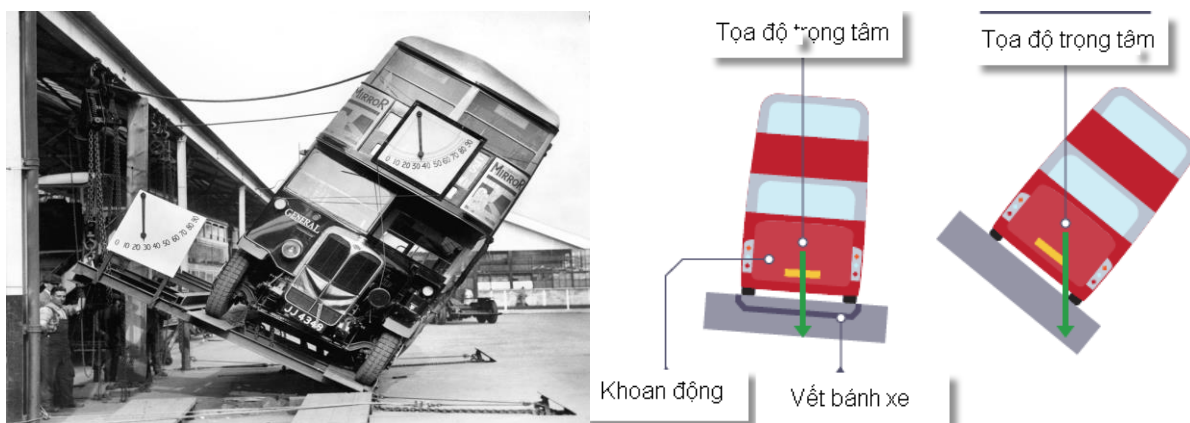


PHÂN TÍCH CÁC NGUY HIỂM KHI VÀO ĐƯỜNG CONG VÀ MÔ PHỎNG ỔN ĐỊNH CỦA XE BUS 2 TẦNG BẰNG PHẦN MỀM CRASH 9.0

Bùi Văn Tấn (tổng hợp và dịch)

1. Đặt vấn đề

Khi các tình huống giao thông quan trọng được phân tích, đặc biệt chú ý đến quy luật của xe bus hai tầng trong việc điều khiển, chuyển động tuyến tính. Do vị trí cao của dòng xe bus như vậy, thậm chí giá trị của tốc độ tương đối thấp xe cũng dẫn đến nguy cơ đáng kể của xe bus mất ổn định dưới tác động của lực bên. Bài báo trình bày một cách tiếp cận phân tích để chuyển động xe bus theo đường cong (vào cua) và một mô phỏng máy tính (phần mềm **Crash 9.0**) của quá trình tránh một chướng ngại vật tức thì. Ở giai đoạn đầu, các mối nguy hiểm gặp phải khi di chuyển dọc đường cong (vào cua) với bán kính không đổi đã được phân tích; sự chuyển động dọc theo một cung vào cua với bán kính tự động thay đổi đã được xét đến ở giai đoạn thứ hai. Phân tích rủi ro của xe bus tránh được trở ngại là một mô hình động lực chuyển động xe bus 12^0 . Các tính toán được thực hiện với việc sử dụng một mô hình xe bus hai tầng và một mô hình trình điều khiển xe bus, thích nghi với tình huống giao thông được phân tích.



Hình 1. Lịch sử kiểm tra ổn định ngang các xe bus 2 tầng

Trong những năm gần đây, ngày càng nhiều sự chú ý đến kiến thức và các yếu tố gây ra các tình huống nguy hiểm trong hoạt động xe cơ giới. Để phân tích các vấn đề liên quan, kết quả của việc thử nghiệm các phương tiện và mô hình xe được lấy làm cơ sở.

Xe bus hai tầng tạo thành một nhóm phương tiện cơ giới riêng biệt; chúng ta đang có nhu cầu ngày càng tăng do khả năng vận chuyển hành khách cao của chúng. Số lượng tầng đôi được sử dụng trong giao thông liên thành phố đang gia tăng nhanh chóng. Do đó, nghiên cứu trở nên cần thiết để nhận biết các đặc điểm đặc trưng của quy luật của những chiếc xe đó trong các điều kiện giao thông quan trọng. Tuy nhiên, khả năng thử nghiệm xe hai tầng trong điều kiện rủi ro cao bị giới hạn bởi thiết bị sẵn có thấp và chi phí thử nghiệm cao. Do vậy, rất khó để tìm ra những dữ liệu đáng tin cậy để điều chỉnh các tình huống trước khi xảy ra tai nạn của những chiếc xe đó và để khám phá quá trình di chuyển xe bus hai tầng.

Trong số các yếu tố gây ra các tình huống nguy kịch trong hoạt động của xe cơ giới, những điều đáng nói đến đầu tiên là những người đi bộ băng ngang đường, hoặc bao gồm cả việc tránh một chướng ngại vật đột ngột xuất hiện [18].

Các tình huống quan trọng trong chuyển động vào cua thường được phân tích theo quan điểm của việc cải thiện các mô hình mô phỏng hệ thống hỗ trợ lái xe cho xe chở khách, xe thể thao đa dụng (SUV) và xe vận tải nhẹ (LTV); với một chiếc xe có quỹ đạo xác định trước [2, 5, 7, 15]. Các quá trình di chuyển các xe ô tô và xe đặc biệt cũng được kiểm tra bằng cách phân tích quy luật của các mô hình vật lý di động được điều khiển từ xa được thu nhỏ lại từ những chiếc xe đó [14, 19]. Các công trình liên quan đến các phân tích về hiểm họa tai nạn và cải tiến hệ thống bảo vệ hành khách của xe bus [6, 10, 11, 16] có thể được xem xét như một nhóm riêng biệt.

Mặt khác, thiếu các công trình nghiên cứu các quá trình tạo ra các mối nguy trong chuyển động cong của xe bus hai tầng và có các giải pháp kỹ thuật cũng như các quy phạm kiểm tra hợp lý điều kiện hoạt động của các phương tiện này, để huấn luyện các lái xe bus về việc giảm thiểu nguy cơ mất an toàn. Từ quan điểm này, một yếu tố quan trọng cũng là vị trí rất thấp của ghế lái xe ở tầng hai (dưới sàn tầng dưới), do đó người lái xe không thể phát hiện sớm các mối nguy hiểm. Số liệu thống kê về tai nạn xác nhận rằng các vụ tai nạn nghiêm trọng nhất (tức là các sự kiện có số thương vong cao nhất) là những vụ tai nạn xe bus xảy ra [10].

Một đặc điểm nổi bật của những vụ tai nạn này là hầu hết chúng đều xảy ra mà không va chạm với các phương tiện khác hoặc các chướng ngại trên đường [6]. Đối với tai nạn do xe bus, tỷ lệ số người chết đến số vụ tai nạn là 1,5 so với số ca tử vong do tai nạn xe bus [6]; đối với số người bị thương nặng, tỷ lệ này là 1,8.

2. Giải pháp

Trong thực tế, một chỉ số được gọi là SSF (Static Stability Factor) [7] được sử dụng làm điểm xuất phát để xác định nguy cơ di chuyển xe. Chỉ tiêu này được tính từ các thông số thiết kế của xe:

$$SSF = \frac{Bk}{2Hs} \quad (1)$$

Trong đó;

Bk: Vết bánh xe

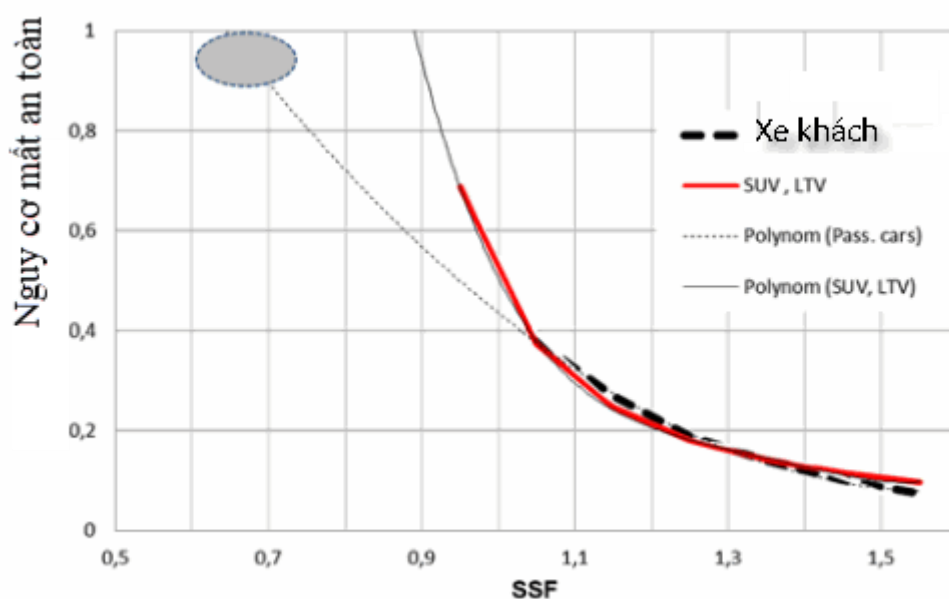
Hs: Cao độ trọng tâm của xe bus 2 tầng.

Các giá trị tính toán đã được đưa ra trong bảng 1. Nếu thấp hơn các giá trị này thì nguy cơ mất ổn định rất cao [18]. Do đó, nguy cơ là rất cao đối với tầng hai, được xác nhận bởi số liệu thống kê về tai nạn đường bộ [1, 10, 11]. Mối quan hệ ước tính giữa nguy cơ rơi le của xe và giá trị SSF được minh họa trong Hình 1. Rủi ro do di chuyển thể hiện tỷ lệ số vụ tai nạn xe cộ qua lại với tổng số xe bị tai nạn với xe cộ thuộc loại đang được xem xét.

Bảng 1: Giá trị SSF đối với dòng xe khách

Loại phương tiện cơ giới	Giá trị SSF
Xe bus thông thường (1 tầng, thấp)	1.2÷1.55
Xe thể thao đa dụng SUV, tải nhẹ	1.0÷1.2
Bus đầu nhọn	0.85÷1.0
Bus 2 tầng	0.6÷0.75

Rủi ro được tính toán khi tính đến các trường hợp không có xe khác.



Hình 2. Nguy cơ lật với giá trị SSF. Khu vực bóng mờ là dự đoán cho xe bus 2 tầng

Với xe ô tô chở khách (đường nét đứt) và SUV và LTVs cùng nhau (đường liền) [1, 7]. Trong bài báo, các kết quả phân tích các vấn đề liên quan đến SUV và LTV đã được phân tích theo hình thức của một vào của hồi quy, được vẽ với việc sử dụng một mô hình phân tích hồi quy, làm cho nó có thể tính được dự đoán dựa trên tai nạn đường bộ (được gọi là "rollrate", được phân biệt với rủi ro di chuyển trong không gian thực)

$$\text{Rollrate} = \frac{1}{1 + e^{C_1 + C_2 \ln(\text{SSF} - 0.9)}} \quad (2)$$

$$C_1 = 2.7546 \text{ và } C_2 = 1.1814$$

Vào của hồi quy phụ thuộc vào giá trị SSF (màu đỏ đậm) cũng đã được thể hiện trong hình 1, nơi có hai đường nét đã được bổ sung để đại diện cho kết quả của phép tính ngoại suy của các tác giả được thực hiện với việc sử dụng các dữ liệu được đưa ra trong các ấn phẩm [1] và [7]. Những chỉ số rủi ro khi xe di chuyển vào của này được mô tả trong Bảng 2.

Bảng 2: Phương trình hồi quy và ước lượng chỉ số rủi ro xe di chuyển.

Phương trình hồi quy cho dự báo nguy cơ mất ổn định	Hệ số xác định R ²	Nguồn dữ liệu
$RW = 1.045SSF^2 - 3.312SSF + 2.702$	0.999	Đường nét đứt , tài liệu [1]
$RW = 14.989SSF^4 - 81.179SSF^3 + 164.87SSF^2 - 149.18SSF + 50.999$	0.998	Đường nét liền , tài liệu [7]

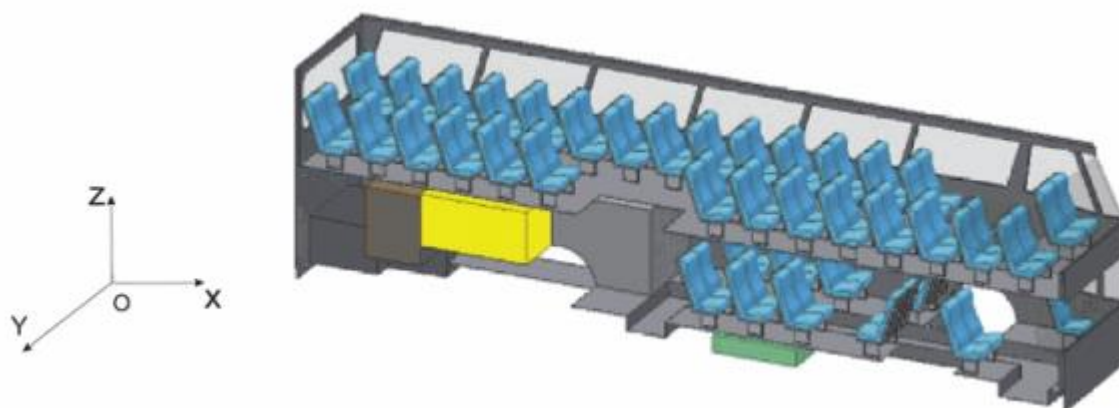
Khi ngoại suy từ những dữ liệu này đến khu vực giá trị SSF tương ứng với xe bus hai tầng, người ta có thể rút ra kết luận rằng nguy cơ lật xe bus hai tầng cao gấp gần **03** lần so với rủi ro di chuyển cho xe ô tô chở khách. Điều này rõ ràng làm nổi bật mức độ rủi ro tái đầu tư phải đổi mặt bởi xe bus hai tầng.

3. Chuẩn bị một mô hình tĩnh

Chủ yếu, sự lặn bánh xe là do các lực bên ngoài (thường là lực quán tính) xảy ra khi thực hiện các cung đường phức tạp. Nghiên cứu về vấn đề này có thể dựa trên tính toán phân tích và mô phỏng máy tính và chúng chủ yếu nhằm:

Xác định giá trị quan trọng của tốc độ xe; lấy thông tin về các yếu tố hoạt động của xe, có thể cho thấy mỗi nguy hiểm đang nổi lên cho người lái xe ngay cả trước khi đạt được giá trị quan trọng của góc nghiêng của xe bus.

Để tính toán, phải chuẩn bị một bộ dữ liệu đáng tin cậy, đặc trưng cho các tính năng thiết kế quan trọng của xe bus hai tầng. Tuy nhiên, dữ liệu cần thiết rất khó thu được. Trong trường hợp này, một mô hình tĩnh của bus được xem xét đã được xây dựng cho các giá trị cần thiết của các tham số mô tả thiết kế bus được xác định theo [17]. Mô hình này được sử dụng để xác định tọa độ trung tâm của xe và các moment quán tính trung tâm của thân xe bus có và không có hành khách (kèm hành lý) với độ chính xác tốt nhất có thể. Mô hình tĩnh được xây dựng trên cơ sở phân tích xây dựng các xe bus hai tầng. Nó bao gồm một số chất rắn có hình học và sự phân bố khối lượng tương ứng với các thành phần xe bus chính; là điểm khởi đầu, đã sử dụng các thông số kỹ thuật sẵn có của xe bus SkylinerL, TD925 và B9TL6x2 [4, 21]. Việc xây dựng chung của mô hình tĩnh đã được thể hiện trong hình 3.



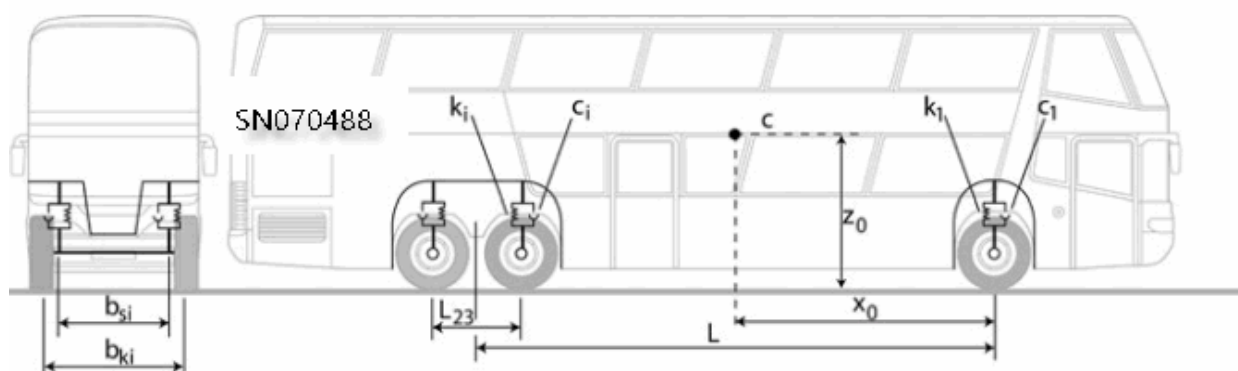
Hình 3. Mô hình khối và ghế ngồi ở trạng thái tĩnh (không người ngồi)

Bảng 3. Giá trị của các thông số thiết kế của mô hình hai tầng có và không có hành khách (+ hành lý)

Chiều dài	14m	Khoảng cách trục 1-2	6.9m
Cao	4.2m	Khoảng cách trục 2-3	1.3m
Rộng	2.5m		
Xe bus không có hành khách, khối lượng 17225 kg		Mô men quán tính của xe	
X0	5.28m	I_x	35,000 kg.m ²
Y0	0	I_y	298,000 kg.m ²
Z0	1.45m	I_z	288,000 kg.m ²
Xe bus có hành khách, khối lượng 25,000 kg			
X0	5.25m	I_x	49,000 kg.m ²
Y0	0	I_y	411,000 kg.m ²
Z0	1.73m	I_z	396,000 kg.m ²

4. Mô hình dao động của hệ thống treo

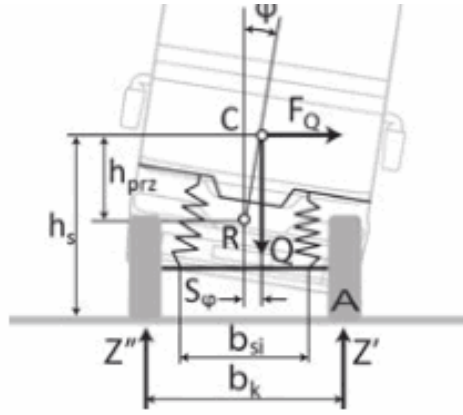
Một giai đoạn riêng biệt của các tính toán sơ bộ được dành cho việc xác định độ cứng và các hệ số giảm chấn cho hệ thống treo từng trục xe. Các tính toán đã được thực hiện với việc sử dụng một mô hình các rung động dọc và góc của một chất rắn thể hiện các khung xe gác trên ba trục, cụm trục sau 2 và 3 cùng nhau được thay thế bằng một trục tương đương nằm tại một khoảng thời gian của L từ trục trước của xe bus (Hình 4).



Hình 4 Mô hình tính toán hệ thống treo

Bảng 4. Dữ liệu điểm khởi đầu được sử dụng để tính toán các đặc tính của hệ thống treo xe bus; ký hiệu "W0" chỉ ra tập các dữ liệu danh nghĩa

Bus 2 tầng không có hành khách	Giá trị W0 của hệ thống treo
Biến dạng tĩnh của hệ thống treo	150mm
Bus 2 tầng có hành khách	
Biến dạng tĩnh của hệ thống treo	190mm



Hình 5. Lật ngang của thân xe được giữ bởi hệ thống treo dưới tác dụng của các lực ngang tác động đến trọng tâm xe

$$M_{spr} = \left[2 \sum_i^n \left(k_i \frac{b_{si}^2}{4} + k_{si} \right) \right] \phi = k_\phi \phi \quad (4)$$

Trong đó:

k_i, b_{si} ; Xem hình 4 và 5

k_{si} ; Độ cứng thanh xoắn trên trục thứ i

$k_\phi = f(\psi)$: Độ cứng góc của thân xe ứng với góc lật ψ

$$S(\psi) = h_{prz} \cdot \psi \quad (5)$$

Chuyển đổi ta có:

$$\psi \cong \frac{F_Q h_{prz}}{k_\phi - Q h_{prz}} \quad (6)$$

Quá trình di chuyển xe dưới tác động của ly tâm được bắt đầu bởi thực tế là các giá trị của các phản ứng bình thường Z tiếp cận bằng không (Hình 5). Nó xuất phát từ phương trình cân bằng các moment được tính liên quan đến điểm A trong hình 5.

$$F_Q h_s - Q \left(\frac{b_K}{2} - s_\psi \right) = 0 \quad F_Q = \frac{Q v^2}{g R} \quad (7)$$

Sự thay thế của (5) và (6) vào phương trình trên tạo ra:

$$\frac{Q v^2}{g R} h_s - Q \frac{b_K}{2} + Q h_{prz} \frac{\frac{Q v^2}{g R} h_{prz}}{k_\phi - Q h_{prz}} = 0 \quad (8)$$

Dựa vào đó, giá trị lớn nhất của tốc độ xe V_{MAX} đã được xác định sao cho vượt quá giới hạn này sẽ dẫn đến việc bắt đầu quá trình lật:

$$v_{MAX} = \sqrt{b_K g R \frac{k_\phi - Q h_{prz}}{2h_s (k_\phi - Q h_{prz}) + 2Q h_{prz}^2}} \quad (9)$$

Ở bước tiếp theo, quá trình tăng góc nghiêng ngang, dẫn đến sự lắn bánh xe (Hình 6). Đặc biệt, tốc độ v_{kr} (cao hơn V_{max}) được xem xét, thân xe sẽ đạt đến trạng thái cân bằng không ổn định (Hình 6b).

Sự chuyển tiếp từ vị trí thể hiện trong hình 5 sang hình 6b là kết quả của công việc được thực hiện bằng lực F_Q , tức là:

$$\Delta F_Q = \frac{m v_{kr}^2}{R} - \frac{m v_{MAX}^2}{R} = \frac{m}{R} (v_{kr}^2 - v_{MAX}^2) \quad (10)$$

Bây giờ, giá v_{kr} sẽ được xác định:

$$v_{kr} = \sqrt{\frac{2Rg}{b_K} (r_W - h_S) + v_{MAX}^2} \quad (11)$$

Các phương trình trên được sử dụng để tính toán phân tích, kết quả cho phép đánh giá các tính chất chức năng và rủi ro mà xe gặp phải trong chuyển động vào cua. Các tính toán đã được bắt đầu bằng việc xác định tốc độ xe tại đó xảy ra sự trượt ngang bánh xe chủ động [16].

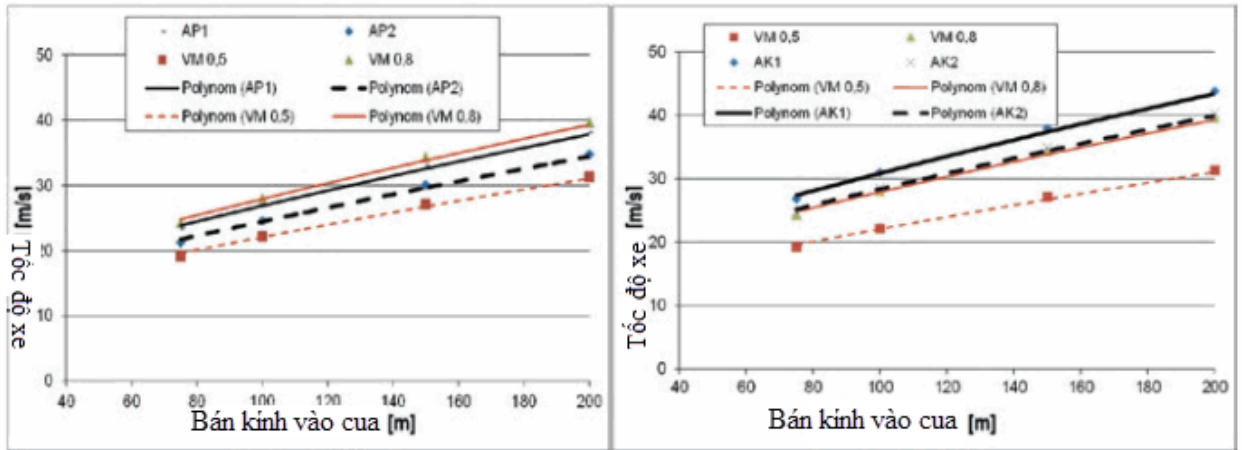
$$v_M = \sqrt{\beta_N g R} \quad \beta_N = \gamma_1 \mu \frac{L - x_0}{L} + \gamma_2 \frac{x_0}{L} \sqrt{\mu^2 - \gamma_{N2}^2} \quad (12)$$

Trong đó:

R: bán kính cua của mặt đường.

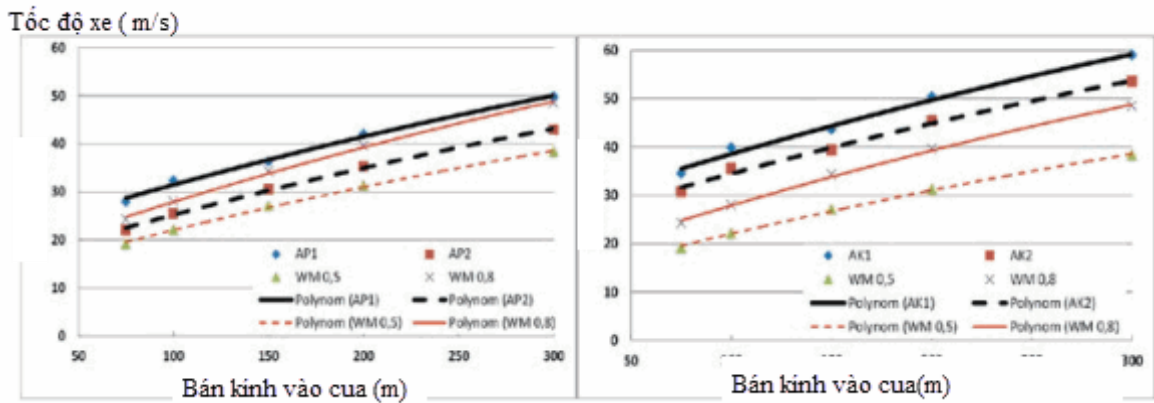
γ_i : hệ số do tải trọng quá mức ở trục thứ I gây ra bởi các lực chuyển động

Kết quả là V_{max} được tính theo phương trình (9). Các giá trị tốc độ MAX cho biết sự khởi đầu của quá trình nhấc bánh xe ở phía của xe bus, nơi tải tác động lên bánh xe bị giảm đi do tác động của lực bên. Những kết quả này đã được so sánh với kết quả tính toán tốc độ xe v_M mà tại đó diễn ra sự trượt ngang. Tốc độ gây trượt phụ được xác định do hai giá trị của hệ số độ bám của lốp xe bus trên bề mặt đường, tức là $\mu = 0,5$ và $\mu = 0,8$ (được biểu thị bằng "VM 0,5" và "VM 0,8" trong Hình 7).



Hình 7. Vận tốc v_{MAX} (đường đậm) khi bánh xe bị nhấc lên và v_M bắt đầu có sự trượt ngang với bán kính quay vòng của xe, với đường xấp xỉ AP1, AP2 xe bus 2 tầng lúc không có và có hành khách.

Một tính năng quan trọng của quy luật chuyển động của xe bus hai tầng có thể được nhìn thấy rõ ràng ở đây: trong khi di chuyển dọc theo vào cua, tốc độ xe bus phạm vi mà trượt ngang và lật bắt đầu trùng lặp với nhau. Đây là một sự khác biệt có ý nghĩa trong quy luật của xe hai tầng so với xe bus thông thường, trong đó các khoảng tốc độ này khác nhau (xem Hình 7 và 8). Sự khác biệt về quy luật của xe bus trong một tình huống nguy hiểm có một tác động đáng kể đến sự an toàn của xe, đặc biệt là khi các tài xế lái các loại xe bus khác nhau.



Hình 8. Tốc độ di chuyển quan trọng v_{kr} (đường đậm) và tốc độ khởi đầu bên v_M (đường màu đỏ nhạt) với bán kính của quỹ đạo xe bus; cho đồ thị đánh dấu xem hình 7

Trong Hình 8, các đường đậm AP1 và AP2 đại diện cho sự thay đổi trong các giá trị của tốc độ tới hạn của một xe bus hai tầng so với bán kính cua. Các giá trị này chắc chắn là thấp hơn (khoảng 10m / s) so với các giá trị được xấp xỉ (các đường đậm AK1 và AK2).

Để so sánh chi tiết hơn các quy luật của xe bus 2 tầng và một xe bus thông thường trong các tình huống nguy hiểm khi vào cua, tham khảo các giá trị số được đưa ra trong các bảng 6 và 7.

Bảng 6. Các giá trị đặc trưng của tốc độ xe bus v_{MAX} với v_{kr} [m / s] trên đường cong

Mô tả	Giá trị bán kính của R=100	Giá trị bán kính của R=200
Xe bus đưa đón học sinh, tốc độ tại đó bánh xe bị nhấc lên + Khi không có hành khách + Khi có hành khách		
	30.9	43.7
	28.4	40.2
Xe bus 2 tầng, tốc độ tại đó bánh xe bị nhấc lên + Khi không có hành khách + Khi có hành khách		
	26.9	38.1
	24.9	35.2
Xe bus đưa đón học sinh, tốc độ tại đó xe đạt giới hạn lật + Khi không có hành khách + Khi có hành khách		
	36.8	52.1
	34.1	48.2
Xe bus 2 tầng, tốc độ tại đó xe đạt giới hạn lật + Khi không có hành khách + Khi có hành khách		
	32.4	45.8
	30.0	42.5

Bảng 7. Các giá trị góc nghiêng tới hạn cho các xe bus đang được xem xét

Loại xe bus	Cao độ trọng tâm xe	Góc lật tới hạn
Loại thông thường	1.1÷1.3	38÷45
Loại 2 tầng	1.4÷1.7	31÷48

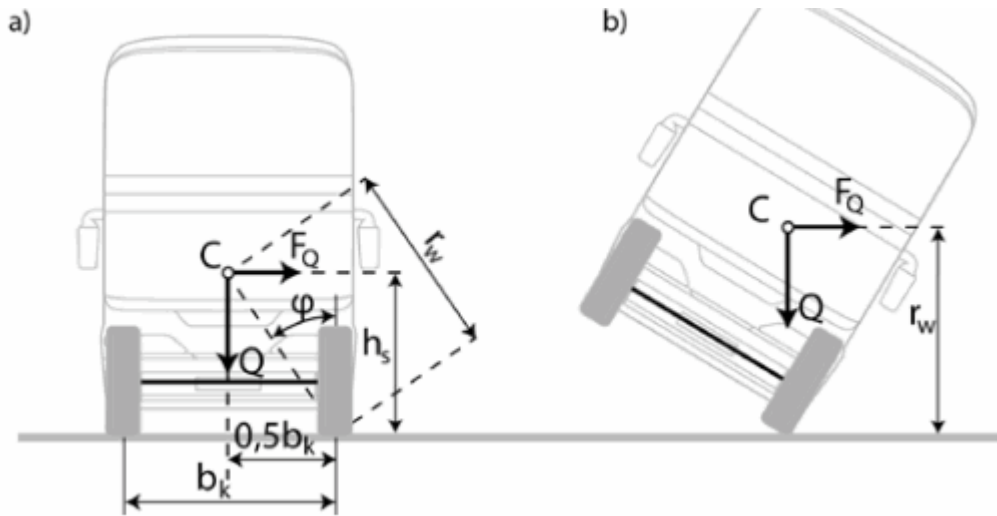
Kết quả tính toán này (Bảng 5) được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho tính toán của mô hình chuyển động của mô hình xe bus để tránh chướng ngại xuất hiện đột ngột.

Việc thực hiện tiêu chí an toàn khi xe chạy được thể hiện qua ví dụ. thực tế là tần số của rung động thẳng đứng và góc cạnh tự do của thân xe bus đã được tính giá trị trong khoảng từ 1 đến 1,6 Hz. Việc mô tả các tính toán chi tiết trong phạm vi này đã được bỏ qua ở đây.

5. Quá trình tính toán

Kết quả nghiên cứu quy luật của xe bus hai tầng trong những tình huống nguy hiểm trong chuyển động vào cua, các tính toán phân tích đã được thực hiện. Mục tiêu là để ước tính, đối với chiếc xe di chuyển dọc theo vào cua, các giá trị giới hạn tốc độ

vượt quá giới hạn như vậy sẽ dẫn đến các tình huống quan trọng sau đây: trượt ngang các bánh xe phía sau, bánh xe một phía bị nâng lên, khung xe nghiêng đến trạng thái không cân bằng - cân bằng (Hình 6b).



Hình 6. Vị trí xe trong quá trình lật; a- vị trí quá độ, b- vị trí không cân bằng

Tại các phân tích của loại này, ngay lập tức của nâng bánh xe là trong phần lớn các trường hợp được thực hiện như là sự bắt đầu của quá trình xe rollover ở bên. Hệ thống các lực ứng dụng cho mô hình tĩnh mô tả xe bus chạy dọc theo vào cua đã được thể hiện trong hình 5.

$$F_Q \cdot h_{prz} + Qs_{\phi} = M_{spr} \quad (3)$$

M_{spr} : Moment chống uốn của hệ thống treo

Bảng 5. Các đặc tính tính toán của hệ thống treo xe bus trong trạng thái "W0"

Đặc tính hệ thống treo trên bus 2 tầng khảo sát	Đơn vị	Xe không có khách	Đầy khách
Hệ số độ cứng treo được tính toán ở vị trí cân bằng tĩnh trên trục 1,2,3	kN/m	339; 395; 395	387; 452; 452
Tỉ số giảm chấn tới hạn, gamma		0.44	0.36
Tần số giao động tự do(chiều đứng) của thân xe	Rad/s	8.09	7.00
Tần số giao động uốn của thân xe	Rad/s	6.58	5.73

6. Tình huống trên đường và mô hình trình điều khiển

Kết quả của việc tăng cường mật độ giao thông và tốc độ lái xe, động cơ tránh được một khung xe đã thành linh xuất hiện trở nên khó thực hiện một cách an toàn. Vấn đề này liên quan đến việc lưu thông xe chở khách đã được nghiên cứu trong nghiên cứu được mô tả trong bài báo [5], trong đó cho thấy cơ chế cản trở chương ngại vật có thể trở nên thuận lợi hơn là phanh. Trong suốt quá trình di chuyển để tránh chương ngại vật, chiếc xe đi theo quỹ đạo bao gồm các phần đường cong có bán kính cong khác nhau. Đối với việc cơ động được thực hiện, một mô hình điều khiển tự động thay đổi góc quay của vành tay lái.

Các mô hình trình điều khiển được thông qua được thiết kế để làm theo một quỹ đạo xe bus hiện tại. Các thí nghiệm và các phép đo được thực hiện trong công việc được mô tả trong [3] đã cho phép ước lượng phạm vi thay đổi trong các tham số mô tả các hành động của lái xe trong suốt quá trình ma-noeuvre để tránh trở ngại. Đối với mục đích này, đã được thông qua, một mô hình điều khiển PID với bộ điều khiển dẫn xuất rời rạc hợp lý, trong đó góc quay cực đại của bánh lái và bánh xe bánh lái lên đến 50° và 25° , tương ứng, và chúng có thể đạt được trong khoảng thời gian 1 giây.

7. Mô hình động lực học động lực học

Việc này tập trung vào việc xe di chuyển trên một đoạn ngang bằng phẳng của một đường hai làn xe, không có sườn dốc, rộng 7 m và với vệ đường cứng. Mô hình thể hiện minh họa trong hình 9

Một chương ngại vật đột nhiên xuất hiện trên làn đường xe bus - Ngay khi gặp trở ngại mà người lái xe thấy, khoảng cách giữa xe bus và chương ngại vật ngắn hơn khoảng cách xe bus tối thiểu đạt được; Xe bus chỉ có thể vào được làn liền kề trong một khoảng thời gian ngắn hơn 3-4 giây.

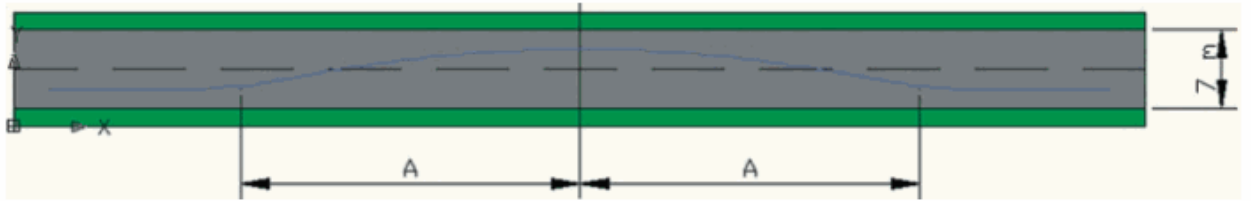
$$\left\{ \begin{array}{l} m\ddot{x} = \sum_{i=1}^n F_{xi} \\ m\ddot{y} = \sum_{i=1}^n F_{yi} \\ m\ddot{z} = \sum_{i=1}^n F_{zi} \\ I_x \dot{\omega}_{x'} + I_z \omega_y \omega_{z'} - I_y \omega_y \omega_{z'} = \sum_{j=1}^k M_{x'j} \\ I_y \dot{\omega}_{y'} + I_z \omega_x \omega_{z'} - I_x \omega_x \omega_{z'} = \sum_{j=1}^k M_{y'j} \\ I_z \dot{\omega}_{z'} + I_y \omega_x \omega_{y'} - I_x \omega_x \omega_{y'} = \sum_{j=1}^k M_{z'j} \end{array} \right. \quad (13)$$

Quy luật của xe bus ở đầu vào được áp dụng bởi mô hình điều khiển phụ thuộc vào sự tương tác giữa lớp xe và mặt đường [8]. Mô tả các lực tác động lên lớp xe dựa trên mô hình lớp bán tổng hợp có tên TMeasy [20], cho phép ước tính lực và thời gian thực tế được tạo ra bởi lớp dựa trên các đặc tính trượt trượt đã xác định trước lớp khí nén. Trong mô hình TMeasy, các đặc tính của phản ứng dọc X_k so với phiều dọc và các phản ứng bên Y K so với phiều phía trên được tính đến. Trong công việc này, các đặc tính nói trên được xác định bằng việc sử dụng kết quả thử nghiệm lớp 255/70 R22.5 [9]. Các giá trị của các phản ứng bề mặt đường trên mỗi bánh xe được xác định tại mỗi bước tính toán trong hệ tọa độ $\{Sxyz\}$, phù hợp với trạng thái hiện tại của chuyển động và với hệ số độ bám dính của cục bộ được tính đến, tức là:

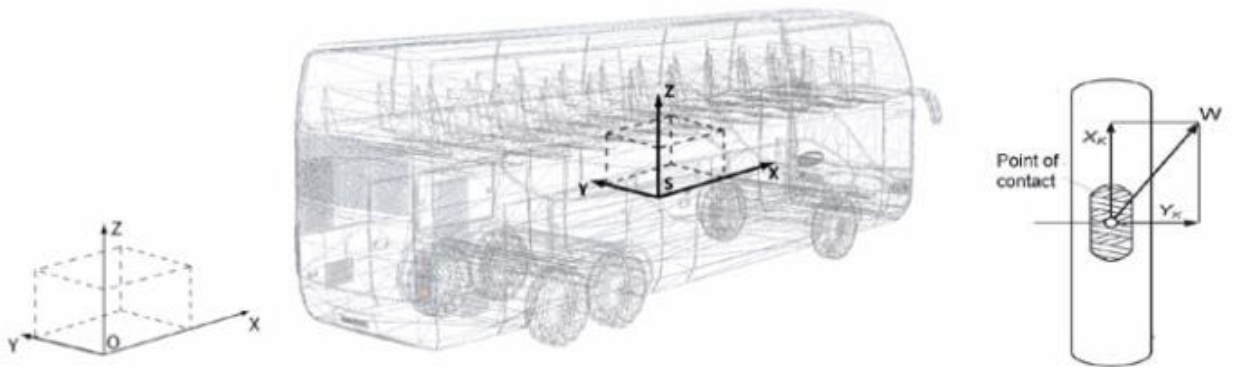
$$\sqrt{X_k^2 + Y_k^2} = W; \quad W \leq \mu Z_k \quad (14)$$

Việc phân tích quy luật của xe bus khi một trở ngại xảy ra khi khởi động nhanh chóng được dựa trên các tính toán mô phỏng được thực hiện với việc sử dụng phần mềm máy tính Crash 9.0. Chương trình này không chỉ có thể mô phỏng sự di chuyển

của một chiếc xe bus trên bánh xe mà còn để mô phỏng quá trình di chuyển xe và sự di chuyển của xe bus trượt ngang hoặc lật của xe [11, 20].



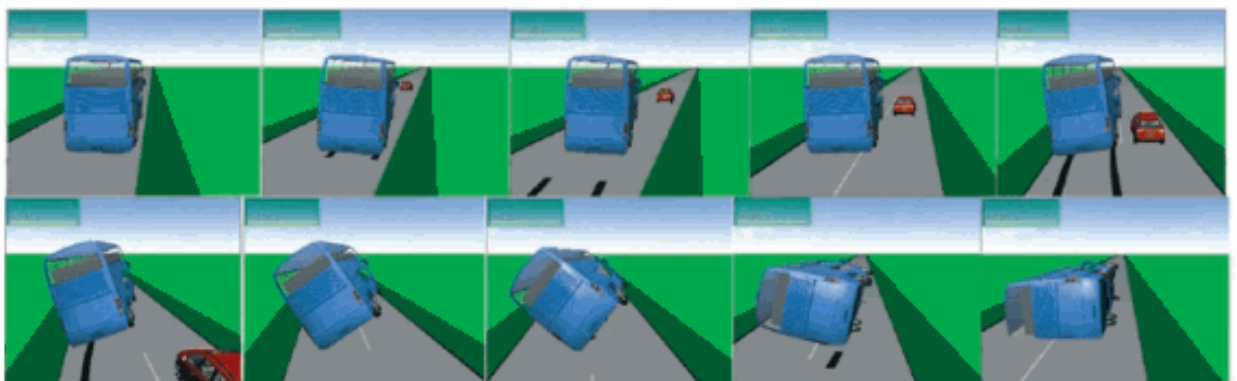
Hình 9. Mô hình hóa đường đi của xe bus trên đường



Hình 10. Mô hình khung xe tham chiếu hướng phản lực tại các điểm tiếp xúc giữa lốp và mặt đường

Tình huống trên đường của xe được trình bày trong Hình 9 cho thấy đường viền của trung tâm xe bus khối lượng, nơi $A = 30$ m. Quỹ đạo này được biểu diễn bởi đường màu đỏ trong Hình.11. Các khung tham chiếu được chấp nhận khi xây dựng mô hình động lực chuyển động của xe bus đã được thể hiện trong hình 10.

Trình tự của các bức ảnh được trình bày trong Hình 11 cho thấy quá trình cuộn xe bus đi trước bằng các bánh xe phía sau đáng kể của bánh xe phía sau (vết lõm bóng tối) và tăng độ nghiêng của thân xe bus. Các kết quả tính toán đã được chỉ ra khi mà các đặc tính đã chọn của hệ thống treo và lốp xe được coi là danh nghĩa (W_0).



Hình 11. Hình ảnh thu được từ phần mềm mô phỏng Crash 9.0, xe di chuyển ở tốc độ 82km/h. đầy hành khách

8. Kết luận ban đầu

Không dễ dàng xác định mối quan hệ trực tiếp giữa các kết quả mô phỏng và các tính toán phân tích và một số nhận xét phải được thêm vào đây liên quan đến vấn đề này:

Các tính toán phân tích chỉ áp dụng cho chuyển động ổn định, cơ cấu đang được xem xét là quá phức tạp mà nó cho thấy những ảnh hưởng thuận lợi và không thuận lợi của các quá trình sinh động diễn ra (bao gồm những kết quả từ những phản ứng mạnh mẽ của mô hình trình điều khiển), đặc biệt là các quy trình trượt lốp, trượt phụ trục bánh xe và thân xe bus nghiêng lên xe bus.

Cơ cấu đang được xem xét là quá phức tạp mà nó cho thấy những ảnh hưởng thuận lợi và không thuận lợi của các quá trình sinh động diễn ra (bao gồm những kết quả từ những phản ứng mạnh mẽ của mô hình trình điều khiển), đặc biệt là các quy trình trượt lốp, trượt phụ trục bánh xe và thân xe bus nghiêng lên xe bus.

Một phân tích các thay đổi trong các thông số đặc trưng được chọn để phân tích quy luật của một xe bus hai tầng đã dẫn đến những phát hiện sau (xem Bảng 8 và 9):

- Các giá trị cực trị của góc trượt - δ_M đối với các bánh xe trục bánh xe tương đương và gia tốc bên của B của trung tâm xe bus khối lượng tăng lên với tốc độ xe bus tăng;
- Gia trị tới hạn sai lệch của quỹ đạo xe bus hiện tại từ tốc độ hiện tại bắt đầu tăng nhanh với tốc độ 106 ÷ 108 km / h đối với xe bus không có hành khách và 81 ÷ 82 km / h đối với xe bus nạp đầy hành khách;
- Khoảng cách đi đến của xe bus với tốc độ gần giá trị quan trọng từ ngay khi bánh xe bus được nâng lên đến ngay khi góc độ nghiêng của xe bus đạt đến giá trị criti-cal là 12 đến 15 m và thời gian đi du lịch này khoảng cách là 0,4 đến 0,6 s, tùy thuộc vào tốc độ của bus;
- Quá trình rollover được tiến hành trước bởi sự nâng lên bánh xe phía sau trên một bus, đã xảy ra ở tốc độ thấp hơn 6 ÷ 12 km / h so với tốc độ cuộn tới hạn.

Bảng 8. Tóm tắt các giá trị đặc trưng của tốc độ bus [km / h], được xác định từ mô phỏng máy tính của cơ chế tránh chướng ngại vật

Tốc độ MIN của xe bus 2 tầng khi	Không có hành khách	Có hành khách
Bánh xe bị nhấc lên (km/h)	102÷104	74÷76
Tốc độ tại đó xe bắt đầu lật [km/h]	109÷110	82÷84
Đường đi của xe bus thực tế đã vượt quá đường hiện tại hơn 1 m [km / h]	106÷108	81÷82
Giá trị cực đoan của góc trượt cho các bánh xe trục bánh xe tương đương vượt quá 6 độ [km / h]	93÷95	74÷76
Giá trị cực trị của góc nghiêng của xe bus đã vượt quá 30 độ [km / h]	108÷109	82÷84
Gia tốc bên của trung tâm thân xe bus đã vượt quá 6 m / s ² [km / h]	104÷106	80÷81

Trong các tính toán phân tích được thực hiện cho sự chuyển động của xe bus dọc theo đường cong, quá trình cuộn xuống cũng được tìm thấy trước khi khởi động bánh xe trên một bên xe bus, xảy ra ở tốc độ thấp hơn $10 \div 15$ km / h so với trọng số tốc độ rollover (Bảng 9).

Bảng 9. Tóm tắt các giá trị đặc trưng cho chuyển động xe bus dọc theo đường cong với $R=100m$

Giá trị MIN của xe bus 2 tầng khi	Không có hành khách	Có hành khách
Bánh xe bị nhấc lên[km/h]	97÷101	86÷90
Tốc độ tại đó xe bắt đầu lật [km/h]	111÷115	90÷94

- Các tính toán được thực hiện đã cho thấy những điều dưới đây liên quan đến các tính năng và giá trị đặc trưng của quy luật bus:
- Tốc độ chuyển đổi xe bus quan trọng là $82 \div 110$ km/h, chưa tính đến hành khách (giá thấp nhất và cao nhất của tốc độ này áp dụng cho xe bus tải đầy hành khách và xe bus không có hành khách, tương ứng).
- Phân tích các kết quả tính toán là một nguồn thông tin quan trọng về quá trình di chuyển của tầng hai và nó chỉ ra những mối nguy hiểm rất nghiêm trọng gặp phải bởi các xe bus như vậy, liên quan đến các giá trị thấp của chỉ số SSF. Các tính toán đã xác nhận rủi ro di chuyển cao (RW) mà xe bus hai tầng được trình bày trong các điều kiện giao thông đường bộ.

Chúng tôi vừa giới thiệu đến bạn đọc nội dung được trích dẫn trong tạp chí *Maintenance and Reliability* <http://www.ein.org.pl/> của tác giả *Leon Prochowski* và *Karol Zielonka* về tính toán mô phỏng độ ổn định của dòng xe bus 2 tầng tại Ba Lan. Bài báo đã đưa ra nhưng kết luận ban đầu về tốc độ, khả năng ổn định hướng và ổn định lật của dòng xe này, tác giả xin giành phần liên hệ với xe bus 2 tầng tại Việt Nam để các bạn bàn luận.

Maintenance and Reliability 2014; 16 (4); Leon prochowski vs karol zielonka Military University of Technology ul. Gen. S.Kaliskiego, 00-908 Warsaw, Poland Automotive Industry Institute (PIMOT) ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warsaw, Poland E-mail: lprochowski@wat.edu.pl

Tài liệu tham khảo

1. Boyd P L. NHTSA`S NCAP Rollover Resistance Rating System. 19th Conference ESV. Proceedings No 05-0450. Washington, 2005.
2. Chen B. Human-in-the-loop Optimization of Vehicle Dynamics Control with Rollover Prevention. Vehicle System Dynamics 1999; 4: 285-297.
3. Ciępka P, Reza A, Zębala J, Wolak S. Manewr omijania – parametry ruchu (The manoeuvre of passing a stationary obstacle: the parameters of motion). VIII Konferencja Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych (8th Conference Problems of the Reconstruction of Road Accidents). Cracow: Institute of Forensic Research, 2002: 201-215

4. Double Deck Intercity Coach Td925, www.abc-companies.com.
5. Eckert A, Hartmann B, Rieth D, Peter E. Emergency Steer Assist – Advanced Driver Assistance. FISITA Congress 2010, 1: 1463-1473.
6. Langwieder K, Gwehenberger J, Bende J. Coaches and Buses in the Accident Scene Results of a Study Regarding Passenger Protection. 33th Meeting of Bus and Coach Experts International Conference on Vehicle Safety and Reliability, Hungary 2002.
7. Liebemann E K., Meder K, Schuh J., Nenninger G. Safety and Performance Enhancement: The Bosch Electronic Stability Control (ESP). 19th Conference ESV. Proceedings No 05-0471. Washington, 2005.
8. Lozia Z. Analiza ruchu samochodu dwuosiowego na tle modelowania jego dynamiki (Analysis of motion of a two-axle automotive vehicle against the background of modelling of its dynamics). Warsaw: Publishing House of the University of Technology, Prace Naukowe – Transport z41, 1998.
9. Luty W, Prochowski L. Modelowanie charakterystyk przyczepności ogumienia samochodów ciężarowych (Modelling of adhesion characteristics of motor truck tyres). Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 2002; 1: 37-47.
10. Matolcsy M. The Severity of Bus Rollover Accidents. 20th Conference ESV. Proceedings No 07-0989. Lyon, 2007.
11. Mayrhofer E, Steffan H, Hoschopf H. Enhanced Coach and Bus Occupant Safety. 19th Conference ESV. Proceedings 05-0351. Washington, 2005.
12. Mc Murtry M, Knipling R, Harwood D. Compatibility of Trucks and Buses with the Roadway Environment. Transportation Research. Report No. E-C 117. USA, 2007.
13. Merkisz J, Tarkowski S. Selected Aspects of Using Deck Recorders in Automotive Vehicles. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2011; 2: 50-58.
14. Parczewski K, Wnęk H. Utilization of the Car Model to the Analysis of the Vehicle Movement After the Curvilinear Track. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2010, 4: 37-46.
15. Peng H, Eisele D D. Vehicle Dynamics Control with Rollover Prevention for Articulated Heavy Trucks. Proceedings of 5th International Symposium on Advanced Vehicle Control, University of Michigan, Ann Arbor. Michigan USA, 2000.
16. Prochowski L, Kozioł S. Zagrożenia w ruchu pojazdów z wysoko położonym środkiem masy (Traffic hazards posed by vehicles with highly located centre of mass). Problemy Eksploatacji 2011; 2: 297-308.
17. Prochowski L, Lisicki J, Lisicki S. Raport: Obliczenia położenia środka masy i momentów bezwładności autobusu piętrowego. Projekt Nr N N509 502438. (Report: Calculation of the location of the centre of mass and the moments of inertia of a double-deck bus. Project No. N N509 502438). Warszawa: Wydawnictwo PIMOT, 2010.

18. Prochowski L, Zielonka K, Muszyński A. Analysis of the Process of Double-Deck Bus Rollover at the Avoidance of an Obstacle Having Suddenly Sprung up. Journal of KONES Powertrain and Transport 2012; 3: 371-380.
19. Romaniszyn K. Mobile model for the investigation of dynamics of motor vehicles. The Archives of Automotive Engineering 2013, 1: 153-164.
20. Steffan H, Moser A. How to Use PC-CRASH to Simulate Rollover Crashes. SAE Paper 2004-01-0341. USA, 2004.
21. www.neoplan-bus.com; www.volvobus.com; www.abc-companies.com.

- Xem thêm các thử nghiệm ổn định ngang xe bus 2 tầng và bus sàn cao:

1. <https://www.youtube.com/watch?v=DA-yNwbed-0>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=nQMuY8jNHdw>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=bS7YZgHCUOc>