

MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ AN TOÀN ĐAI AN TOÀN TRONG VẬN HÀNH PHƯƠNG TIỆN CƠ GIỚI

Lương Quý Hiệp¹, Vũ Huy Hoà²

TÓM TẮT

Trong bối cảnh gia tăng sử dụng các phương tiện cơ giới trong lĩnh vực công nghiệp và vận tải, vấn đề đảm bảo an toàn cho người vận hành ngày càng trở nên quan trọng, đặc biệt trong các tình huống va chạm. Đai an toàn là một trong những giải pháp cơ bản nhưng hiệu quả nhằm giảm thiểu chấn thương cho người lái. Tuy nhiên, hiệu quả bảo vệ của hệ thống này phụ thuộc vào đặc tính động lực học và điều kiện làm việc cụ thể của phương tiện. Bài báo trình bày việc xây dựng mô hình động lực học của hệ thống đai an toàn cho người lái và ứng dụng phần mềm Matlab/Simulink để mô phỏng, đánh giá các đặc trưng làm việc của hệ thống trong điều kiện va chạm. Các chỉ tiêu được phân tích bao gồm gia tốc, lực dây đai, tốc độ nén và biến dạng lồng ngực tại các vận tốc va chạm khác nhau (25 km/h và 60 km/h). Kết quả mô phỏng cho thấy các thông số động lực học thay đổi đáng kể theo vận tốc va chạm, trong đó một số đại lượng như biến dạng lồng ngực và lực dây đai có thể vượt ngưỡng an toàn khi vận tốc tăng cao. Trên cơ sở đó, bài báo đưa ra các nhận định và khuyến nghị nhằm góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng đai an toàn, đồng thời giảm thiểu nguy cơ chấn thương cho người vận hành phương tiện cơ giới trong điều kiện thực tế.

Từ khóa: An toàn, đai an toàn, động lực học, mô phỏng.

SIMULATION AND SAFETY ASSESSMENT OF SEAT BELT USE IN MOTOR VEHICLE OPERATION

ABSTRACT

In the context of the increasing use of motor vehicles in industrial production and transportation, ensuring operator safety has become a critical issue, especially under collision conditions. Seat belts are considered one of the most fundamental yet effective solutions for reducing injuries to drivers. However, the protective performance of this system largely depends on its dynamic characteristics and operating conditions. This paper presents the development of a dynamic model of the seat belt system for drivers and the application of Matlab/Simulink to simulate and evaluate its performance under collision scenarios. Key parameters, including acceleration, seat belt force, chest compression velocity, and chest deformation, are analyzed at different impact speeds (25 km/h and 60 km/h). The simulation results indicate that the dynamic parameters vary significantly with impact speed. In particular, some factors such as chest deformation and seat belt force may exceed safety thresholds at higher speeds. Based on these findings, the study provides practical recommendations to enhance the effectiveness of seat belt systems and reduce injury risks for operators of motor vehicles under real operating conditions.

Keywords: Dynamics; Safety; Seat belt; Simulation;

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của lĩnh vực công nghiệp, giao thông vận tải và cơ giới hóa trong nông nghiệp, các phương tiện cơ giới như ô tô, xe tải và xe chuyên dụng ngày càng được sử dụng rộng rãi trong hoạt động sản xuất và vận chuyển hàng hóa. Cùng với sự gia tăng về quy mô khai thác và tốc độ vận hành, nguy cơ xảy ra tai nạn giao thông và va chạm cơ học ngày càng lớn, gây ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn của người điều khiển phương tiện. Theo các nghiên cứu về động lực học ô tô, trong quá trình va chạm, quán tính của cơ thể người tạo ra các chuyển động tương đối lớn giữa người lái và khoang

xe, làm xuất hiện các lực tác động mạnh lên vùng đầu, ngực và cột sống, từ đó gây ra các tổn thương nghiêm trọng nếu không có các hệ thống bảo vệ phù hợp [1].

Trong các hệ thống an toàn bị động trên ô tô, đai an toàn được xem là giải pháp cơ bản nhưng có hiệu quả cao trong việc hạn chế chuyển động quán tính của người lái khi xảy ra va chạm. Cơ chế hoạt động của đai an toàn là phân bố và hấp thụ một phần năng lượng va đập thông qua quá trình biến dạng và giảm chấn, từ đó làm giảm mức độ tổn thương của cơ thể người. Tuy nhiên, hiệu quả bảo vệ của hệ thống đai an toàn phụ thuộc lớn vào đặc tính động lực học của hệ thống người – ghế

¹ Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

² Trường Đại học Thành Đông

ngồi – dây đai cũng như điều kiện va chạm cụ thể như vận tốc đâm va, thời gian va chạm và đặc tính biến dạng của lồng ngực [2].

Nhiều nghiên cứu trước đây đã tập trung xây dựng các mô hình mô phỏng cơ thể người trong quá trình va chạm nhằm đánh giá mức độ tổn thương của người lái. Carneiro và cộng sự [2] đã sử dụng mô hình động lực học nhiều vật để nghiên cứu phản ứng của cơ thể người dưới tác động của hệ thống ghế ngồi và dây đai an toàn. Trong nghiên cứu này, vùng ngực của người lái được mô hình hóa bằng hệ khối lượng – lò xo – giảm chấn nhằm mô tả đặc tính đàn hồi và khả năng hấp thụ năng lượng của lồng ngực trong quá trình va đập. Kết quả cho thấy các thông số như lực dây đai, gia tốc vùng ngực và tốc độ biến dạng có ảnh hưởng trực tiếp đến mức độ chấn thương của người lái.

Bên cạnh đó, các nghiên cứu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn cũng được áp dụng rộng rãi để phân tích khả năng chịu va đập của kết cấu xe và hệ thống an toàn. Usama Idrees và cộng sự [3] đã xây dựng mô hình phần tử hữu hạn để đánh giá va chạm trực diện của khung xe ô tô bằng vật liệu nhẹ. Andrew Hickey và Shaoping Xiao [4] đã sử dụng mô hình mô phỏng va chạm ô tô để đánh giá khả năng hấp thụ năng lượng của hệ thống kết cấu và ảnh hưởng đến an toàn người ngồi trong xe. Ngoài ra, Gulshan Noorsumar và cộng sự [5] đã tổng hợp và phân tích nhiều mô hình toán học đánh giá khả năng chịu va chạm của phương tiện, trong đó nhấn mạnh vai trò của các mô hình động lực học đơn giản hóa trong nghiên cứu nhanh các chỉ tiêu an toàn của cơ thể người.

Mặc dù các nghiên cứu trên đã đạt được nhiều kết quả quan trọng, tuy nhiên phần lớn tập trung vào mô hình va chạm tổng thể của xe hoặc sử dụng mô hình phần tử hữu hạn phức tạp với chi phí tính toán lớn. Các nghiên cứu mô phỏng tương tác giữa cơ thể người và hệ thống đai an toàn dưới dạng mô hình động lực học đơn giản hóa nhằm đánh giá nhanh

các chỉ tiêu tổn thương vùng ngực trong điều kiện vận hành thực tế còn tương đối hạn chế. Vì vậy, trong nghiên cứu này, cơ thể người lái được mô hình hóa bằng hệ khối lượng – lò xo – giảm chấn gồm các phần tử biểu diễn khung xương ngực, cột sống và đặc tính đàn hồi của lồng ngực. Mô hình lực tác dụng lên người lái được trình bày ở Hình 1, trong đó các phương trình động lực học (1), (2), (3), (4) được xây dựng dựa trên nguyên lý cân bằng động lực học và mô hình dao động nhiều bậc tự do của hệ người – dây đai – ghế ngồi [2], [5]. Phương trình giảm tốc của phương tiện trong quá trình va chạm được mô tả bằng hàm thực nghiệm theo công thức (5), thường được sử dụng trong các mô hình mô phỏng va chạm ô tô để biểu diễn sự biến thiên gia tốc theo thời gian va đập [5].

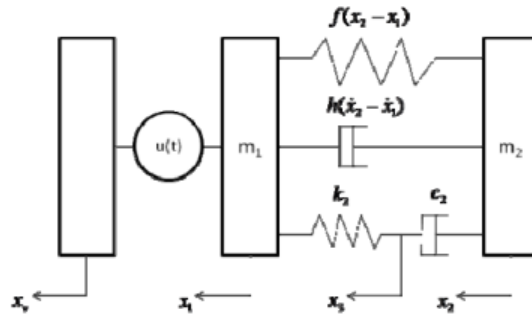
Trong nghiên cứu này, các thông số động lực học của mô hình như khối lượng tương đương vùng ngực, độ cứng lồng ngực, hệ số giảm chấn và các thông số đàn hồi của hệ dây đai được tham khảo và hiệu chỉnh từ các nghiên cứu thực nghiệm và mô hình hóa va chạm đã công bố trước đây [2], [5]. Việc lựa chọn các thông số này nhằm bảo đảm mô hình phản ánh được đặc tính biến dạng và hấp thụ năng lượng của cơ thể người trong quá trình va chạm.

Sự phát triển của các công cụ mô phỏng hiện đại như Matlab/Simulink cho phép xây dựng và giải nhanh các hệ phương trình động lực học phức tạp, đồng thời hỗ trợ đánh giá các kịch bản va chạm với nhiều điều kiện vận hành khác nhau [6]. Trên cơ sở đó, bài báo tập trung xây dựng mô hình động lực học của hệ thống đai an toàn cho người lái và ứng dụng mô phỏng số để phân tích các đặc trưng làm việc của hệ thống trong các điều kiện va chạm khác nhau. Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ cơ chế tác động của đai an toàn đến cơ thể người, đồng thời cung cấp cơ sở tham khảo cho việc đánh giá và nâng cao an toàn vận hành phương tiện cơ giới trong điều kiện thực tế.

Trong đó:

- a_{spine} : gia tốc cột sống ở phía trước
- Δx_{chest} : độ bị nén của khung xương ngực
- Δv_{chest} : tốc độ bị nén của khung xương ngực
- Δx_{ribs} : sự chuyển đổi xương ức ở phía trước, phía trong của xe
- x_{belt} : giới thiệu co rút tại dây đai
- a_{ribs} : gia tốc xương ức ở phía trước
- F_{belt} : Lực dây đai

Khối lượng m_1 biểu diễn khối lượng tương đương của vùng xương sườn và khung xương ngực. Khối lượng m_2 biểu diễn phần khối lượng cơ thể liên kết với vùng ngực thông qua cột sống. Các phần tử đàn hồi và giảm chấn được sử dụng để mô tả khả năng biến dạng và hấp thụ năng lượng của lồng ngực khi chịu tác động của lực dây đai trong quá trình va chạm. Cấu trúc mô hình cơ học được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Mô hình giảm chấn và lò xo mô phỏng đặc tính đàn hồi phù hợp và phân tán của lực khi ngực bị va đập

Động lực học của hệ được xây dựng dựa trên nguyên lý cân bằng lực và phương trình dao động của hệ nhiều bậc tự do. Các phương trình vi phân mô tả chuyển động của hệ được xác định như sau [2], [5]:

$$m_1 \ddot{x}_1 = -u + f(x_2 - x_1) + h(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2(x_3 - x_1) \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = -f(x_2 - x_1) - h(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - c_2(x_3 - x_1) \quad (2)$$

$$m_3 \ddot{x}_3 = -c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - k_2(x_3 - x_1) \quad (3)$$

$$\ddot{x}_v = a(t) \quad (4)$$

Trong đó:

- x_1, x_2, x_3 là chuyển vị của các phần tử khối lượng;
- u là lực tác dụng của dây đai an toàn;
- $f(x_2 - x_1)$ là lực đàn hồi của lồng ngực;
- $h(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)$ là lực cản nhớt của vùng ngực;
- k_2, c_2 là hệ số độ cứng và giảm chấn của hệ liên kết.

Trong mô hình, chuyển động của xe được quyết định bởi qui luật của giảm tốc với các điều kiện đầu là:

$$x_1(0) = 0, \quad x_2(0) = 0, \quad x_3(0) = 0, \quad x_v(0) = 0$$

$$\dot{x}_1(0) = v_0, \quad \dot{x}_2(0) = v_0, \quad \dot{x}_3(0) = v_0, \quad \dot{x}_v(0) = v_0$$

Phương trình (1), (2), (3) được xây dựng nhằm mô tả tương tác động lực học giữa vùng

ngực, cột sống và hệ thống đai an toàn trong quá trình giảm tốc đột ngột của phương tiện. So với các mô hình truyền thống chỉ xét chuyển động tuyến tính đơn giản, mô hình này cho phép đánh giá đồng thời biến dạng lồng ngực, lực dây đai và tốc độ nén vùng ngực theo thời gian va chạm.

Trong nghiên cứu này, quy luật giảm tốc của phương tiện trong quá trình va chạm được mô tả theo dạng hàm thực nghiệm nửa sin, thường được sử dụng trong các nghiên cứu mô phỏng va chạm ô tô nhằm phản ánh đặc tính thay đổi gia tốc theo thời gian va đập [5]. Gia tốc giảm tốc của xe được xác định theo công thức:

$$a(t) = \begin{cases} -A \sin\left(\frac{\pi t}{T_p}\right) & 0 \leq t \leq T_p \\ 0 & t > 0 \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó:

- A là gia tốc cực đại của xe khi va chạm;
- T_p là thời gian va chạm;
- t là thời gian khảo sát.

Biên độ của giảm tốc được xác định bằng công thức:

$$A = \frac{\pi v_0}{2T_p} \quad (6)$$

Với v_0 là vận tốc trước va chạm của phương tiện.

Lực đàn hồi của lồng ngực được tuyến tính hóa theo biểu thức [2], [5]:

$$f(x_2 - x_1) = \begin{cases} k_{11}(x_2 - x_1) & \text{if } 0 \leq (x_2 - x_1) \leq \delta_0 \\ k_{12}(x_2 - x_1) - F_0 & \text{if } (x_2 - x_1) > \delta_0 \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó $F_0 = (k_{12} - k_{11})\delta_0$

Ngoài ra, lực giảm chấn h , tỷ lệ với tốc độ va đập của lồng ngực, được tính như sau:

$$h(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = \begin{cases} c_{11}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) & \text{if } (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \geq 0 \\ c_{12}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) & \text{if } (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Các thông số động lực học sử dụng trong mô hình được tham khảo và hiệu chỉnh từ các nghiên cứu thực nghiệm về mô hình hóa vùng ngực và hệ thống đai an toàn trong va chạm ô tô của Carneiro và cộng sự [2], Gulshan Noorsumar và cộng sự [5], kết hợp với các thông số thường được sử dụng trong mô hình mô phỏng hệ cơ học trên Matlab/Simulink [6]. Các thông số phục vụ mô phỏng được trình bày trong Bảng 1.

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị	Nguồn tham khảo
1.	Khối lượng vùng xương ngực	m_1	0.3	kg	[2], [5]
2.	Khối lượng cơ thể liên kết ngực	m_2	18	kg	[2], [5]
3.	Độ cứng lồng ngực lớn	k_{11}	10522	N/m	[2]
4.	Độ cứng lồng ngực nhỏ	k_{12}	7190	N/m	[2]
5.	Biên dạng ban đầu	δ_0	0.03	m	[2]
6.	Hệ số giảm chấn phục hồi	c_{11}	403.3	N.s/m	[5]
7.	Hệ số giảm chấn nén	c_{12}	2192.1	N.s/m	[5]
8.	Độ cứng hệ lò xo giảm chấn	k_2	13153	N/m	[5], [6]
9.	Hệ số giảm chấn	c_2	175.4	N.s/m	[5], [6]
10.	Hệ số độ cứng hạn chế	k	105	N/m	[6]

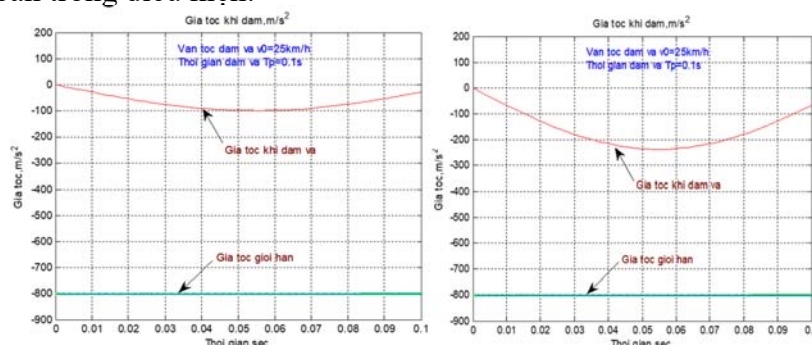
Trên cơ sở mô hình toán học và các thông số đã xác định, nghiên cứu tiến hành xây dựng mô hình mô phỏng trên Matlab/Simulink nhằm đánh giá các chỉ tiêu động lực học của hệ thống đai an toàn trong các điều kiện va chạm với vận tốc khác nhau.

3.2. Kết quả mô phỏng

Tính toán các chỉ tiêu động lực học của hệ thống đai an toàn trong điều kiện:

Vận tốc khi đâm va $v_0 = 25\text{km/h}$, $v_0 = 60\text{km/h}$, thời gian khảo sát $T_p = 0.1\text{s}$. Kết quả thu được biểu diễn dưới dạng đồ thị và bảng số liệu:

3.2.1. Đồ thị gia tốc khi đâm va



a. Vận tốc va chạm $v_0 = 25\text{km/h}$

b. Vận tốc va chạm $v_0 = 60\text{km/h}$

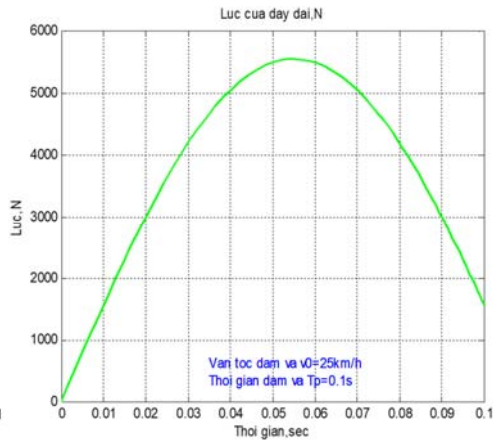
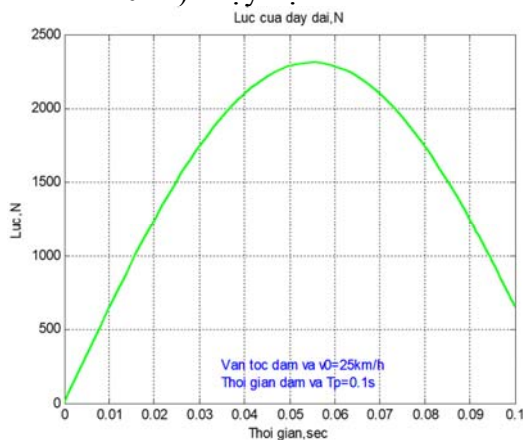
Hình 3. Biểu diễn sự biến đổi của gia tốc ô tô khi đâm va

Quan sát trên Hình 3a ta thấy, trong trường hợp tốc độ trước khi đâm va $v_0 = 25\text{km/h}$ và thời gian va chạm $T_p = 0.1\text{s}$ thì gia tốc đạt giá trị cực đại $a_{\max} = 110\text{m/s}^2$ ($a_{\max} \approx 12g$) ở thời điểm $t=0.05\text{s}$. Sau đó gia tốc giảm dần về không ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$). Trên đồ thị 3.1b ta thấy tốc độ trước khi đâm va thay đổi $v_0 = 60\text{km/h}$ thì gia tốc đạt giá trị cực đại thay đổi và khi đó $a_{\max} = 270\text{m/s}^2$ ($a_{\max} \approx 28g$) Sau đó gia tốc cũng giảm dần về không ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$). Vậy vận tốc trước khi

đâm va thay đổi sẽ dẫn đến gia tốc thay đổi, giá trị cực đại của gia tốc ngược trong giới hạn cho phép ($80g$).

3.2.2. Đồ thị lực của dây đai

Quan sát trên Hình 4a ta thấy, trong trường hợp tốc độ trước khi đâm va $v_0=25\text{km/h}$ và thời gian va chạm $T_p=0.1\text{s}$ thì lực của dây đai đạt giá trị cực đại $u_{\max}=2900\text{N}$ ở thời điểm $t=0.05\text{s}$. Sau đó lực của dây đai giảm dần về không ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$).



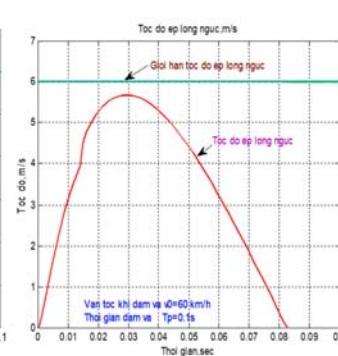
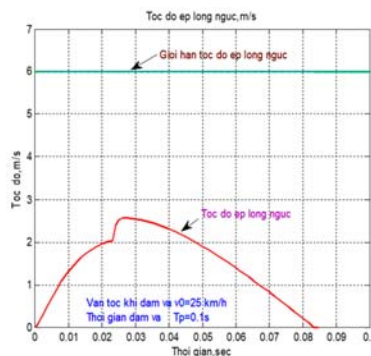
a. Vận tốc và chạm $v_0=25\text{km/h}$ b. Vận tốc và chạm $v_0=60\text{km/h}$

Hình 4. Biểu diễn sự biến đổi lực dây đai khi đâm va

Trên Hình 4b ta thấy tốc độ trước khi đâm va thay đổi $v_0 = 60\text{km/h}$ thì lực của dây đai đạt giá trị cực đại thay đổi và khi đó $u_{\max} = 7000\text{N}$. Sau đó lực của dây đai cũng giảm dần về không ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$).

3.2.3. Đồ thị chuyển vị tốc độ nén lồng ngực

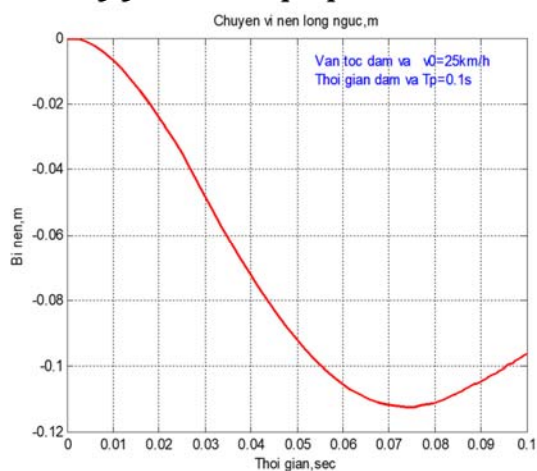
Quan sát trên Hình 5a ta thấy, trong trường hợp vận tốc trước khi đâm va $v_0 = 25\text{km/h}$ và thời gian va chạm $T_p = 0.1\text{s}$ thì vận tốc nén lồng ngực đạt giá trị cực đại $y_{\max} = 2.4\text{m/s}$ ở thời điểm $t=0.04\text{s}$. Sau đó tốc độ nén lồng ngực giảm dần về dưới không $v=-0.02\text{m/s}$ ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$).



a. Vận tốc và chạm $v_0=25\text{km/h}$ b. Vận tốc và chạm $v_0=60\text{km/h}$

Hình 5. Biểu diễn sự biến đổi của tốc độ nén lồng ngực khi đâm va

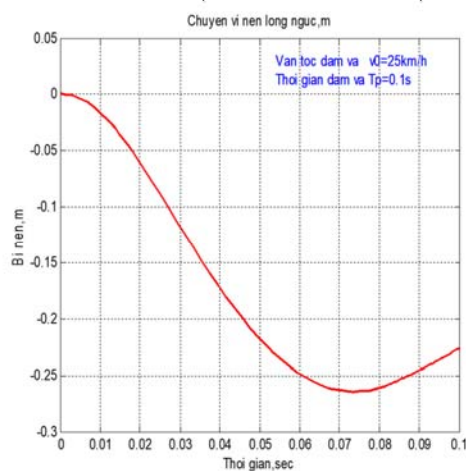
Trên Hình 5b ta thấy vận tốc trước khi đâm va thay đổi $v_0 = 60\text{km/h}$ thì tốc độ nén lồng ngực đạt giá trị cực đại thay đổi và khi đó $v_{\text{max}} = 5.9\text{m/s}$. Sau đó tốc độ ép lồng ngực cũng giảm dần về dưới không $v = -0.1\text{m/s}$ ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$). Như vậy vận tốc trước khi đâm va thay đổi và sẽ dẫn đến tốc độ nén lồng ngực thay đổi giá trị cực đại của tốc độ trong giới hạn cho phép là 6m/s .



a. Vận tốc va chạm $v_0=25\text{km/h}$

3.2.4. Đồ thị chuyển vị biến dạng tuyệt đối của lồng ngực

Quan sát trên Hình 6a ta thấy, trong trường hợp vận tốc trước khi đâm va $v_0 = 25\text{km/h}$ và thời gian va chạm $T_p=0.1\text{s}$ thì biến dạng tuyệt đối của lồng ngực đạt giá trị cực đại (-0.11m) ở thời điểm $t=0.08\text{s}$. Sau đó biến dạng tuyệt đối của lồng ngực tăng dần -0.8m ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$).



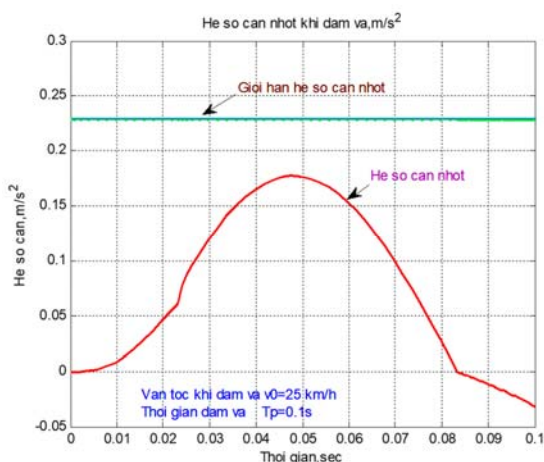
b. Vận tốc va chạm $v_0=60\text{km/h}$

Hình 6. Biểu diễn sự biến đổi của biến dạng lồng ngực khi đâm va

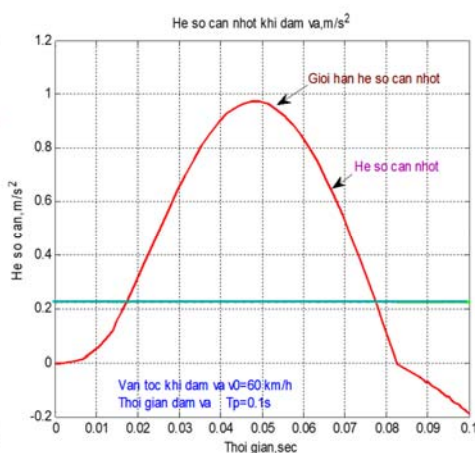
Trên Hình 6b ta thấy vận tốc trước khi đâm va thay đổi $v_0 = 60\text{km/h}$ thì biến dạng tuyệt đối của lồng ngực đạt giá trị cực đại thay đổi và khi đó 0.27m . Sau đó biến dạng tuyệt đối của lồng ngực cũng tăng dần ở thời điểm kết

thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$). Như vậy vận tốc trước khi đâm va thay đổi và sẽ dẫn đến biến dạng tuyệt đối của lồng ngực thay đổi giá trị cực đại của tốc độ.

3.2.5. Đồ thị chuyển vị hệ số cản nhót



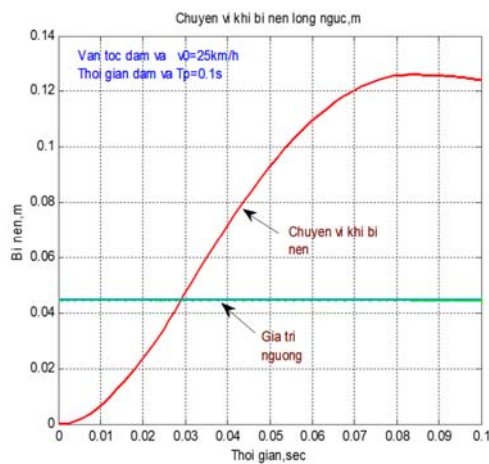
a. Vận tốc va chạm $v_0=25\text{km/h}$



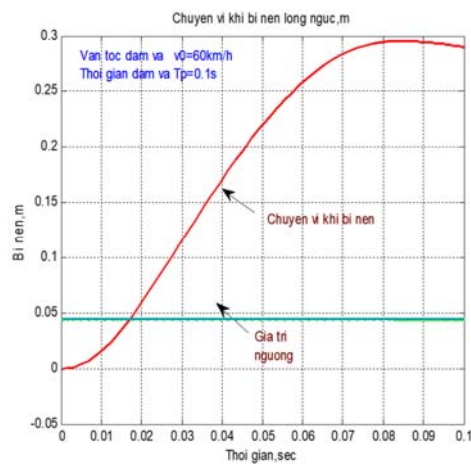
b. Vận tốc va chạm $v_0=60\text{km/h}$

Hình 7. Biểu diễn sự biến đổi của hệ số cản nhót khi đâm va

Trên Hình 7b ta thấy vận tốc trước khi đâm va thay đổi $v_0 = 60\text{km/h}$ thì hệ số cản nhót của lồng ngực đạt giá trị cực đại thay đổi bằng $1.18\text{m}^2/\text{s}$. Sau đó biến dạng tuyệt đối của lồng ngực cũng giảm dần ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$). Như vậy vận tốc khi đâm va thay đổi và sẽ dẫn đến biến dạng tuyệt đối của hệ số cản nhót thay đổi giá trị cực đại của tốc độ, ở tốc độ $v_0=60\text{km/h}$ thì giá trị cực đại của hệ số cản nhót của lồng ngực nằm ngoài giá trị tổn thương là $0.229\text{m}^2/\text{s}$.



a. Vận tốc và chạm $v_0=25\text{km/h}$



b. Vận tốc và chạm $v_0=60\text{km/h}$

Hình 8. Biểu diễn biến đổi chuyển vị bị nén của lồng ngực khi đâm va

Trên Hình 8b ta thấy vận tốc trước khi đâm va thay đổi $v_0 = 60\text{km/h}$ thì chuyển vị bị nén của lồng ngực đạt giá trị cực đại thay đổi và bằng $0.3\text{m}^2/\text{s}$. Sau đó biến dạng của lồng ngực cũng giảm dần ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$). Như vậy vận tốc khi đâm

4. KẾT LUẬN

Qua phân tích, đánh giá các thông số cũng như các nhân tố ảnh hưởng tổn thương của lồng ngực khi đâm va thu được các kết quả như sau:

Đề bảo đảm hành khách sẽ không bị thương nghiêm trọng, những giới hạn trên không được vượt quá. Tác giả sử dụng cùng giá trị giới hạn của hệ số cản nhót của lồng ngực nhưng tính với gia tốc là $80g$ biến dạng nén là 0.045m . Các kết quả nghiên cứu được trình bày trên hình bao gồm chuyển vị khi bị nén của lồng ngực $[x_2(t)-x_1(t)]$, tốc độ khi nén

3.2.6. Đồ thị chuyển vị khi bị nén lồng ngực

Quan sát trên Hình 8a ta thấy, trong trường hợp vận tốc trước khi đâm va $v_0 = 25\text{km/h}$ và thời gian va chạm $T_p = 0.1\text{s}$ thì chuyển vị bị nén của lồng ngực đạt giá trị cực đại 0.13m ở thời điểm $t=0.08\text{s}$. Sau đó chuyển vị bị nén của lồng ngực giảm dần ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm $t=0.1\text{s}$).

va thay đổi và sẽ dẫn đến biến dạng bị nén của lồng ngực thay đổi giá trị cực đại, ở tốc độ đâm va thì các giá trị cực đại ở chuyển vị bị nén của lồng ngực vượt quá giá trị ngưỡng 0.045m .

$[\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)]$, biến dạng tuyệt đối của lồng ngực $[x_2(t) - x_1(t)]$ lúc đây đại, hệ số cản nhót $[\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)][x_2(t) - x_1(t)]$ gia tốc chuyển động của lồng ngực $\ddot{x}_2(t)$ là hàm của thời gian. Kết quả cho thấy, biến dạng của lồng ngực ở vận tốc đâm va $v_0=25\text{km/h}$ là: 0.13m và ở vận tốc đâm va $v_0=60\text{km/h}$ là: 0.3m .

Như vậy đã vượt quá giá trị ngưỡng 0.046m một khoảng như trên hình 10. Với giá trị này, người lái xe sẽ bị dây đai làm tổn thương nghiêm trọng. Ngoài ra, giá trị cực đại của biến dạng vùng ngực quan sát được ở gần vùng kết thúc va đập.

Từ đồ thị cho thấy, tốc độ ép ứng với giới hạn tổn thương người là: 6m/s. Người lái sẽ chuyển vị về phía trước khoảng 5cm do kết quả của lực dây đai lớn. Sau khi kết thúc đâm va, người lái dịch chuyển về phía sau vì không có lực tác động từ dây đai trong mô hình để hạn chế chuyển động theo hướng này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. PGS.TS Nguyễn Khắc Trai (1997), “Tính điều khiển và quỹ đạo chuyển động của ô tô”, nhà xuất bản giao thông vận tải.
2. Carneiro, J., De Melo, F., Pereira, J. & Teixeira, V (2005), “Pseudo-dynamic Method for Structural Analysis of Automobile Seats”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K-Journal of Multi-Body Dynamics, Vol. 219, No. 4, 2005, 337-344.
3. Usama Idrees, Sajjad Ahmad, Imtiaz, Alam Shah, Muhammad Talha, Rehman Shehzad, Muhammad Amjad, Seyed Saeid Rahiamin Koloor (2023), “Finite element analysis of car frame frontal crash using lightweight materials”, Journal of Engineering Research, Volume 11, Issue 1, March 2023, 100007.
4. Andrew Hickey, Shaoping Xiao (2017), “Finite Element Modeling and Simulation of Car

Các kết luận với các đồ thị còn lại cũng tương tự như đối với tốc độ ép lồng ngực khi đâm va nhưng với các biên độ khác nhau. Giá trị cực đại của hệ số cản nhót của lồng ngực trong giới hạn tổn thương là 0.229 m2/s. Ngoài ra, giá trị cực đại của gia tốc ngực trong giới hạn (80g).

- Crash”, International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering (IJMSME) Volume 3, Issue 1, 2017, PP 1-5 ISSN 2454-9711 .
5. Gulshan Noorsumar, Svitlana Rogovchenko, Kjell G. Robbersmyr & Dmitry Vysochinskiy (2022), “Mathematical models for assessment of vehicle crashworthiness: a review”, International Journal of Crashworthiness, 27:5, 1545-1559, DOI: 10.1080/13588265.2021.1929760.
 6. ThS. Nguyễn Hoàng Hải, Nguyễn Việt Anh (2000), “Lập trình Matlab và ứng dụng”, nhà xuất bản khoa học kỹ thuật” .

- Ngày gửi bài: 28/04/2026

- Ngày phản biện: 22/05/2026

- Ngày duyệt đăng: 02/06/2026