

SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỐ ĐỂ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ PHANH CỦA HỆ THỐNG PHANH DẪN ĐỘNG KHÍ NÉN TRÊN XE TẢI

USING NUMERICAL SIMULATION METHOD TO ASSESS THE BRAKE EFFICIENCY OF PNEUMATIC BRAKE SYSTEM ON A TRUCK

Nguyễn Tiến Dũng, Trịnh Minh Hoàng, Lê Bảo Việt

Khoa Cơ khí Động lực, Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Ngày nay, hệ thống phanh khí nén được ứng dụng phổ biến trên xe tải, do ưu điểm lực phanh lớn và lực điều khiển bàn đạp nhỏ. Tuy nhiên, độ nhạy hệ thống phanh dẫn động khí nén không cao. Vì thế, việc nghiên cứu hiệu quả phanh của hệ thống phanh dẫn động khí nén cần được chú ý. Trước đây, đã có một số nghiên cứu về hiệu quả phanh của hệ thống phanh dẫn động khí nén, nhưng thường bỏ qua van phân phối nên kết quả chưa thực sự bám sát với thực tế. Trong bài báo này, tác giả sử dụng phương pháp mô phỏng số để đánh giá hiệu quả phanh 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 để đánh giá ảnh hưởng của các thông số kết cấu đến hiệu quả phanh dẫn động khí nén trên xe tải.

Từ khóa: Hệ thống phanh dẫn động khí nén; Mô phỏng số; Van phân phối.

ABSTRACT

Nowadays, the pneumatic brake system is widely used on trucks due to the advantages of large braking force and small pedal control force. However, the sensitivity of the pneumatic drive brake system could be higher. Therefore, it is necessary to pay attention to the study of the braking efficiency of the pneumatic drive brake system. In the past, there have been some studies on the braking efficiency of pneumatically driven brake systems. However, they often need to include the distribution valve, so the results are not really close to reality. In this paper, the author uses a numerical simulation method to evaluate the braking efficiency, taking into account the influence of the distribution valve during operation. The research results can be used as a basis to evaluate the influence of structural parameters on the efficiency of pneumatic drive brakes on trucks.

Keywords: Pneumatic drive brake system; Numerical simulation; Distribution valve.

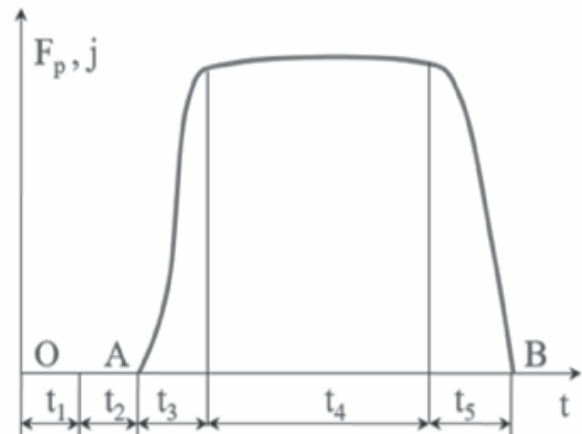


1. TỔNG QUAN

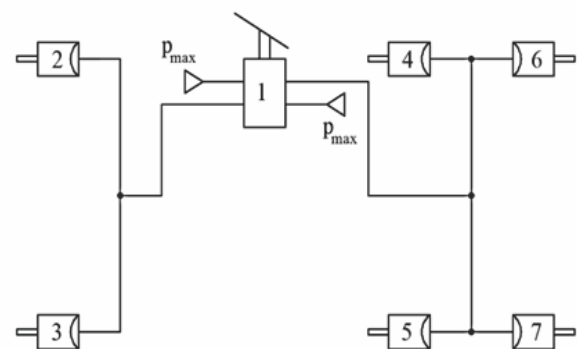
Theo các tài liệu [1, 2, 3], quãng đường phanh chỉ được tính khi phanh đã có tác dụng. Trên thực tế, từ lúc người lái phát hiện ra vật cản đến khi thực hiện động tác phanh thì quá trình phanh được chia làm nhiều giai đoạn khác nhau. Người ta đã tiến hành nghiên cứu, đo đạc và xác định được diễn biến của lực phanh (tương ứng với nó là gia tốc phanh) theo thời gian trong quá trình phanh.

Diễn biến quá trình thay đổi lực phanh theo thời gian thường được thể hiện qua giản đồ phanh thực tế như trên hình 1 [1]. Trong đó: t_1 là thời gian phản ứng của người lái; t_2 là thời gian chậm tác dụng của hệ thống phanh; t_3 là thời gian gia tăng lực phanh (từ 0 đến giá trị ổn định); t_4 là thời gian phanh hoàn toàn: phụ thuộc tình huống trên đường; t_5 là thời gian nhả phanh (khi đã đạt vận tốc mong muốn) lực phanh giảm đến 0. Hiệu quả phanh được xác định là tổng thời gian t_3 và t_4 .

Đối với hệ thống phanh dẫn động bằng khí nén, do tính chất chịu nén của môi chất là khí nên độ nhạy của hệ thống thường kém hơn so với hệ thống phanh dẫn động bằng thủy lực hoặc cơ khí. Do đó, việc đánh giá hiệu quả phanh của hệ thống phanh khí nén là vấn đề cần quan tâm. Ngoài ra, một trong những yếu tố kể đến thời gian chậm tác dụng của hệ thống phanh là van phân phối. 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 HINO Series 500 MODEL FM8JW7A, cho phép đánh giá được hiệu quả phanh của xe.



Hình 1. Biểu diễn giản đồ phanh thực tế.

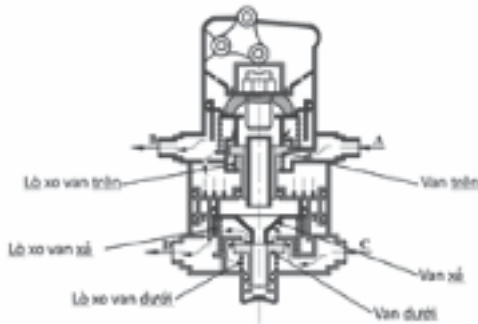


Hình 2. Sơ đồ hệ thống dẫn động phanh bằng khí nén trên xe Hino500 FM

1. Tổng van phanh; 2, 3. Các bầu phanh trước;
4, 5, 6, 7. Các bầu phanh sau.

2. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA VAN PHÂN PHỐI

Van phân phối có nhiệm vụ đóng, mở các van để cấp hoặc ngừng cấp khí nén đến các bầu phanh, các cơ cấu phanh theo ý muốn của người điều khiển. Để tăng tính chính xác khi mô phỏng hệ thống phanh dẫn động khí nén, ta thực hiện mô phỏng thêm ảnh hưởng của van phân phối đến độ trễ tăng áp trong hệ thống. Dựa vào các phương trình cơ học và vật lý căn bản, ta xác định được các hệ phương trình dưới đây.



Hình 3. Van phân phối ở trạng thái hoạt động.

Phương trình vi phân cho van dưới:

$$-m_2 \ddot{x}_2 - P_{01}(S_{d1} - S_{d2}) - K_2 x_2 + P_{02} S_{ptc} - P_{01} S_{tong} - K_4(x_2 + x_4) = 0 \quad (1)$$

Trong đó: x_2 , x_4 là chuyển vị của van dưới và van xả dưới; m_2 là khối lượng của van dưới; P_{02} , P_{01} là áp suất cửa ra của tổng van ở đường trên và đường dưới; K_2 , K_4 là độ cứng của lò xo piston dưới và van xả dưới; S_{d1} , S_{d2} , S_{ptc} , S_{tong} tương ứng là diện tích mặt trên của van dưới, piston lớn và van xả.

Phương trình vi phân cho van trên được mô tả theo (3):

$$-m_1 \ddot{x}_1 - K_1 x_1 - K_3(x_1 + x_3) + P_{02} \Delta S_1 + F_{b\ddot{a}max} \cdot e^{-Kt} = 0 \quad (3)$$

Trong đó: x_1 , x_3 là chuyển vị của van trên và van xả trên; m_1 là khối lượng của van trên; ΔS_1 là chênh lệch diện tích giữa hai bề mặt trên và dưới của piston trên; K_1 là độ cứng của lò xo van trên; K_3 là độ cứng của lò xo van xả trên.

Hành trình dịch chuyển của van dưới x_4 và chuyển vị của van dưới x_1 được xác định theo mối tương quan giữa chuyển động của các chi tiết:

$$-m_4 \ddot{x}_4 + P_{02} S_{ptc} - P_{01} S_{tong} - K_4 x_4 = 0 \quad (4)$$

Trong đó: m_4 là tổng khối lượng van xả và piston lớn.

Thông số chuyển vị của van xả trên x_3 được xác định dựa trên mối tương quan động học của các chi tiết van trong quá trình đạp phanh của người lái:

$$-m_3 \ddot{x}_3 + F_{b\ddot{a}max} \cdot e^{-Kt} - K_3 x_3 = 0 \quad (5)$$

Trong đó, $F_{b\ddot{a}max} \cdot e^{-Kt}$ là công thức tính lực bàn đạp phanh theo thời gian.

Từ dịch chuyển của các piston trên và dưới, diện tích tiết diện lỗ tiết lưu ở van trên và van dưới trong van phân phối được tính như sau:

$$f_1 = l_1 \cdot x_1; \quad f_5 = l_5 \cdot x_2 \quad (6)$$

Trong đó: l_1 là độ rộng của cửa van trên; l_5 là độ rộng của cửa van dưới.

Bảng 1. Thông số van phân phối.

Thông số	Trị số
m_2 : Khối lượng của van dưới (kg)	$80 \cdot 10^{-3}$
K_2 : Độ cứng của lò xo piston dưới (N/m)	250
K_4 : Độ cứng của lò xo van xả dưới (N/m)	300
S_{d1} : Diện tích mặt trên của van dưới (m ²)	$1,371 \cdot 10^{-4}$
S_{d2} : Diện tích mặt dưới của van dưới (m ²)	$1,782 \cdot 10^{-4}$
S_{ptc} : Diện tích mặt trên của piston lớn (m ²)	$2,150 \cdot 10^{-3}$
S_{tong} : Diện tích tổng cộng của phần mặt dưới của van xả và piston lớn (m ²)	$0,836 \cdot 10^{-3}$
m_1 : Khối lượng của van trên (kg)	$93 \cdot 10^{-3}$
ΔS_1 : Chênh lệch diện tích giữa hai bề mặt trên và dưới của piston trên (m ²)	$0,035 \cdot 10^{-4}$
K_1 : Độ cứng của lò xo van trên (N/m)	300
K_3 : Độ cứng của lò xo van xả trên (N/m)	500
S_{vxt} : Diện tích mặt dưới của van xả trên (m ²)	$0,921 \cdot 10^{-4}$
l_1 : Bề rộng của thành lỗ van trên (m)	0,014
l_2 : Bề rộng thành lỗ van dưới (m)	0,021



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

Phương trình vi phân mô tả chuyển động của ô tô khi phanh trên đường bằng [6]:

$$m\ddot{x} = \frac{1}{r_b} \cdot \alpha \cdot \pi \cdot r_t \cdot \eta_c \cdot c \cdot \frac{h_t}{a_1 - \alpha \cdot r_t} \cdot \frac{1}{4 \cdot 11 \cdot d_1} (D_1^2 \cdot p_{\text{bautruoc}} + 2 \cdot D_2^2 \cdot p_{\text{bausau}}) \quad (7)$$

Hệ phương trình mô tả hoạt động cho cầu trước:

$$\text{* Nút } Y_1 \text{ (van phân phối): } m_{01} \cdot \dot{} - m_2 \cdot \dot{} - m_{E0} \cdot \dot{} = 0$$

$$\mu_1 \cdot f_1 \cdot v^* \cdot A \cdot p_{\text{max}} \cdot \frac{p_{\text{max}} - p_{02}}{B \cdot p_{\text{max}} - p_{02}} - \mu_2 \cdot f_2 \cdot v^* \cdot A \cdot p_{01} \cdot \frac{p_{02} - p_2}{B \cdot p_{02} - p_2} - \frac{V_1}{k} \frac{dp_{02}}{dt} = 0 \quad (8)$$

$$\text{* Nút } Y_2: \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_{E2} = 0, \text{ hay:}$$

$$\mu_2 f_2 v^* A p_1 \frac{p_1 - p_2}{B p_1 - p_2} - \mu_3 f_3 v^* A p_2 \frac{p_2 - p_3}{B p_2 - p_3} - \mu_4 f_4 v^* A p_2 \frac{p_2 - p_4}{B p_2 - p_4} - \frac{V_2}{k} \frac{dp_2}{dt} = 0 \quad (9)$$

$$\text{* Nút } Y_3: \dot{m}_3 - \dot{m}_{E3} = 0, \text{ hay:}$$

$$\mu_3 f_3 v^* A p_2 \frac{p_2 - p_3}{B p_2 - p_3} - \frac{V_3}{k} \frac{dp_3}{dt} = 0 \quad (10)$$

$$\text{* Nút } Y_4: \dot{m}_4 - \dot{m}_{E4} = 0, \text{ hay:}$$

$$\mu_4 f_4 v^* A p_2 \frac{p_2 - p_4}{B p_2 - p_4} - \frac{V_4}{k} \frac{dp_4}{dt} = 0 \quad (11)$$

Hệ phương trình mô tả hoạt động cho cầu sau:

$$\text{* Nút } Y_5: \dot{m}_5 - \dot{m}_6 - \dot{m}_{E5} = 0, \text{ hay:}$$

$$\mu_5 \cdot f_5 \cdot v \cdot A \cdot p_{\text{max}} \cdot \frac{p_{\text{max}} - p_{01}}{B \cdot p_{\text{max}} - p_{01}} - \mu_6 \cdot f_6 \cdot v \cdot A \cdot p_{02} \cdot \frac{p_{01} - p_6}{B \cdot p_{01} - p_6} - \frac{V_1}{k} \frac{dp_{01}}{dt} = 0 \quad (12)$$

$$\text{* Nút } Y_6: \dot{m}_6 - \dot{m}_7 - \dot{m}_8 - \dot{m}_{E6} = 0, \text{ hay:}$$

$$\mu_6 \cdot f_6 \cdot v \cdot A \cdot p_{02} \cdot \frac{p_{01} - p_6}{B \cdot p_{01} - p_6} - \mu_7 \cdot f_7 \cdot v \cdot A \cdot p_6 \cdot \frac{p_6 - p_7}{B \cdot p_6 - p_7} - \mu_8 \cdot f_8 \cdot v \cdot A \cdot p_6 \cdot \frac{p_6 - p_8}{B \cdot p_6 - p_8} - \frac{V_6}{k} \frac{dp_6}{dt} = 0 \quad (13)$$

$$\text{* Nút } Y_7: \dot{m}_7 - \dot{m}_9 - \dot{m}_{10} - \dot{m}_{E7} = 0, \text{ hay:}$$

$$\mu_7 f_7 v^* A p_6 \frac{p_6 - p_7}{B p_6 - p_7} - \mu_9 f_9 v^* A p_7 \frac{p_7 - p_9}{B p_7 - p_9} - \mu_{10} f_{10} v^* A p_7 \frac{p_7 - p_{10}}{B p_7 - p_{10}} - \frac{V_7}{k} \frac{dp_7}{dt} = 0 \quad (14)$$

* Nút Y₈: $m_8 - m_{11} - m_{12} - m_{E8} = 0$, hay:

$$\mu_8 f_8 v^* A p_6 \frac{p_6 - p_8}{B p_6 - p_8} - \mu_{11} f_{11} v^* A p_8 \frac{p_8 - p_{11}}{B p_8 - p_{11}} - \mu_{12} f_{12} v^* A p_8 \frac{p_8 - p_{12}}{B p_8 - p_{12}} - \frac{V_8}{k} \frac{dp_8}{dt} = 0 \quad (15)$$

* Nút Y₉: $m_9 - m_{E9} = 0$, hay: $\mu_9 f_9 v^* A p_7 \frac{p_7 - p_9}{B p_7 - p_9} - \frac{V_9}{k} \frac{dp_9}{dt} = 0 \quad (16)$

* Nút Y₁₀: $m_{10} - m_{E10} = 0$, hay: $\mu_{10} f_{10} v^* A p_7 \frac{p_7 - p_{10}}{B p_7 - p_{10}} - \frac{V_{10}}{k} \frac{dp_{10}}{dt} = 0 \quad (17)$

* Nút Y₁₁: $m_{11} - m_{E11} = 0$, hay: $\mu_{11} f_{11} v^* A p_8 \frac{p_8 - p_{11}}{B p_8 - p_{11}} - \frac{V_{11}}{k} \frac{dp_{11}}{dt} = 0 \quad (18)$

Nút Y₁₂: $m_{12} - m_{E12} = 0$, hay: $\mu_{12} f_{12} v^* A p_8 \frac{p_8 - p_{12}}{B p_8 - p_{12}} - \frac{V_{12}}{k} \frac{dp_{12}}{dt} = 0 \quad (19)$

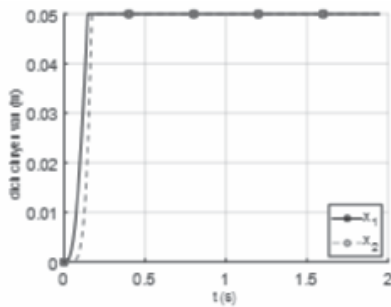
Bảng 2. Thông số đầu vào cho bài toán mô phỏng hệ thống phanh khí nén

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
v^* (m/s)	330	μ_5	0,3302	h (m)	0,032
$p_{\max}$ (N/m ²)	700000	μ_6	0,3095	h_t (m)	0,330
V_1 (m ³)	$0,7985 \cdot 10^{-3}$	μ_7, μ_8	0,4787	h_s (m)	0,275
V_3, V_4 (m ³)	$0,8702 \cdot 10^{-3}$	$\mu_9, \mu_{10}, \mu_{11}, \mu_{12}$	0,5097	$d_1 = d_2$ (m)	0,027
V_5 (m ³)	$0,775 \cdot 10^{-3}$	k	1,4	a_1 (m)	0,158
V_6 (m ³)	$0,708 \cdot 10^{-3}$	A	0,654	μ	0,35
V_7, V_8 (m ³)	$0,1765 \cdot 10^{-3}$	B	1,13	r_t (m)	0,2
$V_9 \div V_{12}$ (m ³)	$0,592 \cdot 10^{-3}$	f_1 (m ²)	$1,4844 \cdot 10^{-4}$	c (m)	0,143
μ_1	0,3264	f_2, f_3, f_4 (m ²)	$1,131 \cdot 10^{-3}$	D_1 (m)	0,2
μ_2	0,1777	f_5 (m ²)	$1,626 \cdot 10^{-3}$	D_2 (m)	0,16
μ_3, μ_4	0,5401	$f_6 \div f_{12}$ (m ²)	$1,131 \cdot 10^{-3}$		

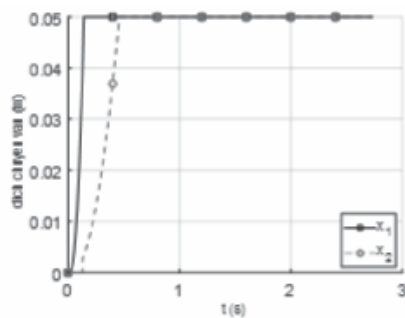


4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

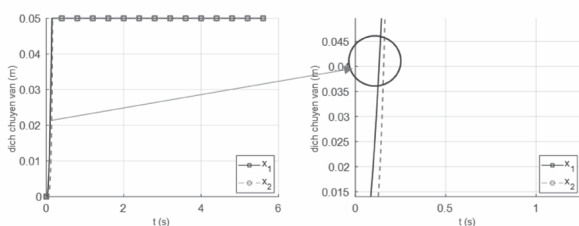
a) Kết quả mô phỏng các trạng thái hoạt động của van phân phối



Hình 4. Dịch chuyển của van phân phối khi hoạt động bình thường.



Hình 5. Dịch chuyển của van phân phối khi có rò rỉ tại cầu sau.

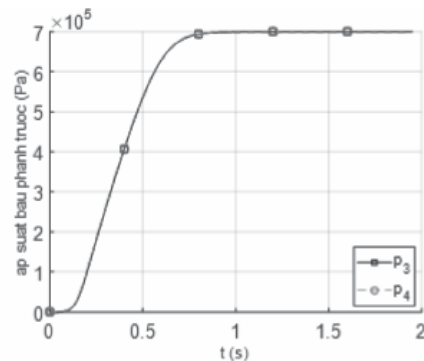


Hình 6. Độ dịch chuyển của van phân phối.

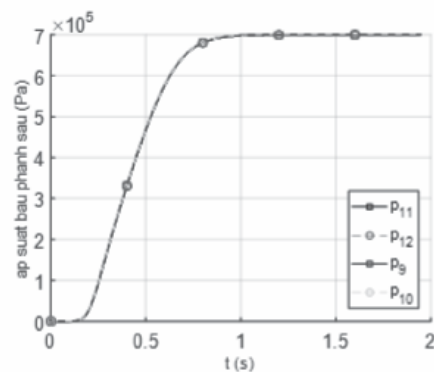
Hình 4, 5, 6 mô tả hoạt động của van phân phối trong các trường hợp hoạt động khác nhau có thể xảy ra trên thực tế. Kết quả mô phỏng đã thể hiện được độ trễ của các dịch chuyển của các van trong van phân phối theo đúng quy luật thực tế.

b) Kết quả mô phỏng thời gian tăng áp tại các bầu phanh trong các trường hợp làm việc của van phân phối

Hình 7, 8 thể hiện quá trình tăng áp suất tại các bầu phanh trước và bầu phanh sau. Để tăng áp suất lên đến giá trị hoặc gần bằng p_{max} ở các bầu phanh trước và sau đều thỏa mãn theo tiêu chuẩn (thời gian tăng áp dưới 1 giây [1]).



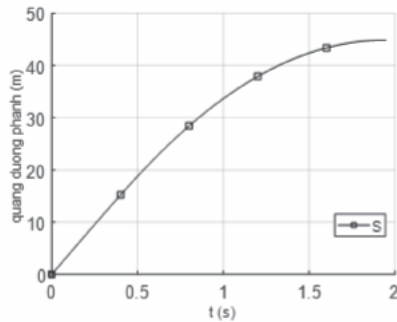
Hình 7. Thời gian tăng áp tại bầu phanh trước.



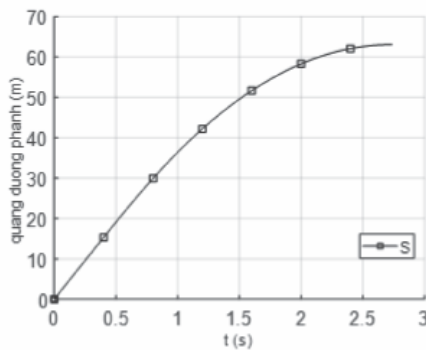
Hình 8. Thời gian tăng áp tại bầu phanh sau.

c) Đánh giá hiệu quả phanh thông qua tiêu chí quãng đường phanh

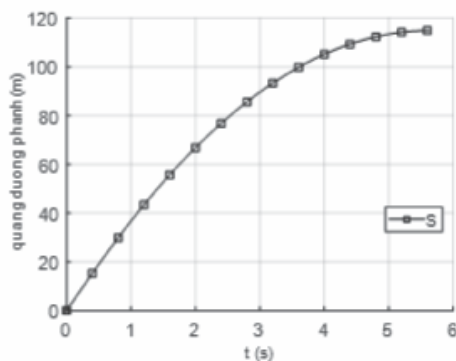
Sau khi tiến hành mô phỏng và khảo sát hệ thống phanh khí nén, kết quả thu được phục vụ cho việc đánh giá hiệu quả phanh thể hiện trên hình 7 với vận tốc phanh ban đầu $v_1 = 80$ km/h đến khi dừng xe ($v_2 = 0$ km/h):



Hình 9. Quãng đường phanh của xe khi hệ thống phanh hoạt động bình thường.



Hình 10. Quãng đường phanh của xe khi hệ thống phanh bị rò rỉ cầu trước.



Hình 11. Quãng đường phanh của xe khi hệ thống phanh bị rò rỉ cầu sau.

Từ đồ thị hình 9 thấy được quãng đường phanh khi xe hoạt động bình thường là $S_p = 44,9$ (m) trong thời gian phanh $t_p = 1,948$ (s). Kết quả cho thấy với những thông số kỹ thuật hiện tại trên xe nghiên cứu là phù hợp và nằm

trong giá trị cho phép đối với tiêu chuẩn [1].

Từ đồ thị hình 10, 11, khi có sự rò rỉ khí nén tại cầu trước và cầu sau thì quãng đường phanh từ 44,9 (m) tăng lên tương ứng với hai trường hợp là 63,1 (m) và 115,919 (m).

5. KẾT LUẬN

Trong bài nghiên cứu này, các tác giả đã tiến hành mô phỏng hệ thống phanh khí nén và đánh giá hiệu quả phanh trên xe HINO 500 FM bằng phần mềm mô phỏng số. Thời gian tăng áp suất trong các bầu phanh từ 0 lên giá trị cực đại có độ trễ và nằm trong giới hạn cho phép trong các trường hợp. Quãng đường phanh và thời gian phanh cũng được xác định và đánh giá nằm trong tiêu chuẩn. Ngoài ra, việc mô phỏng thành công hệ thống cho phép gợi mở các ý tưởng khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu và sử dụng đến hiệu quả phanh, làm cơ sở cho bài toán lựa chọn kết cấu và thông số kỹ thuật của các chi tiết trong hệ thống phanh sau này. ❖

Ngày nhận bài: 23/5/2023

Ngày phản biện: 14/6/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Hữu Cẩn, Dư Quốc Thịnh, Phạm Minh Thái, Nguyễn Văn Tài, Lê Thị Vàng, 2007; *Lý thuyết ô tô máy kéo*, NXB. Khoa học & Kỹ thuật.
- [2]. Lưu Văn Tuấn, 2019; *Lý thuyết ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.
- [3]. Nguyễn Trọng Hoan, 2019; *Thiết kế tính toán ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.
- [4]. Hồ Hữu Hùng, 2016; *Nghiên cứu hệ thống ABS dẫn động khí nén*, Luận án TSKT, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [5]. Lại Năng Vũ, 2012; *Nghiên cứu hệ thống điều khiển quá trình phanh ô tô*, Luận án TSKT, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [6]. Trương Văn Thuận, 2020; *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số kỹ thuật đến quá trình phanh trên xe tải*, Luận văn Thạc sĩ, Đại học Bách khoa Hà Nội.