

SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỐ ĐỂ KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ ĐẾN QUÁ TRÌNH HOẠT ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG PHANH XE TẢI

USING NUMERICAL SIMULATION METHOD TO INVESTIGATE THE PARAMETERS AFFECTING
THE OPERATION OF PNEUMATIC BRAKE SYSTEM ON TRUCK

Lê Bảo Việt¹, Nguyễn Tiến Dũng^{1,*},
Phạm Minh Tú¹, Trịnh Minh Hoàng¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huivh5804.2024.050>

TÓM TẮT

Ngày nay, xe tải được sử dụng rất phổ biến trên thế giới. Do tính chất phải chở nhiều hàng hóa có khối lượng lớn nên hệ thống phanh của xe tải cũng cần được tính toán thiết kế một cách kỹ lưỡng để đảm bảo an toàn cho xe trong quá trình vận hành. Chính vì vậy, việc nghiên cứu và đánh giá hệ thống phanh dẫn động khí nén trên xe tải cần được quan tâm. Trong thời gian gần đây, đã có một số nghiên cứu về hiệu quả phanh của hệ thống phanh dẫn động khí nén, nhưng thường không xét đến van phân phối, một trong những cụm chi tiết rất quan trọng. Do đó, kết quả chưa thực sự mô tả được đầy đủ các trạng thái làm việc của hệ thống. Trong bài báo này tác giả sử dụng phương pháp mô phỏng số để khảo sát một số thông số ảnh hưởng đến quá trình hoạt động của hệ thống phanh dẫn động khí nén trên một xe tải, trong đó có kể đến sự ảnh hưởng của van phân phối trong quá trình hoạt động. Kết quả nghiên cứu có thể sử dụng làm cơ sở cho việc lựa chọn và bố trí hệ thống phanh khí nén trên xe tải.

Từ khóa: Van phân phối; van gia tốc; phương pháp mô phỏng số; hệ thống phanh dẫn động khí nén.

ABSTRACT

Today, trucks are very popular in the world. Therefore, the study and evaluation of the pneumatic brake system on trucks should be concerned. Recently, there have been some studies on the braking performance of pneumatic brake systems, but they often do not consider the distribution valve, one of the critical components. Therefore, the results only partially describe the working state of the system. In this paper, the author uses the numerical simulation method to investigate some parameters affecting the operation of the pneumatic brake system on a truck, including the influence of the distribution valve during operation. The research results can be used to select and arrange the pneumatic brake system on the truck.

Keywords: Distribution valve; accelerator valve; numerical simulation; pneumatic brake system.

¹Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: dung.nguyentien@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 18/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 22/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

1. GIỚI THIỆU

Quãng đường phanh là một trong những chỉ tiêu quan trọng để đánh giá chất lượng của hệ thống phanh trên ô tô [1]. Đối với hệ thống phanh dẫn động bằng khí nén trên xe tải, do tính chất chịu nén của môi chất khí nên độ nhạy của hệ thống phanh dẫn động khí nén phụ thuộc nhiều yếu tố và hiệu quả phanh thường kém hơn so với những hệ thống phanh khác [1, 2]. Vậy nên, việc khảo sát sự ảnh hưởng của các thông số kết cấu đến cấu trúc hoạt động của hệ thống phanh dẫn động khí nén cần được quan tâm. Ngoài ra, một trong những yếu tố kể đến thời gian chậm tác dụng của hệ thống phanh là van phân phối [3]. Các cấu hình bố trí khác nhau của hệ thống phanh khí nén sẽ dẫn tới quá trình tăng áp suất có thể thay đổi [4, 5]. Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh khí nén nói chung và hệ thống phanh dẫn động khí nén có bộ ABS đã được một số tác giả trong nước quan tâm đến [6, 7, 8], tuy nhiên thường bỏ qua mô phỏng van phân phối.

Phương pháp mô phỏng tập trung đối với một hệ thống phanh khí nén được quy đổi về lập các quan hệ giữa các thông số lưu lượng đi qua các dạng phần tử chính là các điểm nút, các tiết lưu hoặc các dung tích [9, 10]. Tuy nhiên, trong các kết cấu này thường bỏ qua một phần tử quan trọng là van phân phối. do đó kết quả các nghiên cứu này làm giảm khả năng mô phỏng toàn bộ hệ thống, cũng như đánh giá hệ thống trong một số trường hợp hư hỏng là chưa thực hiện được. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống phanh khí nén trên xe tải cũng sử dụng phương pháp mô phỏng tập trung, nhưng có mô phỏng thêm van phân phối. Mục tiêu nghiên cứu là mở rộng việc mô phỏng và khảo sát được đầy đủ hơn các phần tử trong hệ thống phanh dẫn động khí nén, làm cơ sở cho việc lựa chọn kết cấu trong quá trình tính toán thiết kế hệ thống phanh dẫn động khí nén cho xe tải.

2. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG DỌC CỦA Ô TÔ KHI PHANH

Trong quá trình phanh, lực cản không khí và lực cản lăn rất nhỏ so với lực phanh, do đó giả thiết bỏ qua các lực này trong quá trình tính toán. Phương trình chuyển động theo phương dọc của xe khi phanh trên đường bằng phẳng được viết như sau:

$$m\ddot{x} = \sum_{i=1}^6 F_{bi} \tag{1}$$

Trong đó: m là khối lượng ô tô; \ddot{x} gia tốc chuyển động của ô tô; F_{bi} là lực phanh ở bánh xe thứ i ($i = 1$ đến 6 với xe tải HINO FM8JW7A khảo sát). Với mỗi bánh xe, để đảm bảo an toàn khi phanh thì lực phanh F_{bi} ở bánh xe không được vượt quá giới hạn bám nên lực phanh tại mỗi bánh xe được xác định như sau:

$$F_{bi} = \min\left(\frac{M_{bi}}{r_{bi}}; \varphi_{x\max} F_{zi}\right) \tag{2}$$

Trong đó: M_{bi} là mô men phanh do cơ cấu phanh sinh ra; r_{bi} là bán kính động học của bánh xe; $\varphi_{x\max}$ là hệ số bám dọc của đường và F_{zi} là phản lực thẳng đứng từ mặt đường lên bánh xe thứ i . Giả thiết rằng cơ cấu phanh được bố trí tại mỗi bánh xe đều là kiểu tang trống và giống nhau. Gọi K là tỷ số truyền lực từ bầu phanh đến tang trống và giả thiết K trên các bánh xe là như nhau, gọi D_i và p_i là diện tích và áp suất trong bầu phanh thứ i thì mô men phanh M_{bi} do cơ cấu phanh thứ i được tính theo công thức (3) [4]:

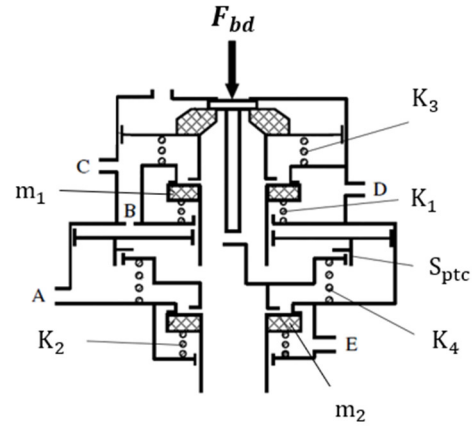
$$M_{bi} = r_{bi} K D_i^2 p_i \tag{3}$$

3. MÔ PHỎNG VAN PHÂN PHỐI

Van phân phối có nhiệm vụ đóng, mở các van trên, dưới để cấp hoặc ngừng cấp khí nén từ bình chứa đến các bầu phanh phía sau và phía trước (2 dòng độc lập) để tạo ra lực phanh tại các cơ cấu phanh. Kết cấu của van phân phối đã được mô tả khá kỹ trong tài liệu lý thuyết. Sơ đồ cấu tạo cơ bản dùng để mô phỏng van phân phối được thể hiện ở hình 1. Hệ phương trình (4) mô tả hoạt động của các cụm van phân phối 2 dòng:

$$\begin{cases} -m_1\ddot{x}_1 - K_1x_1 - K_3(x_1 + x_3) + p_{02}\Delta S_1 + F_{bd\max}e^{-kt} = 0 \\ -m_2\ddot{x}_2 - p_{01}(S_{d1} - S_{d2}) - K_2x_2 + p_{02}S_{ptc} \\ -p_{01}S_{tong} - K_4(x_2 + x_1) = 0 \\ -m_3\ddot{x}_3 + F_{bd\max}e^{-kt} - K_3x_3 = 0 \\ -m_4\ddot{x}_4 + p_{02}S_{ptc} - p_{01}S_{tong} - K_4x_4 = 0 \end{cases} \tag{4}$$

Trong hệ phương trình (5): m_1 và m_2 là khối lượng của van trên và van dưới; K_1 và K_2 là độ cứng của lò xo piston trên và piston dưới; K_3 và K_4 là độ cứng của lò xo van xả trên và van xả dưới; S_{d1} và S_{d2} là diện tích mặt trên và mặt dưới của van dưới; S_{ptc} là diện tích mặt trên của piston lớn; S_{tong} là diện tích tổng cộng của phần mặt dưới của van xả và van piston lớn; ΔS_1 là chênh lệch diện tích giữa hai bề mặt trên và dưới của piston trên; l_1 và l_2 là bề rộng của lỗ van trên và lỗ van dưới.



Hình 1. Van phân phối

Tiết diện mở van phân phối cho 2 dòng (f_1, f_5) được mô tả bởi phương trình (5):

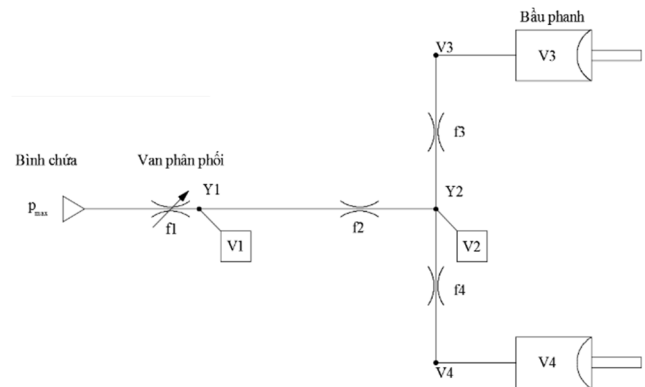
$$f_1 = l_1x_1; f_5 = l_5x_5 \tag{5}$$

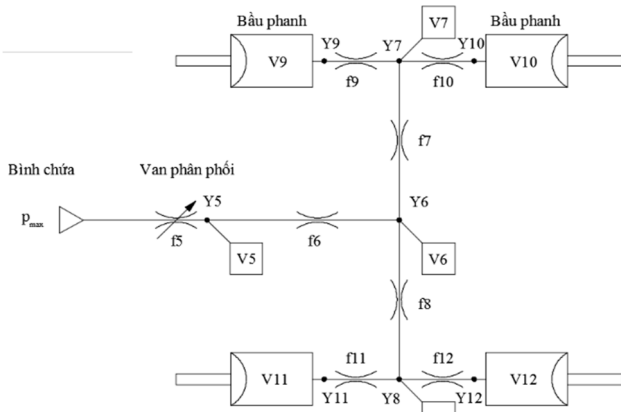
Bảng 1. Thông số đầu vào mô phỏng của van phân phối

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
m_2 (kg)	80.10^{-3}	S_{ptc} (m ²)	$2,150.10^{-3}$	K_3 (N/m)	500
K_2 (N/m)	250	S_{tong} (m ²)	$0,836.10^{-3}$	l_1 (m)	0,014
K_4 (N/m)	300	m_1 (kg)	93.10^{-3}	l_2 (m)	0,021
S_{d1} (m ²)	$1,371.10^{-4}$	ΔS_1 (m)	$0,035.10^{-4}$		
S_{d2} (m ²)	$1,782.10^{-4}$	K_1 (N/m)	300		

4. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG HỆ THỐNG DẪN ĐỘNG PHANH KHÍ NÉN

Phương pháp “Mô phỏng tập trung” có ưu điểm là tương đối đơn giản, dễ thực hiện. Mặc dù khối lượng tính toán lớn nhưng nó cho phép nghiên cứu hệ thống phức tạp có những giả thiết gần giống với thực tế với độ chính xác cao. Nhóm tác giả tiến hành sử dụng phương pháp mô phỏng tập trung để làm rõ nguyên lý của hệ thống phanh dẫn động khí nén. Hệ thống phanh dẫn động bằng khí nén được thể hiện ở hình 2. Khi người lái tác động vào bàn đạp để điều khiển van phân phối, áp suất khí nén từ bình chứa p_{max} sẽ được cung cấp tới các bầu phanh phía trước và phía sau thông qua các điểm nút. Độ trễ tác dụng của hệ thống phanh dẫn động khí nén được phụ thuộc rất nhiều vào cách bố trí các điểm nút và thể tích của bầu phanh, đường ống,...





Hình 2. Sơ đồ mô phỏng dẫn động phanh khí nén cho cầu trước và cầu sau
 Các ký hiệu trên hình 2 bao gồm:

- Nút Y₁ mô tả cho tổng phanh hai dòng với thể tích V₁;
- Nút Y₂ mô tả cho đoạn ống từ tổng phanh đến chạc ba với thể tích V₂;
- Các nút Y₃, Y₄ mô tả cho đoạn ống đến các bầu phanh phía trước bên trái (với thể tích V₃) và bên phải (với thể tích V₄);
- Nút Y₅ mô tả cho tổng phanh hai dòng với thể tích V₅;
- Nút Y₆ mô tả cho đoạn ống từ tổng phanh đến chạc 3 với thể tích V₆;
- Các nút Y₇, Y₈ mô tả đoạn ống từ chạc ba rẽ nhánh đến chạc ba bên trái (với thể tích V₇) và bên phải (với thể tích V₈);
- Các nút Y₉, Y₁₀, Y₁₁, và Y₁₂ (với thể tích tương ứng V₉, V₁₀, V₁₁, V₁₂) mô tả đoạn ống từ chạc ba bên phải đến các bầu phanh sau.

Bảng 2. Thông số đầu vào mô phỏng của hệ thống phanh khí nén

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
v* (m/s)	330	μ ₁	0,3264	A	0,654
p _{max} (N/m ²)	700000	μ ₂	0,1777	B	1,13
V ₁ (m ³)	0,7985.10 ⁻³	μ ₃ , μ ₄	0,5401	f ₂ , f ₃ , f ₄ (m ²)	1,131.10 ⁻³
V ₃ , V ₄ (m ³)	0,8702.10 ⁻³	μ ₅	0,3302	f _{6 ÷ f₁₂} (m ²)	1,131.10 ⁻³
V ₅ (m ³)	0,775.10 ⁻³	μ ₆	0,3095	D ₁ (m)	0,2
V ₆ (m ³)	0,708.10 ⁻³	μ ₇ , μ ₈	0,4787	D ₂ (m)	0,16
V ₇ , V ₈ (m ³)	0,1765.10 ⁻³	μ ₉ , μ ₁₀ , μ ₁₁ , μ ₁₂	0,5097		
V _{9 ÷ V₁₂} (m ³)	0,592.10 ⁻³	k	1,4		

Hệ phương trình vi phân mô phỏng biến đổi áp suất khí nén trong hệ thống được thể hiện theo công thức (6). Trong đó: p₀₁ và p₀₂ tương ứng là áp suất khí nén từ van phân phối đến dòng phanh cầu sau và cầu trước; p_i là áp suất xác định tại các nút thứ i; f_i là diện tích tiết diện các van và đường ống; μ_i là các hệ số lưu lượng (được xác định bằng thực nghiệm); v* là vận tốc giới hạn (vận tốc âm thanh); ống k, A, B là các hệ số của hàm lưu lượng Saint-Venant; p_{max}: áp suất khí nén trong bình chứa khí nén của hệ thống phanh. Các giá trị tham khảo cho tính toán mô phỏng hệ thống được thể hiện trong bảng 2.

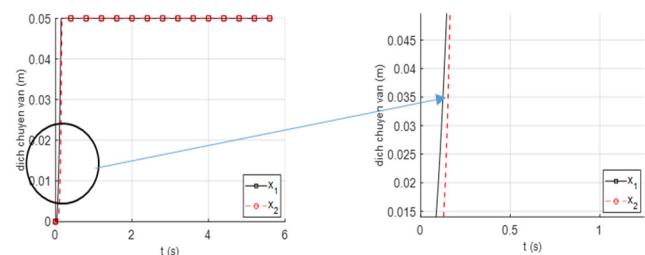
$$\begin{cases}
 \dot{p}_{02} = \frac{k}{V_1} \left(\mu_1 f_1 v^* A p_{max} \frac{p_{max} - p_{02}}{B p_{max} - p_{02}} - \mu_2 f_2 v^* A p_{02} \frac{p_{02} - p_2}{B p_{02} - p_2} \right) \\
 \dot{p}_2 = \frac{k}{V_2} \left(\mu_2 f_2 v^* A p_{02} \frac{p_{02} - p_2}{B p_{02} - p_2} - \mu_3 f_3 v^* A p_2 \frac{p_2 - p_3}{B p_2 - p_3} - \mu_4 f_4 v^* A p_2 \frac{p_2 - p_4}{B p_2 - p_4} \right) \\
 \dot{p}_3 = \frac{k}{V_3} \mu_3 f_3 v^* A p_2 \frac{p_2 - p_3}{B p_2 - p_3}; \dot{p}_4 = \frac{k}{V_4} \mu_4 f_4 v^* A p_2 \frac{p_2 - p_4}{B p_2 - p_4} \\
 \dot{p}_{01} = \frac{k}{V_5} \left(\mu_5 f_5 v^* A p_{max} \frac{p_{max} - p_{01}}{B p_{max} - p_{01}} - \mu_6 f_6 v^* A p_{01} \frac{p_{01} - p_6}{B p_{01} - p_6} \right) \\
 \dot{p}_6 = \frac{k}{V_6} \left(\mu_6 f_6 v^* A p_{01} \frac{p_{01} - p_6}{B p_{01} - p_6} - \mu_7 f_7 v^* A p_6 \frac{p_6 - p_7}{B p_6 - p_7} - \mu_8 f_8 v^* A p_6 \frac{p_6 - p_8}{B p_6 - p_8} \right) \\
 \dot{p}_7 = \frac{k}{V_7} \left(\mu_7 f_7 v^* A p_6 \frac{p_6 - p_7}{B p_6 - p_7} - \mu_9 f_9 v^* A p_7 \frac{p_7 - p_9}{B p_7 - p_9} - \mu_{10} f_{10} v^* A p_7 \frac{p_7 - p_{10}}{B p_7 - p_{10}} \right) \\
 \dot{p}_8 = \frac{k}{V_8} \left(\mu_8 f_8 v^* A p_6 \frac{p_6 - p_8}{B p_6 - p_8} - \mu_{11} f_{11} v^* A p_8 \frac{p_8 - p_{11}}{B p_8 - p_{11}} - \mu_{12} f_{12} v^* A p_8 \frac{p_8 - p_{12}}{B p_8 - p_{12}} \right) \\
 \dot{p}_9 = \frac{k}{V_9} \mu_9 f_9 v^* A p_7 \frac{p_7 - p_9}{B p_7 - p_9}; \dot{p}_{10} = \frac{k}{V_{10}} \mu_{10} f_{10} v^* A p_7 \frac{p_7 - p_{10}}{B p_7 - p_{10}} \\
 \dot{p}_{11} = \frac{k}{V_{11}} \mu_{11} f_{11} v^* A p_8 \frac{p_8 - p_{11}}{B p_8 - p_{11}}; \\
 \dot{p}_{12} = \frac{k}{V_{12}} \mu_{12} f_{12} v^* A p_8 \frac{p_8 - p_{12}}{B p_8 - p_{12}}
 \end{cases} \quad (6)$$

5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ KHẢO SÁT

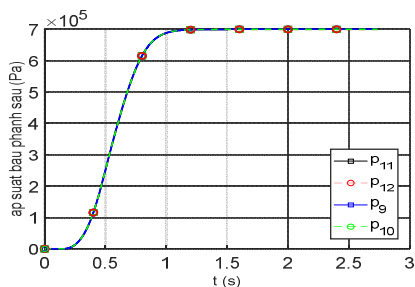
Trên thực tế, trong quá trình vận hành xe ô tô sẽ không thể tránh khỏi các sự cố, các trường hợp hư hỏng có thể mang lại những hậu quả nghiêm trọng khác nhau. Để đánh giá mô hình và đánh giá khả năng vận hành của hệ thống phanh dẫn động khí nén khi có sự cố, trong nghiên cứu này nhóm tác giả đã tiến hành khảo sát hai trường hợp: xe mất hoàn toàn khí nén tới phanh cầu trước và đánh ảnh hưởng của áp suất khí nén tới quá trình vận hành của hệ thống phanh.

5.1. Kết quả khảo sát khi dòng khí nén tại cầu trước bị hư hỏng

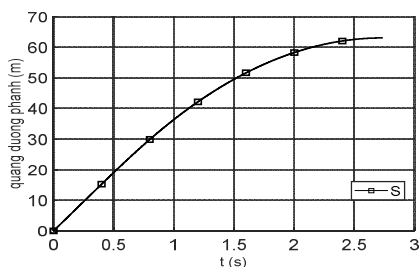
Giả thiết khi hệ thống phanh cầu trước bị mất hoàn toàn áp lực khí nén, dẫn đến việc lực phanh của các cơ cấu phanh phía trước bằng không.



Hình 3. Độ dịch chuyển của van phân phối



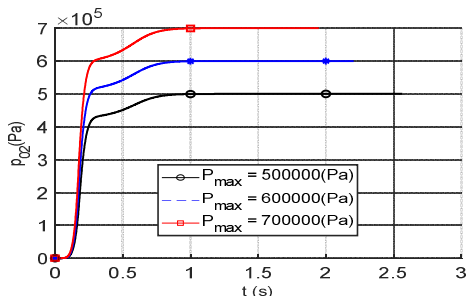
Hình 4. Thời gian tăng áp tại bầu phanh sau



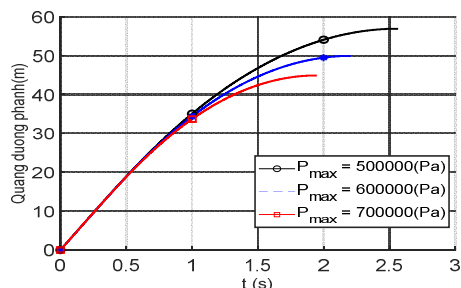
Hình 5. Quãng đường chuyển động của ô tô khi phanh với vận tốc $v_0 = 80$ (km/h)

Kết quả từ hình 3 - 5 thể hiện kết quả mô phỏng trong trường hợp dòng khí nén tại cầu trước bị hỏng. Độ dịch chuyển của piston dưới (x_2) trong van phân phối tăng lên (hình 3) và sau khoảng 1,2s áp suất dòng phanh sau mới tăng đến giá trị cực đại (hình 4). Khi dòng trước bị hỏng, hiệu quả phanh đã suy giảm, thời gian phanh t_p và quãng đường phanh S_p đều tăng ($t_p = 2,735s$; $S_p = 63,1m$, hình 5).

5.2. Khảo sát sự ảnh hưởng của áp suất cực đại p_{max}



Hình 6. Thời gian tăng áp tại bầu phanh sau



Hình 7. Quãng đường chuyển động của ô tô khi phanh với vận tốc $v_0 = 80$ (km/h)

Trong nghiên cứu này đã thực hiện khảo sát ảnh hưởng của áp suất cực đại p_{max} với các giá trị khác nhau. Kết quả khảo sát trên hình 6 cho thấy các quy luật phù hợp với lý thuyết, khi áp suất cực đại trong hệ thống giảm sẽ làm tăng độ trễ của quá trình tăng áp suất tại đầu ra của van phân phối. Áp suất cực đại tại các bầu phanh giảm và thời gian

tăng áp suất đến giá trị cực đại cũng tăng. Hiệu quả phanh của hệ thống trong trường hợp suy giảm p_{max} cũng giảm. Khi p_{max} giảm từ 700000Pa xuống 500000Pa thì quãng đường phanh tăng từ 45m lên 58m, thời gian phanh tăng từ 1,9s lên 2,6s (hình 7).

6. KẾT LUẬN

Trong bài nghiên cứu này, các tác giả đã tiến khảo sát hệ thống phanh khí nén trên xe HINO 500FM bằng phần mềm mô phỏng số. Quy luật về thời gian tăng áp suất trong các bầu phanh và trạng thái làm việc của van phân phối trong các trường hợp hư hỏng đã phản ánh đúng nguyên lý làm việc của hệ thống. Việc mô phỏng đã có kể đến sự ảnh hưởng của van phân phối do đó đã mô phỏng hệ thống đầy đủ và sát thực hơn, kết quả đã chính xác và bám sát thực tế hơn. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số kết cấu đến quá trình hoạt động của hệ thống phanh dẫn động khí nén có thể được sử dụng làm cơ sở cho việc lựa chọn và thiết kế hệ thống phanh dẫn động khí nén trên thực tế cho xe tải có kết cấu tương tự.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyen Huu Can, Du Quoc Thinh, Pham Minh Thai, Nguyen Van Tai, Le Thi Vang, *Theory of Automobile and tractor*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, 2007.
- [2]. Luu Van Tuan, *Automobile theory*. Vietnam Education Publishing House, Hanoi, 2019.
- [3]. Nguyen Trong Hoan, *Automotive design and calculation*. Vietnam Education Publishing House, Hanoi, 2019.
- [4]. Nguyen Tien Dung, Nguyen Huu Thang, Truong Van Thuan, Ha Van Hieu, Trinh Minh Hoang, "Assess of effects of some structural parameters to the increase in the pressure of the brake chambers in the pneumatic brake system," *Vietnam Mechanical Engineering Journal*, 10, 291-296, 2020.
- [5]. H.H. Ho, *Research on pneumatic ABS system*. PhD. Dissertation, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, 2016.
- [6]. N.V. Lai, *Research on car brake control system*. PhD. Dissertation, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, 2012.
- [7]. Le Anh Vu, Ho Huu Hai, Duong Ngoc Khanh, Dam Hoang Phuc, "Investigate the effect of braking torque on the acceleration characteristics of trucks when traveling on roads with uneven coefficient of adhesion," *Vietnam Mechanical Engineering Journal*, 9, 25-30, 2017).
- [8]. A.V. Le, *Research on anti-slip system of truck wheels on the basis of pneumatic ABS braking system*. PhD. Dissertation, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, 2018.
- [9]. Nguyen Tien Dung, Du Tuan Đạt, Truong Dang Viet Thang, "Using numerical simulation method to assess the brake efficiency of pneumatic brake system on a truck," *Vietnam Mechanical Engineering Journal*, 6, 140-145, 2021.
- [10]. V.T. Truong, *Study on the influence of some parameters on the braking process on trucks*. Master Thesis, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, 2020.

AUTHORS INFORMATION

Le Bao Viet, Nguyen Tien Dung, Pham Minh Tu, Trinh Minh Hoang
Hanoi University of Science and Technology, Vietnam