

NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA XE KHÁCH BẰNG MÔ HÌNH LỚP BURCKHARDT VÀ PHƯƠNG PHÁP HỆ NHIỀU VẬT

STUDY ON STABILITY MOTION OF BUS BASED ON BURCKHARDT'S TIRE
MODEL AND MULTIBODY SYSTEMS METHOD

Lương Ngọc Minh^{1,3*}, Nguyễn Thành Công²
Nguyễn Quang Anh³, Võ Văn Hường³, Tạ Tuấn Hưng³

¹Trường Đại học Vinh

²Trường Đại học Giao thông Vận tải

³Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

Xe khách là một trong những phương tiện quan trọng và phổ biến dùng để chuyên chở nhiều người trong giao thông vận tải đường bộ. Khi xảy ra tai nạn xe khách có thể gây tổn thất lớn về người và tài sản. Một trong những trường hợp nguy hiểm và dễ xảy ra tai nạn nhất là khi xe chuyển hướng hoặc quay vòng ở vận tốc lớn. Bài báo trình bày mô hình động lực học của xe khách sử dụng mô hình lớp Burchkhardt bằng phương pháp hệ nhiều vật. Mô hình được sử dụng để khảo sát sự ổn định chuyển động trên các loại đường khác nhau. Kết quả của nghiên cứu có thể làm cơ sở để đề xuất các giải pháp tăng tính ổn định và an toàn chuyển động của xe khách.

Từ khoá: Xe khách; Mô hình động lực học ô tô; Mất ổn định lật ngang; Quỹ đạo chuyển động; Mô hình lớp Burchkhardt.

ABSTRACT

Because of carrying many people, bus is one of the most important and popular means in road transportation. It will cause great losses, both human and property when an accident happened. One of the most dangerous and prone to accidents is when the vehicle changes direction or turning maneuver at high speed. This paper presents a dynamic model of bus based on Burchkhardt's tire model and multibody system method. This model is used to examine the motion stability on different types of road. The results can be a basis for proposing solutions to improve the stability and safety motion of bus.

Keywords: Bus; Vehicle dynamic model; Rollover condition; Trajectory, Burchkhardt's tire model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nền kinh tế Việt Nam đang ngày càng phát triển, cùng với đó có sự hạ tầng giao thông cũng ngày càng được hoàn thiện, nâng cấp, nhất là các tuyến giao thông đường bộ. Bên cạnh việc mang lại sự thuận tiện trong việc lưu thông di chuyển trên đường thì việc di chuyển với tốc độ cao cũng dẫn đến xu hướng mất ổn định chuyển động của xe ô tô trong một số trạng thái chuyển động như phanh, quay vòng... điều này gây hậu quả đặc biệt nghiêm trọng, nhất là đối với các loại xe khách chở nhiều người. Theo số liệu thống kê từ năm 2017 – 2019, 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 [1, 9].

Có hai trạng thái mất ổn định của ô tô khi chuyển hướng là mất ổn định lật ngang hoặc mất ổn định hướng. Lật ngang xảy ra khi góc lắc ngang của thân xe tăng nhanh khi xe chuyển hướng hoặc gặp các trạng thái đường mấp mô lớn [2]. Mất ổn định hướng xảy ra khi có sự trượt ngang của các bánh xe. Điều đó dẫn đến hướng của xe không đi theo mong muốn của người lái. Để đánh giá ổn định chuyển động của ô tô, có thể sử dụng các hệ thống thí nghiệm để đo khi xe chuyển động. Ngoài ra, cũng có thể đánh giá bằng các mô hình động lực học của ô tô.

Bài báo trình bày nghiên cứu đánh giá ổn định chuyển động của xe khách khi chuyển động trên các đường có hệ số bám khác nhau. Nghiên cứu sử dụng phương pháp hệ nhiều vật để xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của xe khách trong không gian. Các lực liên kết lớp-đường được xác định bằng mô hình lớp Burchhardt. Mô phỏng và đánh giá ổn định chuyển động của xe khách trong

một số trạng thái chuyển động trên các loại đường có hệ số bám khác nhau.

2. THIẾT LẬP 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;

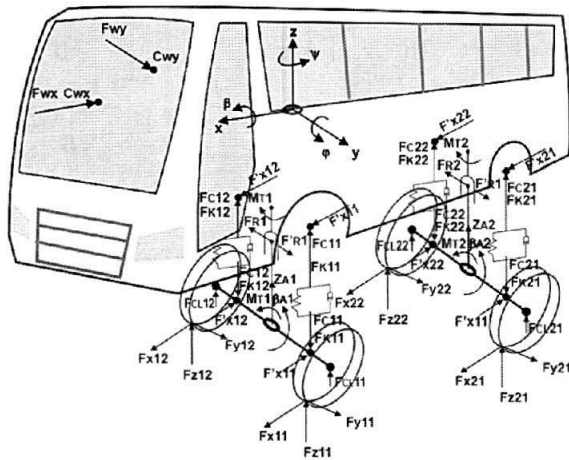
- Bánh xe được xem là đàn hồi chuyển động trên nền đường cứng tuyệt đối;

- Thân xe có khối lượng được treo m và mô men quán tính khối lượng theo các trục J_x , J_y và J_z ;

- Các cầu xe có khối lượng m_{A_i} 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

Sử dụng phương pháp hệ nhiều vật [3] để xây dựng hệ phương trình mô tả chuyển động của xe khách trong không gian. Gắn hệ quy chiếu cục bộ C_{xyz} 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 C_{xyz} . Áp dụng phương trình Newton-Euler 6 bậc tự do [3,4] của thân xe như sau:



Hình 1. Mô hình động lực học của xe khách

Với các cầu xe, chỉ xét 2 chuyển động tương đối giữa cầu trước và sau với khối lượng được treo là dao động thẳng đứng và lắc ngang. Hệ phương trình với cầu 1 được viết như sau:

Hệ phương trình với cầu 2 được viết như sau:

$$\begin{cases} m(\dot{v}_x - v_y \omega_z + v_z \omega_y) = F'_{x11} + F_{x12} + F'_{x21} + F_{x22} - F_{wx} \\ m(\dot{v}_y - v_z \omega_x + v_x \omega_z) = F'_{y11} + F'_{y12} + F_{y1} \\ m(\dot{v}_z - v_x \omega_y + v_y \omega_x) = F_{c11} + F_{k11} + F_{c12} + F_{k12} + F_{c21} + F_{k21} + F_{c22} + F_{k22} \\ J_x \dot{\omega}_x + (J_z - J_y) \omega_z \omega_y = (F_{c11} + F_{k11} - F_{c12} - F_{k12}) w_1 + (F_{c21} + F_{k21} - F_{c22} - F_{k22}) w_2 \\ + F_{r1}(h - h_{r1}) + F_{r2}(h - h_{r2}) + F_{wy}(h - h_w) - M_{T1} - M_{T2} \\ J_y \dot{\omega}_y + (J_x - J_z) \omega_x \omega_z = -(F_{c11} + F_{k11} + F_{c12} + F_{k12}) l_1 + (F_{c21} + F_{k21} + F_{c22} + F_{k22}) l_2 \\ - F_{wx} h_w - (F_{x11} + F_{x12})(h - h_{x1}) - (F_{x21} + F_{x22})(h - h_{x2}) \\ J_z \dot{\omega}_z + (J_y - J_x) \omega_y \omega_x = F'_{r1} l_1 - F_{r2} l_2 + F_{wy} w_w - (F'_{x11} - F'_{x12}) w_1 - (F_{x21} - F_{x22}) w_2 \end{cases} \quad (1)$$

Với các cầu xe, chỉ xét 2 chuyển động tương đối giữa cầu trước và sau với khối lượng được treo là dao động thẳng đứng và lắc ngang. Hệ phương trình với cầu 1 được viết như sau:

$$\begin{cases} m_{A1} \dot{v}_{zA1} - m_{A1} (\omega_{yA1} v_{xA1} - \omega_{xA1} v_{yA1}) = F_{CL11} + F_{CL12} \\ -(F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12}) \\ J_{Ax1} \dot{\omega}_{xA1} - (J_{yA1} - J_{zA1}) \omega_{yA1} \omega_{zA1} = (F_{CL11} - F_{CL12}) b_1 \\ +(F_{C12} + F_{K12} - F_{C11} - F_{K11}) w_1 + M_{T1} \end{cases} \quad (2)$$

Hệ phương trình với cầu 2 được viết như sau:

$$\begin{cases} m_{A2} \dot{v}_{zA2} - m_{A2} (\omega_{yA2} v_{xA2} - \omega_{xA2} v_{yA2}) = F_{CL21} + F_{CL22} \\ -(F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22}) \\ J_{Ax2} \dot{\omega}_{xA2} = (F_{CL21} - F_{CL22}) b_2 + (F_{C22} + F_{K22} - F_{C21} - F_{K21}) w_2 + M_{T2} \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: m_{Ai} và J_{Ax_i} là khối lượng và mô men quán tính của cầu thứ i ; v_{zA_i} là vận tốc thẳng đứng cầu thứ i ; ω_{xA_i} là vận tốc góc theo trục x_{Ai} của cầu thứ i trong hệ quy chiếu cục bộ $x_{Ai} y_{Ai} z_{Ai}$.

Vận tốc góc quay bánh xe là thông số đầu vào để tính các độ trượt dọc và góc trượt ngang. Các thông số này là đầu vào cho các mô hình lốp để tính các lực tương tác lốp đường. Vì vậy, cần thiết lập mô hình động lực học bánh xe đàn hồi cho 4 bánh xe dạng tổng quát như sau:

$$J_{Byij} \dot{\omega}_{Bij} = M_{Aij} - M_{Bij} - (F_{xij} + fF_{zij}) r_{dij} \quad (4)$$

Trong đó: M_{Aij} , M_{Bij} là mô men chủ động và mô men phanh đặt lên các bánh xe ij ; J_{Byij} là mô men quán tính của bánh xe theo trục $B_{ij} y_{ij}$; r_{dij} là bán kính động của bánh xe. Khi bánh xe không phanh $M_{Bij} = 0$, còn khi bánh xe bị động $M_{Aij} = 0$;

Để giải các hệ 14 phương trình vi phân (1), (2), (3) và (4) cần xác định tất cả các thành phần ngoại lực về phải. Các thành phần này bao gồm: Các lực liên kết thẳng đứng hệ thống treo [5]; các mô men thanh ổn định; các lực cản khí động [4]; các lực tương tác lốp đường...

Bảng 1. Hệ số thực nghiệm trong mô hình Burchkhardt:

Loại đường	C ₁	C ₂	C ₃
Đường nhựa khô	1,281	23,99	0,52
Đường nhựa ướt	0,857	33,822	0,347
Đường bê tông khô	1,1973	25,168	0,5373
Đường đá khô	1,3713	6,4565	0,6691
Đường phủ tuyết	0,1946	94,129	0,0646

Trong nghiên cứu này, mô hình lớp Burchkhardt được sử dụng để xác định các thành phần lực liên kết F_x , F_y với ba hệ số C_1 , C_2 , C_3 tùy theo tính chất mặt đường [5, 6] (Bảng 1).

$$\begin{cases} F_{xij} = \frac{s_{xij}}{\sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2}} (C_1 (1 - e^{-C_2 \sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2}}) - C_3 \sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2}) F_{zij} \\ F_{yij} = \frac{s_{yij}}{\sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2}} (C_1 (1 - e^{-C_2 \sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2}}) - C_3 \sqrt{s_{xij}^2 + s_{yij}^2}) F_{zij} \end{cases} \quad (5)$$

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 δ_{ij} [7]. 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:

$$\begin{cases} F_{CLij} = \begin{cases} C_{Lij} (h_{ij} - z_{Bij}) & \text{khi } h_{ij} - \left[z_{Bij} - \frac{F_{zij}^t}{CL_{ij}} \right] \geq 0 \\ -F_{zij}^t & \text{khi } h_{ij} - \left[z_{Bij} - \frac{F_{zij}^t}{CL_{ij}} \right] < 0 \end{cases} \\ F_{zij} = F_{CLij} + F_{zij}^t \end{cases} \quad (6)$$

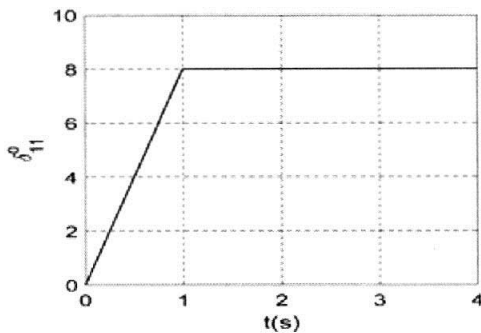
3. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Mô phỏng động lực học chuyển động xe khách bằng phần mềm Matlab-Simulink với các thông số của xe khách Samco Felix Ci 34 chỗ theo Bảng 2 [8]. Một quy luật đánh lái như hình 2 cho góc quay bánh xe dẫn hướng bên trái δ_{11} được đề xuất để khảo sát tính toán trong một số mặt đường ở vận tốc chuyển động 56 km/h. Đánh giá ổn định của xe thông qua một số thông số như các đồ thị từ Hình 3 đến Hình 9.

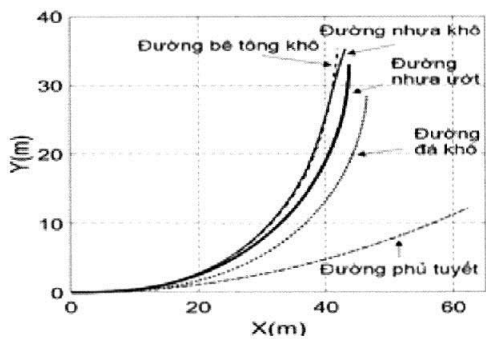
Bảng 2: Các thông số kỹ thuật xe khách Samco Felix Ci.34

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Khối lượng phần được treo	m	7007	kg
2	Khối lượng phần không được treo trước	m_{A1}	266	kg
3	Khối lượng phần không được treo sau	m_{A2}	427	kg
4	Mô men quán tính theo trục x của khối lượng được treo	J_x	8371,8	kgm ²
5	Mô men quán tính theo trục y của khối lượng được treo	J_y	50612	kgm ²
6	Mô men quán tính theo trục z của khối lượng được treo	J_z	49361	kgm ²
7	Độ cứng của hệ thống treo trước và sau	$C_{1j}; C_{2j}$	193844; 177013	N/m
8	Hệ số cản của hệ thống treo trước và sau	$K_{1j}; K_{2j}$	7733; 9804	Ns/m
9	Độ cứng của lớp trước và sau	$C_{L1j}; C_{L2j}$	493211; 986422	N/m
10	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước, sau	l_1	2.400	m
11	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau	l_2	1.685	m
12	Chiều cao trọng tâm khối lượng được treo	h	1,1	m

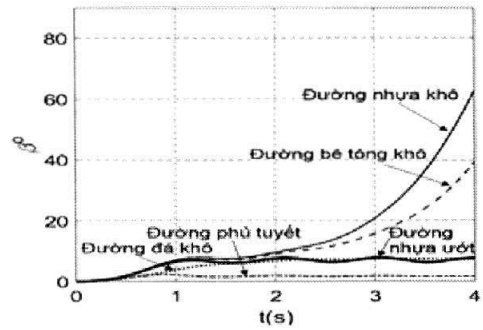
Các kết quả khảo sát cho thấy sự ảnh hưởng của đường đến tính chất ổn định của xe khách khi quay vòng với cùng một vận tốc và góc lái. Đối với các đường có hệ số bám cao (đường nhựa khô, bê tông khô) xe bị lật ngang nhanh với sự tăng nhanh của góc lắc ngang (Hình 4), sự giảm của gia tốc ngang khi đạt đỉnh (Hình 5) và sự văng ra khỏi quỹ đạo (Hình 3). Trong các trường hợp này, sự giảm nhanh về 0 của tải trọng thẳng đứng của bánh xe phía trong F_{z11} , F_{z21} (Hình 6 và 7) là dấu hiệu của lật ngang. Khi bánh xe bị tách khỏi mặt đường 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 8 và 9). Điều này có thể giải thích là do khi gia tốc ngang lớn dẫn đến quán tính lớn làm tăng góc lắc ngang nhanh. Đối với các trường hợp có hệ số bám thấp (đường đá, đường phủ tuyết) thì xe không bị lật ngang, nhưng có xu hướng bị lệch ra khỏi cung quay vòng (Hình 3).



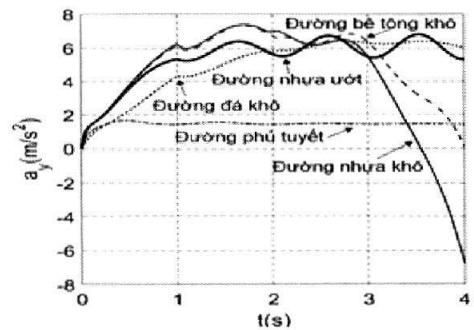
Hình 2. Đồ thị góc quay bánh xe dẫn hướng bên trái δ_{11}



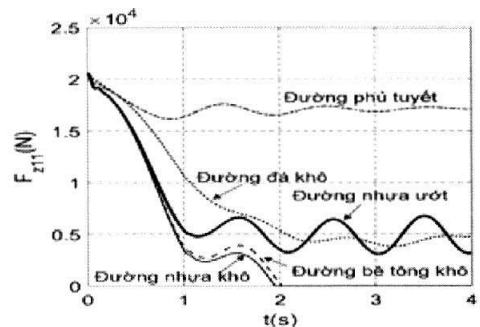
Hình 3. Đồ thị quỹ đạo chuyển động



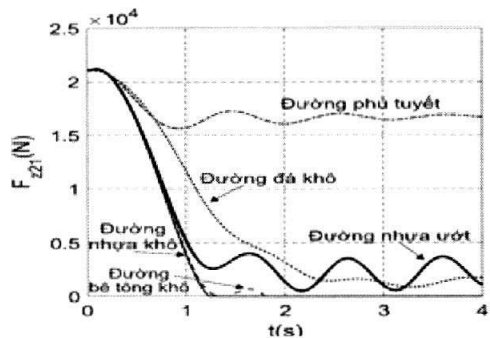
Hình 4. Đồ thị góc lắc ngang β



Hình 5. Đồ thị gia tốc ngang a_y

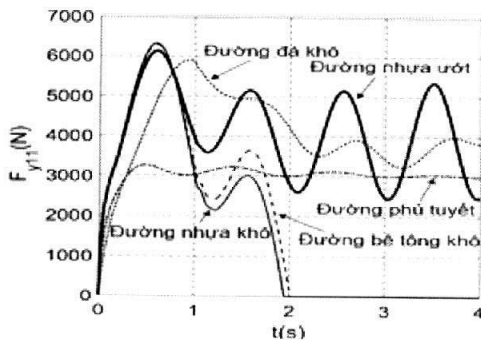


Hình 6. Đồ thị tải trọng F_{z11}

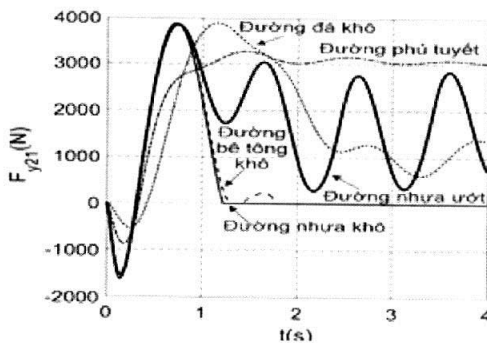


Hình 7. Đồ thị tải trọng F_{z21}





Hình 8. Đồ thị lực ngang F_{y11}



Hình 9. Đồ thị lực ngang F_{y21}

4. KẾT LUẬN

Với các hệ thống cảm biến hiện có được trang bị trên ô tô hiện nay, không dễ có thể trực tiếp cảnh báo được sự mất ổn định của xe khi di chuyển trên đường, nhất là khi đánh lái trên đường vòng ở tốc độ cao. Bài báo đã thiết lập mô hình động lực học với các lực tương tác lớp đường được tính từ mô hình lớp Burchkhardt. Sử dụng mô hình đó, bài báo đã khảo sát, đánh giá ổn định của xe khách khi quay vòng trong một số loại đường. Các kết quả cho thấy sự lật ngang xảy ra nhanh ở các loại đường có hệ số bám cao. Còn các loại đường có độ bám thấp thì xe có xu hướng lệch quỹ đạo chuyển động. Với mô hình đã thiết lập, có thể khảo sát trong nhiều trạng thái chuyển động. Kết quả của bài báo có thể là cơ sở để đề xuất các giải pháp kỹ thuật nhằm nâng cao tính an toàn chuyển động của xe khách. ❖

Ngày nhận bài: 25/02/2021

Ngày phản biện: 10/3/2021

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Số liệu thống kê của Cục Cảnh sát Giao thông, Bộ Công an, từ 16.11.2017 - 15.6.2019.
- [2]. 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.
- [3]. M. Blundell, D. Harty (2015); *Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*. 2nd edn. Butterworth-Heinemann. Elsevier Ltd.
- [4]. D. Schramm, M. Hiller, R. Bardini (2014) *Vehicle Dynamics Modeling and Simulation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [5]. 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.
- [6]. Nguyễn Trọng Hoan, Nguyễn Khắc Tuấn (2018); *Hệ thống truyền lực ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam, Hà Nội.
- [7]. R. Rajamani (2012); *Vehicle Dynamics and Control*, Springer New York, USA.
- [8]. <http://samcobus.vn/samco-felix->
- [9]. <http://www.csqt.vn/tintuc/9549/Lam-gi-de-ngan-chan-nhung-vu-tai-nan-giao-thong-dau-long.html>