

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA BIÊN ĐỘ ĐÁNH LÁI ĐẾN ỔN ĐỊNH QUỸ ĐẠO KHI CHUYỂN LÀN CỦA ĐOÀN XE SƠ MI RƠ MOOC

A STUDY ON EFFECTS OF DRIVE RANGE ON ORIGINAL STABILITY WHEN
CHANGING LANES OF TRACTOR SEMI TRAILER

Trương Văn Thuận*, Vũ Văn Quang

Trường Đại học Phenikaa

TÓM TẮT

Ở Việt Nam, đoàn xe sơ mi rơ moóc (ĐXSMMR) bao gồm xe đầu kéo (XĐK) và sơ mi rơ moóc (SMRM) là được sử dụng tương đối phổ biến trong vận chuyển của nhiều lĩnh vực thương mại, kinh tế,... [1]. Khi quay vòng, ĐXSMMR thường dễ bị mất ổn định ngang. Mất ổn định ngang gồm: (i) mất ổn định hướng (Yaw Instability), (ii) mất ổn định lật ngang (Roll Instability). Tai nạn giao thông xảy ra đối với ĐXSMMR do nhiều nguyên nhân, trong đó chủ yếu là do đoàn xe mất ổn định chuyển động trên đường khi tăng tốc, khi phanh, khi vượt xe, tránh chướng ngại vật, khi chạy trên đường có hệ số bám thấp hoặc khi đoàn xe đi vào đường vòng [2], [3]. Bài báo trình bày phương pháp thiết lập mô hình động lực học đoàn xe sơ mi rơ moóc theo phương pháp hệ nhiều vật và hệ phương trình Newton-Euler. Trong mặt phẳng đường, mỗi vật tách cấu trúc được mô tả với 3 bậc tự do: dọc, ngang, quay thân xe. Sử dụng mô hình động lực đã xây dựng kết hợp với phương pháp mô phỏng số thông qua phần mềm Matlab-Simulink để khảo sát ảnh hưởng của biên độ đánh lái đến ổn định chuyển động của đoàn xe sơ mi rơ moóc khi chuyển làn đường.

Từ khóa: Đoàn xe sơ mi rơ moóc; Xe đầu kéo; Chuyển làn đường đơn; Động lực học hệ nhiều vật; Biên độ đánh lái.

ABSTRACT

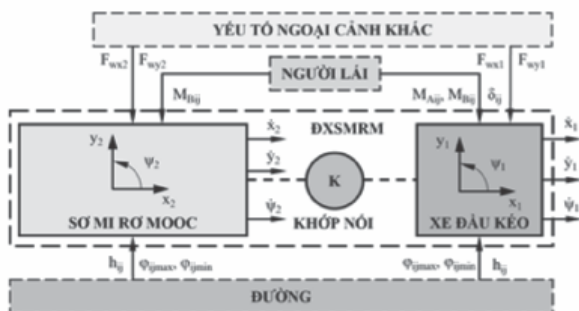
In Vietnam, fleet of semi-trailers (DXSMMR) including tractors (XDK) and semi-trailers (SMRM) are relatively commonly used in transportation in many fields of commerce, economy, etc... When revolving, the DXSMMR is often prone to lateral instability. Horizontal instability includes: (i) Yaw Instability, (ii) Roll Instability. Traffic accidents happen to the SMRM due to many reasons, of which the main reason is due to the unstable convoy moving on the road when accelerating, when braking, when overtaking, avoiding obstacles, when running on the road with high traffic, low coefficient of traction or when the convoy enters a roundabout. This paper presents a method to establish a dynamic model of a semi-trailer convoy by the method of many-body systems and the system of Newton-Euler equations. In the road plane, each structural splitter is described with 3 degrees of freedom: longitudinal, transverse, and body rotation. Using the built-in dynamic model in combination with the numerical simulation method through Matlab-Simulink software to investigate the influence of the steering amplitude on the movement stability of the semi-trailer convoy when changing lanes.

Keywords: Convoy of semi-trailers; Tractors; Single lane change; Multi-body dynamics; Steering amplitude.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Khi điều khiển đoàn xe sơ mi rơ moóc (ĐXSMMR), người lái thực hiện phối hợp các thao tác điều khiển như ga, phanh, quay vô lăng... Những phản ứng đó nhiều khi là chủ quan. Đoàn xe sơ mi rơ moóc chuyển động trong môi trường giao thông được đặc trưng bởi mật độ giao thông, mấp mô mặt đường, hệ số bám (điều kiện ngoại cảnh). Mỗi đoàn xe có cấu trúc riêng; đặc biệt đoàn xe là tổ hợp của các khâu liên kết qua khớp yên ngựa. Khi đoàn xe được điều khiển, nhất là quay vô lăng, tùy thuộc hàm đánh lái và vận tốc xe, tùy vào điều kiện đường cũng như cấu trúc đoàn xe, phản ứng của đoàn xe có thể không như ý định của lái xe: ĐXSMMR có thể mất ổn định.

Trong điều kiện đường Việt Nam, người lái phải thường xuyên phải điều khiển tích hợp (phanh, ga, lái) để xe có thể đi như mong muốn. Ngoài các yếu tố tác động từ đường, cản khi động thì phản ứng của người lái ảnh hưởng lớn đến ổn định chuyển động của ĐXSMMR như sơ đồ hình 1.



Hình 1. Sơ đồ tương tác Đường – ĐXSMMR – Người lái

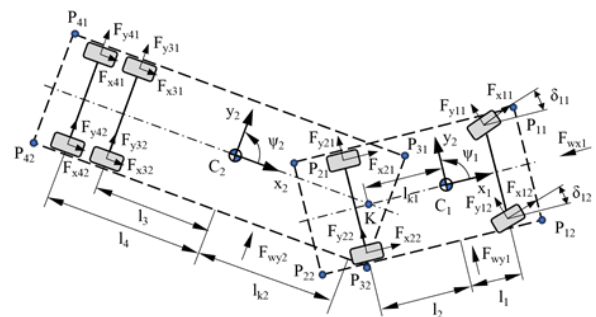
Hệ phương trình mô tả chuyển động của XĐK:

$$\begin{cases} M_1 \ddot{x}_1 - M_1 \dot{y}_1 \dot{\psi}_1 = F_{x11} \cos \delta_{11} - F_{y11} \sin \delta_{11} + F_{x12} \cos \delta_{12} - F_{y12} \sin \delta_{12} + F_{x21} + F_{x22} - F_{xk1} - F_{wk1} \\ M_1 \ddot{y}_1 - M_1 \dot{x}_1 \dot{\psi}_1 = F_{y11} \sin \delta_{11} + F_{x11} \cos \delta_{11} + F_{x12} \sin \delta_{12} + F_{y12} \sin \delta_{12} + F_{y21} + F_{y22} + F_{wy1} - F_{ky1} \\ J_{z1} \ddot{\psi}_1 = \left[(F_{x12} \cos \delta_{12} - F_{y12} \sin \delta_{12}) - (F_{x11} \cos \delta_{11} - F_{y11} \sin \delta_{11}) \right] b_1 \\ \quad + \left[(F_{x11} \sin \delta_{11} + F_{y11} \cos \delta_{11}) + (F_{x12} \sin \delta_{12} + F_{y12} \sin \delta_{12}) \right] l_1 + (F_{x22} - F_{x21}) b_2 - (F_{y21} + F_{y22}) l_2 + F_{ky1} l_{k1} + F_{wy1} l_{w1} \end{cases} \quad (1)$$

Các thông số kỹ thuật của xe ĐXSMMR 4 cầu gồm XĐK 2 cầu MAZ 543203-220 [3] và SMMR 2 cầu có ký hiệu DV-CSKS-400NA [4] được chọn làm đối tượng nghiên cứu.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC ĐOÀN XE SƠ MI RƠ MOOC

Nhóm tác giả lựa chọn phương pháp tách cấu trúc hệ nhiều vật thực hiện việc tách các phần cấu trúc riêng thông qua các điểm liên kết. Tại các liên kết khi tách cấu trúc, ta thay các lực hoặc mô men có cùng trị số, khác chiều và cùng phương, hướng dương là hướng của chuyển động. Với mỗi phần tách cấu trúc dùng phương trình Newton-Euler [4] có thể thiết lập phương trình mô tả chuyển động. ĐXSMMR được tách thành hai phần tương ứng với hai hệ quy chiếu cục bộ là $C_1 x_1 y_1$ ứng với xe đầu kéo (XĐK) và $C_2 x_2 y_2$ ứng với sơ mi rơ moóc (SMMR) đặt tại các trọng tâm như hình 2, từ đó thành lập được hệ phương trình mô tả chuyển động ĐXSMMR trong mặt phẳng đường được viết riêng cho từng phần.



Hình 2. Mô hình động lực học ĐXSMMR trong mặt phẳng đường

Hệ phương trình mô tả chuyển động SMRM:

$$\begin{cases} M_2 \ddot{x}_2 - M_2 \dot{y}_2 \dot{\psi}_2 = F_{kx2} + F_{x31} + F_{x32} + F_{x41} + F_{x42} - F_{wx2} \\ M_1 \ddot{y}_1 - M_1 \dot{x}_1 \dot{\psi}_1 = F_{ky2} + F_{y31} + F_{y41} + F_{y42} - F_{wy2} \\ J_{z1} \ddot{\psi}_1 = (F_{x32} - F_{x31}) b_3 - (F_{x42} - F_{x41}) b_4 - F_{ky2} l_{k2} - (F_{y31} + F_{y32}) l_3 - (F_{y41} + F_{y42}) l_4 + F_{wy2} l_{w2} \end{cases} \quad (2)$$

Các ngoại lực và mô men bên trái bao gồm: F_{kx1} , F_{ky1} , F_{kx2} , F_{ky2} là lực liên kết tại khớp nối được tính từ giả thiết khớp nối dạng lý tưởng [5]; F_{xij} , F_{yij} là các lực từ đường tác dụng lên bánh xe dẫn hồi được xác định qua mô hình lớp phi tuyến sử dụng hàm mẫu Ammon [6]; F_{wx1} , F_{wy1} , F_{wx2} , F_{wy2} là các lực cản khí động; b_1 , b_2 , b_3 , b_4 là vết tiếp xúc tại các cầu xe; l_1 , l_{k1} , l_{k2} là khoảng cách từ các trọng tâm của từng xe đến các cầu xe i và khớp nối tương ứng; l_{w1} , l_{w2} là khoảng cách từ trọng tâm xe đến tâm đặt lực khí động tương ứng.

Việc xác định vị trí trọng tâm $C_m(X_m, Y_m)$ của từng xe ($m = 1$: XĐK; $m = 2$: SMRM) phụ thuộc vào giải hệ phương trình vi phân (1) và (2), tọa độ các điểm giới hạn $P_{ij}(X_{ij}, Y_{ij})$ (như hình 2) của từng xe trong hệ quy chiếu cố định như sau:

$$\begin{cases} X_m = \int (\dot{x}_m \cos \psi_m - \dot{y}_m \sin \psi_m) dt \\ Y_m = \int (\dot{x}_m \sin \psi_m + \dot{y}_m \cos \psi_m) dt \\ X_{ij} = X_m + (-1)^{i-1} L_{ij} \cos \psi_m - (-1)^j B_{ij} \sin \psi_m \\ Y_{ij} = Y_m + (-1)^{i-1} L_{ij} \sin \psi_m - (-1)^j B_{ij} \cos \psi_m \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó:

$i = 1; 2$: Các vị trí giới hạn trước và sau của XĐK;

$i = 3; 4$: Các vị trí giới hạn trước và sau của SMRM;

$j = 1; 2$: Các vị trí giới hạn trái và phải của từng vị trí i ;

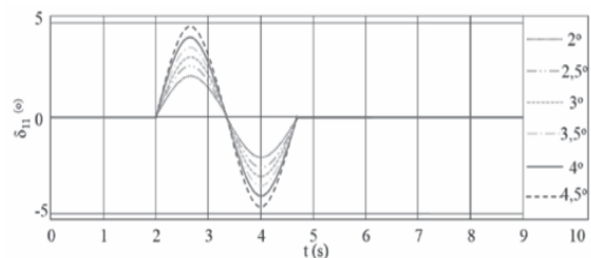
L_{ij} : Khoảng cách từ trọng tâm C_m đến điểm P_{ij} theo phương dọc xe, m ;

B_{ij} : Khoảng cách từ trọng tâm C_m đến điểm P_{ij} theo phương ngang xe, m .

3. KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

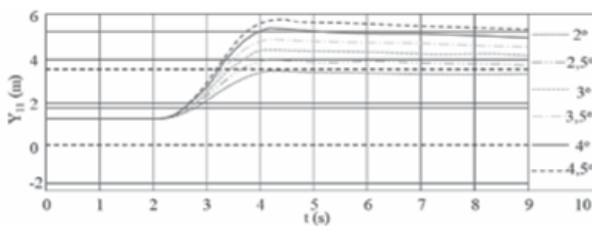
Từ hệ phương trình vi phân đã được thiết lập ở mục 2, kết hợp sử dụng phần mềm Matlab-Simulink, thiết lập các khối mô phỏng mô hình động lực học của ĐXSMMR. Các thông số kết cấu được xác định từ ĐXSMMR gồm XĐK 2 cầu MAZ 543203-220 và SMRM 2 cầu DV-CSKS-400NA [7].

Nghiên cứu khảo sát trạng thái chuyển làn đường đơn với các vận tốc 50km/h ở góc lái dạng Sin đơn dạng mở [8], biên độ góc lái $\delta A = [2^\circ; 0,5^\circ; 4^\circ]$ với tần số đánh lái $f = 0,37$ Hz (thời gian đánh lái một chu kỳ Δt bằng 2,7s) như hình 3. Khoảng δA được lựa chọn khảo sát với mục tiêu có các phương án khảo sát cho kết quả chuyển làn đường đúng, vi phạm trong, vi phạm ngoài để đánh giá ổn định quỹ đạo của ĐXSMMR khi chuyển làn đường đơn. Lựa chọn đường phẳng cấp thiết kế III với bề rộng một làn đường là 3,5m theo TCVN 4054:2005 [9] với hệ số bám $\varphi_{x\max}$ bằng 0,5; Đánh giá sự vi phạm làn đường thông qua tọa độ ngang Y_{ij} của các điểm giới hạn phải, trái, trước, sau P_{ij} của từng xe như biểu diễn trên hình 4 ÷ 11.

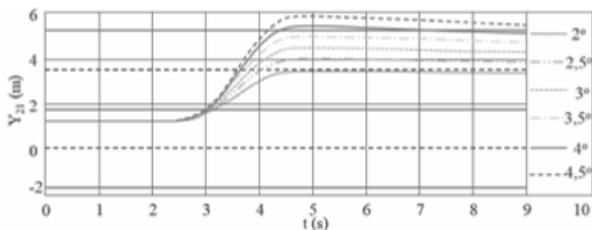


Hình 3. Quy định đánh lái sin đơn cho góc quay bánh xe dẫn hướng bên trái δ_{11}

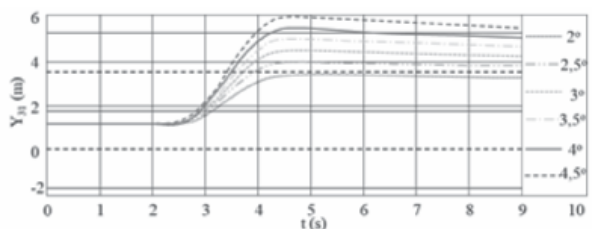
Khi chuyển làn đường, sự thay đổi các thông số động học dẫn đến các thông số động lực học thay đổi. Sự thay đổi tải trọng động các bánh xe ảnh hưởng trực tiếp đến chuyển động của ĐXSMMR. Khi biên độ δA càng lớn thì sự thay đổi tải trọng càng lớn. Trong giai đoạn tăng góc lái (góc lái dương) thì tải trọng bánh xe bên trái tăng dần, tải trọng bánh xe bên phải giảm dần. Các tải trọng khi khảo sát đều chưa giảm về 0, tức là chưa có hiện tượng tách bánh xe. Đoàn xe không bị mất ổn định lật ngang.



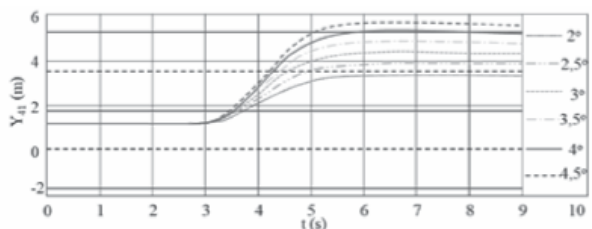
Hình 4. Đồ thị tọa độ ngang Y_{11} của điểm P_{11}



Hình 5. Đồ thị tọa độ ngang Y_{21} của điểm P_{21}



Hình 6. Đồ thị tọa độ ngang Y_{31} của điểm P_{31}



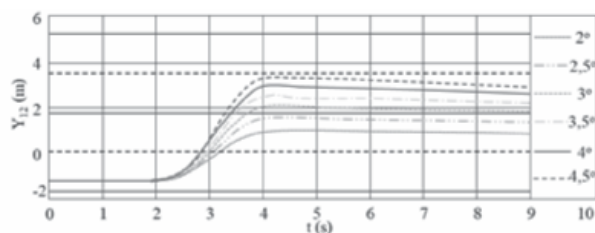
Hình 7. Đồ thị tọa độ ngang Y_{41} của điểm P_{41}

Tọa độ ngang của các trọng tâm XĐK và SMRM cho thấy, khi tăng δA thì dịch chuyển ngang tăng lên. Chuyển làn đường đúng là quá trình chuyển làn khi vị trí của trọng tâm xe sẽ bằng đúng tâm làn đường mong muốn (chuyển làn đường lý tưởng). Trong thực tế, đoàn xe rất khó bám hoàn toàn theo đường mong muốn. Quá trình chuyển làn đường là thừa (overshoot) khi tọa độ trọng tâm các xe lớn hơn tọa độ của làn đường mong muốn. Còn chuyển làn đường thiếu (undershoot) thì ngược lại. Các khảo sát cho thấy, với δA bằng $3,5^\circ$, tọa độ trọng tâm gần bám với đường mong muốn. Tức là tọa độ ngang của cả XĐK và SMRM đều gần bám với đường mong muốn, tuy nhiên sau đó thì có xu hướng bị hướng vào trong một chút. Điều này là do quy luật đánh lái dạng không phản hồi. Đối với quá trình đánh lái có phản hồi (close loop) thì người lái sẽ đánh lái bám theo làn đường với một quy luật gần với đường Sin đơn có thay đổi theo điều kiện đường. Đối với các trường hợp δA nhỏ thì ĐXSMMR bị chuyển làn đường thiếu; δA lớn thì ĐXSMMR bị chuyển làn đường thừa. Nhưng vấn đề đặt ra là chuyển làn đường thừa hoặc chuyển làn đường thiếu bao nhiêu thì xe không bị vi phạm làn đường.

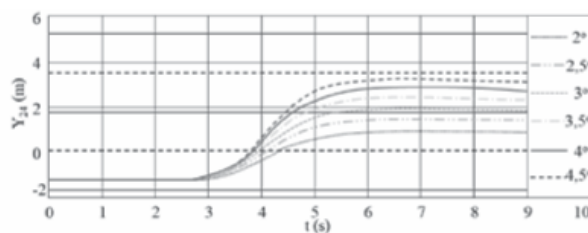
Xét các chỉ tiêu giới hạn ngoài ($\max Y_{i1}$) từ hình 4 đến hình 7 cho thấy: Sự vi phạm ngoài xảy ra khi đánh lái với δA bằng 4° thì xảy ra vi phạm làn đường ngoài ở các điểm giới hạn P_{11} , P_{21} , P_{31} . Còn với δA bằng $4,5^\circ$ thì sự vi phạm ngoài xảy ra ở cả 4 điểm giới hạn.

Trong đó, sự vi phạm xảy ra sớm nhất ở điểm P_{11} , đánh giá qua vị trí Y_{11} (đồ thị hình 4). Sự vi phạm ngoài dẫn đến khả năng xe bị va chạm với thành, lề đường... dẫn đến các trạng thái mất ổn định nguy hiểm.

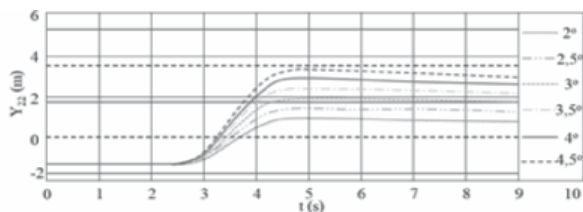




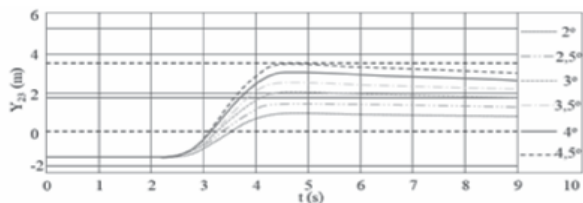
Hình 8. Đồ thị tọa độ ngang Y_{12} của điểm P_{12}



Hình 11. Đồ thị tọa độ ngang Y_{42} của điểm P_{42}



Hình 9. Đồ thị tọa độ ngang Y_{22} của điểm P_{22}



Hình 10. Đồ thị tọa độ ngang Y_{32} của điểm P_{32}

Với các điểm giới hạn trong, sự vi phạm xảy ra khi biên độ góc lái δA là không đủ lớn. Với δA bằng 2° và $2,5^\circ$ thì các điểm giới hạn P_{12} đều bị vi phạm trong. Sự vi phạm trong dẫn đến một phần đoàn xe vẫn chưa chuyển sang được làn đường mong muốn. Điều đó có thể dẫn đến sự va chạm với các phương tiện cùng chiều trong làn đường di chuyển hoặc phương tiện đi ngược chiều.

Bảng 1. Bảng tổng hợp các chỉ tiêu theo biên độ góc lái

Chỉ tiêu \ $\delta A(^{\circ})$	2	2,5	3	3,5	4	4,5
$\max Y_{11}(\text{m})$	3,414	3,93	4,434	4,921	5,387	5,817
$\max Y_{21}(\text{m})$	3,375	3,879	4,371	4,848	5,304	5,727
$\max Y_{31}(\text{m})$	3,389	3,902	4,402	4,886	5,349	5,778
$\max Y_{41}(\text{m})$	3,337	3,827	4,302	4,76	5,196	5,598
$\max Y_{12}(\text{m})$	0,915	1,433	1,937	2,426	2,892	3,324
$\max Y_{22}(\text{m})$	0,875	1,379	1,871	2,348	2,804	3,227
$\max Y_{32}(\text{m})$	0,912	1,426	1,928	2,414	2,88	3,311
$\max Y_{42}(\text{m})$	0,857	1,347	1,822	2,28	2,716	3,118
$\max Y_1(\text{m})$	2,123	2,626	3,117	3,592	4,046	4,468
$\max Y_2(\text{m})$	2,097	2,587	3,062	3,52	3,956	4,359
Thời điểm vi phạm (s)	4,252(P12)	4,26(P12)	x	x	3,982(P11)	3,734(P11)
Kết luận	Vi phạm trong	Vi phạm trong	Đạt	Đạt	Vi phạm ngoài	Vi phạm ngoài

Sự vi phạm làn đường ngoài thường xảy ra với các biên độ góc lái δA lớn. δA càng lớn thì sự vi phạm ngoài càng nhiều. Sự vi phạm này bắt đầu ở các điểm trước trái (P_{11}) của XĐK, sau đó mới đến các điểm giới hạn dưới. Khi bị vi phạm làn đường ngoài thì các điểm giới hạn vượt quá làn ngoài, dẫn đến xe có khả năng bị va chạm với thành lề đường...

Sự vi phạm làn đường trong thường xảy ra với các biên độ δA nhỏ. δA càng nhỏ thì sự vi phạm trong càng nhiều. Sự vi phạm này bắt đầu ở các điểm trước phải (P_{12}) của XĐK. Khi bị vi phạm làn đường trong thì các điểm giới hạn không vượt qua được làn đường cũ, điều đó có thể gây ra sự va chạm với các phương tiện đi cùng chiều (nếu đoàn xe đang vượt) hoặc các phương tiện đi ngược chiều (nếu đoàn xe đang tránh xe khác).

Như vậy, 6 trường hợp khảo sát với các biên độ đánh lái δA từ 2° đến $4,5^\circ$ thì có thể xác định được với 3° và $3,5^\circ$ thì ĐXSMMR không bị vi phạm làn đường. Tuy nhiên, để xác định được chính xác khoảng δA để ĐXSMMR còn chuyển làn đường được (chuyển làn đường đủ) thì cần khảo sát rất nhiều các giá trị δA hoặc sử dụng phương pháp gần đúng.

Với phương án khảo sát này có thể xác định được khoảng giá trị biên độ đánh lái δA ở vận tốc xe 50km/h và tần số đánh lái là 0,370Hz mà ĐXSMMR có thể chuyển làn đường được từ 2,9240 đến 3,8530 và khoảng hệ số tương đương đảm bảo là từ 0,67 đến 0,679 [10].

4. KẾT LUẬN

Khi chuyển làn đường, người lái cần có điều khiển tùy theo trạng thái thực tế của xe. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chuyển làn đường của ĐXSMMR. Bài báo đã trình bày mô hình động lực học hai dây của ĐXSMMR bằng phương pháp hệ nhiều vật và hệ phương

trình Newton – Euler kết hợp mô phỏng số thông qua phần mềm Matlab-Simulink.

Khảo sát với quy luật đánh lái Sin đơn cho các trạng thái chuyển làn đường đơn. Khi chuyển làn đường đơn với các biên độ đánh lái cao, ĐXSMMR có khả năng bị vi phạm làn đường ngoài. Ở các biên độ đánh lái thấp, ĐXSMMR bị vi phạm làn đường trong.

Với phương pháp khảo sát trên, có thể khảo sát xác định được vùng điều khiển nhiều thông số để xe có thể chuyển làn đường mà không bị va chạm với lề đường hoặc các phương tiện khác, làm cơ sở cho hệ thống lái tự động khi chuyển làn đường. ♦

Ngày nhận bài: 22/6/2023

Ngày phản biện: 07/7/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Năm 2015: *Lượng xe container tại TPHCM tăng gần 50%* (2016). Nguồn: <http://www.thesaigontimes.vn/142839/Nam-2015-Luong-xe-container-tai-TPHCM-tang-gan-50.html>.
- [2]. *Gia tăng tai nạn giao thông do xe container, xe đầu kéo* (2020). <https://vovgiaothong.vn/gia-tang-tngt-do-xe-container-xe-dau-keo-siet-khau-nao-cho-trung-d14519.html>.
- [3]. 8.685 người chết vì tai nạn giao thông năm 2016 (2017). Nguồn: <http://nld.com.vn/thoi-su-trong-nuoc/8685-nguoi-chet-vi-tai-nan-giao-thong-trong-nam-2016-20170104101534277.html>.
- [4]. Michael Blundell and Damian Harty, 2014. *Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*. Elsevier's Science and Technology Right Department, Oxford, UK.
- [5]. Dieter Schramm, Manfred Hiller, Roberto Bardini, 2014. *Vehicle Dynamic-Modeling and Simulation*. Springer, USA.
- [6]. Dieter Ammon, 2013. *Modellbildung und Systementwicklung in der Fahrzeugtechnik*. BG Teubner.
- [7]. Nguyễn Tiến Dũng, Võ Văn Hường, 2017. *Xây dựng mô hình động lực học nghiên cứu ổn định hướng xe bán moóc khi quay vòng*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số tháng 03 năm 2017.
- [8]. ISO14791, 2000. *Road vehicles – Heavy commercial vehicle combinations and articulated buses – Lateral stability test methods*. Switzerland.
- [9]. Tiêu chuẩn Việt Nam, 2005. *TCVN4054 – Đường ô tô – Yêu cầu thiết kế* (Highway - Specifications for design), Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội.