$ ;  $C_2 = 25,168$ ;  $C_3 = 0,5373$  cho loại đường bê tông khô [4, 11].

$$\begin{cases} F_{xij} = \frac{s_{xij}}{\sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2}} \left( C_1 \left( 1 - e^{-C_2 \sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2}} \right) - C_3 \sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2} \right) F_{zij} \\ F_{yij} = \frac{s_{yij}}{\sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2}} \left( C_1 \left( 1 - e^{-C_2 \sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2}} \right) - C_3 \sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2} \right) F_{zij} \end{cases} \quad (3)$$

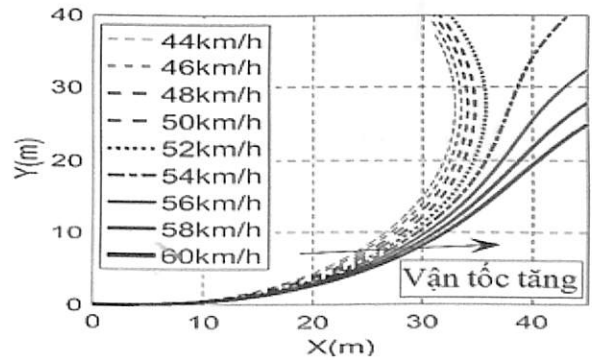
Đầu vào của mô hình lớp dạng này là các hệ số trượt dọc  $s_{xij}$  và góc trượt ngang  $s_{yij}$  được xác định từ vận tốc dọc  $v_{xij}$ , vận tốc ngang  $v_{yij}$  và góc quay bánh xe dẫn hướng  $\delta_{ij}$ . Tải trọng thẳng đứng  $F_{zij}$  tại các bánh xe được tính từ dịch chuyển theo phương thẳng đứng của bánh xe ( $z_{Bij}$ ) được tính như sau:

$$\begin{cases} F_{CLij} = \begin{cases} C_{Lij} (h_{ij} - z_{Bij}) & \text{khi } h_{ij} - \left[ z_{Bij} - \frac{F_{zij}^t}{CL_{ij}} \right] \geq 0 \\ -F_{zij}^t & \text{khi } h_{ij} - \left[ z_{Bij} - \frac{F_{zij}^t}{CL_{ij}} \right] < 0 \end{cases} \\ F_{zij} = F_{CLij} + F_{zij}^t \end{cases} \quad (4)$$

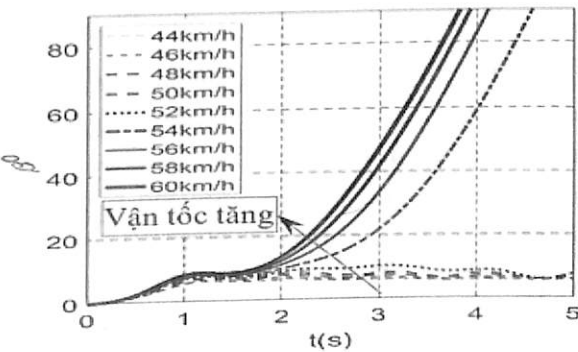
### 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ



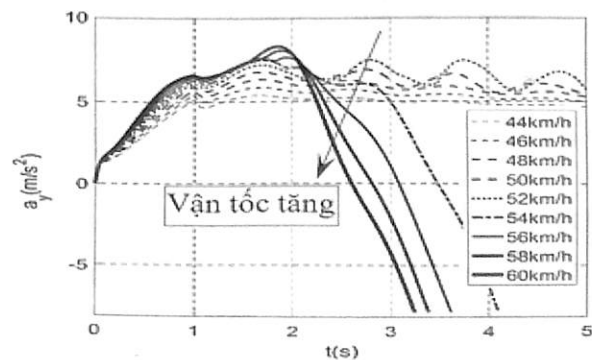
Hình 2. Đồ thị góc  $\delta_{11}$



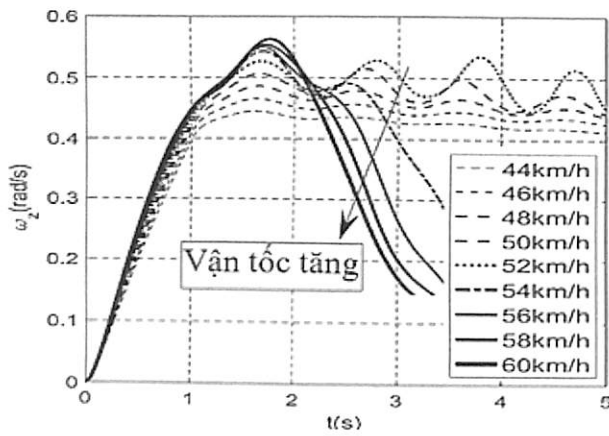
Hình 3. Đồ thị quỹ đạo chuyển động



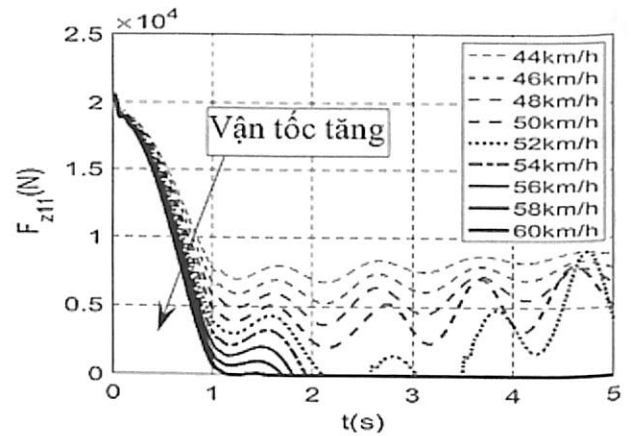
Hình 4. Đồ thị góc lắc ngang  $\beta$



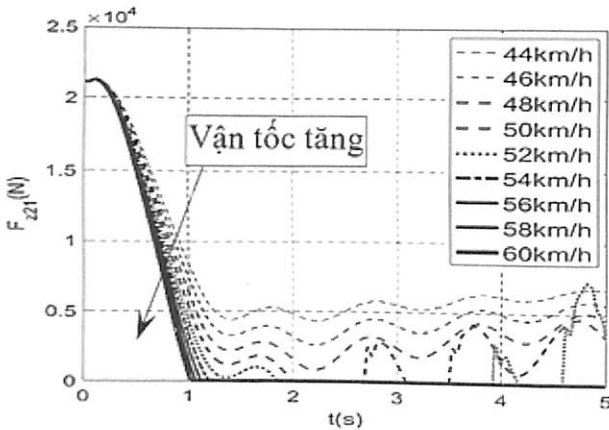
Hình 5. Đồ thị gia tốc ngang  $a_y$



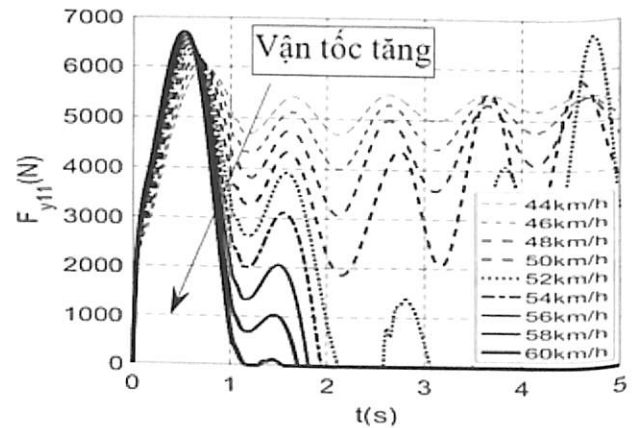
Hình 6. Đồ thị vận tốc góc  $\omega_z$



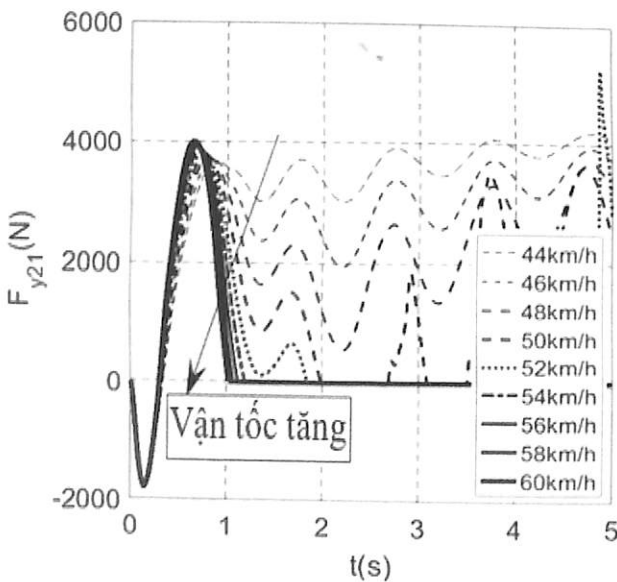
Hình 7. Đồ thị tải trọng  $F_{z11}$



Hình 8. Đồ thị tải trọng  $F_{z21}$



Hình 9. Đồ thị lực ngang  $F_{y11}$



Hình 10. Đồ thị lực ngang  $F_{y21}$

Mô phỏng số các phương trình động lực học xe khách được thực hiện trên phần mềm Matlab-Simulink với các thông số của xe khách Samco Felix Ci 34 [4], [9]. Quy luật đánh lái của xe cho góc quay dẫn hướng về bên trái góc  $9^\circ$  được chọn để làm đầu vào điều khiển xe khi quay vòng (Hình 2). Khảo sát xe quay vòng cho các mức vận tốc từ 44÷60 km/h trên loại mặt đường bê tông khô với các thông số của mô hình lốp như trình bày ở phần 2. Độ ổn định của xe khách khi quay vòng được thể hiện thông qua các đồ thị từ Hình 3 tới Hình 10.

Khi xe quay vòng với quy luật đánh lái (Hình 2) với vận tốc từ 44 ÷ 52 km/h, xe di chuyển ổn định và không lệch ra khỏi quỹ

đạo như dải vận tốc từ  $54 \div 60$  km/h (Hình 3). Hình 4, 5, 6 cho thấy xe bị tăng nhanh góc lắc ngang, giảm nhanh gia tốc ngang và vận tốc góc khi đạt đỉnh khiến cho xe nhanh chóng bị lật ngang khi đánh lái chuyển hướng ở dải vận tốc  $54 \div 60$  km/h. Trong các trường hợp này, sự giảm nhanh về tải trọng thẳng đứng của bánh xe phía trong  $F_{z11}$ ,  $F_{z21}$  (Hình 7 và 8) là dấu hiệu của lật ngang. Khi bị tách bánh xe thì không còn tương tác với mặt đường. Vì vậy, các lực ngang  $F_{y11}$  và  $F_{y21}$  cũng giảm về 0 cùng lúc với tải trọng thẳng đứng (Hình 9 và 10). Điều này có thể giải thích là do khi gia tốc ngang lớn dẫn đến quán tính lớn làm tăng góc lắc ngang nhanh.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày mô hình động lực học với các lực tương tác lốp đường được tính bằng mô hình lớp Burchkhardt. Mô phỏng và khảo sát đánh giá tính ổn định của xe khách khi đánh lái trên đường vòng với các mức vận tốc khác nhau ở cùng một góc đánh lái cố định. Ở cùng một góc đánh lái  $9^\circ$  trên đường bê tông khô, các trường hợp xe chạy với vận tốc cao trên  $54$  km/h thì các giá trị gia tốc ngang và vận tốc góc đều tăng lên bất thường dẫn tới xe càng có xu hướng mất ổn định, xe bị trượt ra khỏi quỹ đạo quay vòng hoặc xuất hiện dấu hiệu lật ngang khi các bánh xe có xu hướng tách ra khỏi mặt đường.

Mô hình động lực học được trình bày trong bài báo có thể được sử dụng để mô phỏng tính toán các ngưỡng chuyển động của xe khách khi chuyển động trong các điều kiện chuyển động khác nhau. Kết quả của bài báo có thể làm cơ sở để thiết kế các hệ thống tích cực sau này. ❖

Ngày nhận bài: 02/11/2021

Ngày phản biện: 17/11/2021

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. <https://baotintuc.vn/kinh-te/can-doi-cac-phuong-thuc-van-tai-de-tai-co-cau-thi-truong-20210125100108000.htm>.
- [2]. <https://drvn.gov.vn/tt-thong-ke/thong-tin-thong-ke-na.html?site=20830>.
- [3]. <https://laodong.vn/giao-thong/45-so-vu-tai-nan-nghiem-trong-do-xe-khach-taxi-va-xe-tai-gay-ra-748112.ldo>.
- [4]. Lương Ngọc Minh, Nguyễn Thành Công, Nguyễn Quang Anh, Võ Văn Hường, Tạ Tuấn Hưng (2021); *Nghiên cứu ổn định chuyển động của xe khách bằng mô hình lớp Burchkhardt và phương pháp hệ nhiều vật*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 3/2021.
- [5]. M. Blundell, D. Harty (2015); *Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*. 2nd edn. Butterworth-Heinemann. Elsevier Ltd.
- [6]. Võ Văn Hường, Nguyễn Tiến Dũng, Dương Ngọc Khánh, Đàm Hoàng Phúc (2014); *Động lực học ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam, Hà Nội.
- [7]. D. Schramm, M. Hiller, R. Bardini (2014), *Vehicle Dynamics Modeling and Simulation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [8]. R. Rajamani (2012), *Vehicle Dynamics and Control*, Springer New York, USA.
- [9]. <http://samcobus.vn/samco-felix->
- [10]. Tạ Tuấn Hưng, Võ Văn Hường, Dương Ngọc Khánh (2018); *Nghiên cứu mất ổn định lật ngang của xe khách trên đường cao tốc ở Việt Nam*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 10/2018.
- [11]. Nguyễn Trọng Hoan, Nguyễn Khắc Tuấn (2018); *Hệ thống truyền lực ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam, Hà Nội.