

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH MARKOV NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ TÌNH TRẠNG KỸ THUẬT CƠ CẤU PHANH CHÍNH TRÊN HỆ THỐNG PHANH THỦY KHÍ

APPLICATION OF MARKOV MODEL FOR RESEARCH AND EVALUATING TECHNICAL STATUS OF BRAKE MECHANISMS ON HYDRAULIC-COMPRESSED AIR BRAKE SYSTEM

HOÀNG GIANG NAM, NGUYỄN VĂN DŨNG, VŨ QUỐC BẢO, PHAN LÊ DUY, VŨ NGỌC TUẤN*

Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự

*Email liên hệ: tuan.vungoc@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt

Hệ thống phanh dẫn động hỗn hợp thủy lực-khí nén có kết cấu rất phức tạp và thường được trang bị trên các xe vận tải cỡ lớn. Độ tin cậy, tình trạng kỹ thuật của hệ thống phanh quyết định đến tính an toàn chuyển động, tình điều khiển của ô tô. Việc nghiên cứu đánh giá được tình trạng kỹ thuật của toàn bộ hệ thống phanh cũng như của từng cụm và phần tử riêng biệt trong hệ thống có ý nghĩa rất quan trọng. Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết xây dựng mô hình Markov dựa trên phân tích đặc điểm kết cấu của hệ thống phanh thủy khí nhằm đánh giá được tình trạng kỹ thuật của cả hệ thống và các phần tử. Dựa trên bộ thông số đầu vào là tần suất hư hỏng được thống kê từ các đơn vị sử dụng, kết quả đầu ra là độ tin cậy và các quy luật suy giảm độ tin cậy của cả hệ thống và các phần tử trong hệ thống phanh. Kết quả khảo sát có thể được sử dụng để tối ưu hóa việc dự trữ phụ tùng, thay đổi chu kỳ tác động kỹ thuật, nhằm nâng cao hiệu quả của công tác khai thác trang bị.

Từ khóa: Hệ thống phanh thủy khí, độ tin cậy, mô hình Markov.

Abstract

The hydraulic-compressed air brake system has a very complex structure and is often equipped on heavy trucks. The reliability and technical states of the brake system have a significant influence on the vehicle's safety of movement and controllability. Therefore, it is essential to study and evaluate the technical conditions of the entire brake system, each cluster and element. This paper presents the theoretical basis for building a Markov model based on the analysis of structural characteristics of the hydraulic-compressed air brake system to assess the technical status of both

the design and its components. Based on the input parameters that are the failure frequency statistics from actual units, the output results are the reliability and the reliability decline rules of both the system and the elements. The survey results can help optimize spare parts management, change the technical impact cycle, and propose solutions to improve maintenance and repair work efficiency.

Keywords: Hydraulic-Compressed air brake system, reliability, markov model.

1. Mở đầu

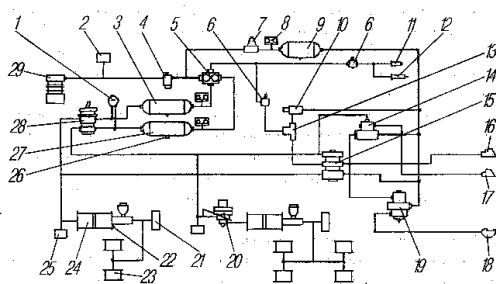
Có những thống kê cho thấy rằng 15% tai nạn giao thông hàng năm ở nước ta đối với đối tượng là xe tải và xe khách liên quan đến trục trặc của hệ thống phanh. Những tai nạn này có gây ra thiệt hại lớn về kinh tế, thương tật cá nhân và thậm chí tử vong. Điều này cho thấy hệ thống phanh đóng một vai trò rất quan trọng đối với tính an toàn chuyển động của ô tô. Do đó, việc nghiên cứu khảo sát độ tin cậy và an toàn của hệ thống phanh là rất cần thiết. Có nhiều phương pháp khác nhau để khảo sát, đánh giá tình trạng kỹ thuật của các hệ thống, bài báo tập trung trình bày phương pháp xây dựng mô hình Markov và ứng dụng trong nghiên cứu xác định tình trạng kỹ thuật hệ thống phanh thủy khí trên xe tải hạng trung.

Với mô hình dự báo độ tin cậy trên cơ sở lý thuyết Markov có thể cung cấp cơ sở để thiết kế, điều chỉnh và tối ưu hóa chỉ số độ tin cậy. Kết quả dự báo độ tin cậy sẽ chỉ rõ được các phần tử có độ tin cậy thấp, từ đó có thể có những điều chỉnh chu kỳ tác động kỹ thuật nhằm mục đích nâng cao độ tin cậy của các cụm và toàn bộ hệ thống phanh [1]. Mô hình Markov dự báo độ tin cậy có thể được ứng dụng với nhiều hệ thống động lực học [2]. Có một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng đối với hệ thống phanh thủy khí trang bị trên ô tô tải hạng trung,

hạng nặng và ô tô chở khách tỷ lệ xuất hiện lỗi trong hệ thống có thể được xem như là những hằng số và như vậy tuổi thọ trung bình của phần tử và hệ thống biến đổi theo một hàm lũy thừa nào đó [3]. Đồng thời, tốc độ thay đổi giữa các trạng thái trong hệ thống phanh cũng có thể coi như là các hằng số khác nhau phụ thuộc vào tần suất xuất hiện hư hỏng và khả năng sửa chữa phục hồi. Đây chính là điều kiện tiên quyết để ứng dụng mô hình Markov trong phân tích, đánh giá và dự báo độ tin cậy cho các cụm và phần tử trong hệ thống phanh. Kết quả khảo sát bằng mô hình Markov sẽ cho phép dự trù được vật tư thay thế, hiệu chỉnh chu kỳ tác động kỹ thuật nhằm cải thiện hiệu quả của công tác bảo dưỡng, sửa chữa [5].

2. Phân tích cấu trúc hệ thống phanh thủy khí trên xe vận tải hạng trung

Sơ đồ cấu trúc hệ thống phanh dẫn động thủy khí trang bị trên các xe vận tải hạng trung được thể hiện trên Hình 1. Máy nén khí được trích công suất từ động cơ đốt trong cung cấp khí nén cho các bình chứa. Người lái điều khiển hệ thống phanh chính thông qua tổng van phanh 28 cung cấp khí nén áp suất cao qua các van và hệ thống đường ống đến xi lanh thủy khí 24. Pít tông trong xi lanh khí nén 24 tác động đến pít tông trong xi lanh thủy lực mắc nối tiếp dồn dầu thủy lực áp suất cao tới các xi lanh phanh bánh xe 23 tiến hành quá trình phanh. Ngoài hệ thống phanh chính trên xe còn được trang bị thêm các chức năng của hệ thống phanh dự phòng, hỗ trợ.



Hình 1. Sơ đồ khối chức năng hệ thống phanh dẫn động thủy khí trên xe vận tải hạng trung

1. Đồng hồ; 2. Van kéo; 3,9,27. Bình khí nén; 4. Bộ điều chỉnh áp suất; 5. Van bảo vệ ba ngã; 6. Van ngắt phanh rô moóc; 7. Van bảo vệ đơn; 8. Cảm biến áp suất; 10. Van điều khiển đỗ xe; 11. Xi lanh ngắt cung cấp nhiên liệu; 12. Xi lanh đóng nắp ống xả bằng khí nén; 13. Van hai dòng; 14. van bảo vệ; 15. Van điều khiển phanh rô moóc; 16,17. Đầu nối đường dẫn; 18. Đầu nối kiểu "A"; 19. Van phanh rô moóc; 20. Bộ điều hòa lực phanh; 21. Cảm biến báo phanh; 22. Cảm biến sự cố cổ phanh; 23. Xi lanh phanh bánh xe; 24. Xi lanh khí nén; 25. Van điều khiển dầu ra; 26. Lọc nước; 28. Tổng van phanh; 29. Máy nén khí.

Nếu chi xét cho hệ thống phanh chính, có thể chia chúng thành các phần: (i). Nguồn cung cấp năng lượng bao gồm máy nén khí, van hạn chế áp suất, các bình khí nén; (ii). Phần điều khiển là tổng van phanh hai tầng nhận tác dụng từ lực bàn đạp phanh do người lái tác động, đóng và mở các cửa van cấp khí nén áp suất cao tới các xi lanh khí nén; (iii). Phần dẫn động gồm các đường ống dẫn khí nén, thủy lực, pít tông của xi lanh khí nén và thủy lực, xi lanh phanh thủy lực kép tại các bánh xe; (iv). Phần cơ cấu phanh bao gồm các má phanh và tang trống tạo ra mô men phanh tại các bánh xe khi thực hiện quá trình phanh xe. Các cụm này được ghép nối tiếp với nhau. Đây chính là giả thiết chính khi xây dựng mô hình khảo sát độ tin cậy của hệ thống phanh chính dựa trên mô hình Markov. Độ tin cậy của hệ thống được tính toán cho mô hình các cụm và hệ thống có khả năng phục hồi khi được mắc nối tiếp nhau.

3. Mô hình Markov khảo sát độ tin cậy của cơ cấu phanh trên hệ thống phanh thủy khí trên xe vận tải hạng trung

Mô hình Markov đặc biệt thích hợp để phân tích hệ thống phức hợp [6]. Các nội dung tác động kỹ thuật để giảm thiểu sự suy giảm tình trạng kỹ thuật trong quá trình khai thác, với một hệ thống phanh thủy khí có nhiều cụm và phần tử cấu thành là rất lớn. Đồng thời, dựa trên bộ số liệu thống kê hư hỏng của các phần tử trong hệ thống phanh tại các cơ sở sử dụng ô tô (bộ số liệu thống kê được lấy từ dữ liệu ghi chép nhiều năm tại các đơn vị quản lý và sử dụng xe ở khu vực miền núi phía Bắc), bằng phương pháp tính toán trung bình thống kê, cường độ hư hỏng trung bình của cơ cấu phanh được xác định đối với xe hoạt động sau 37.500km là 0,0599h⁻¹. Như đã giả thiết ở phần đầu, cường độ hư hỏng có thể được coi là không đổi đối với phần lớn hệ thống cơ khí phức tạp, tương tự như đối với giá trị cường độ hư hỏng, thời gian trung bình giữa hai lần hư hỏng của cơ cấu phanh bánh xe được xác định qua bộ số liệu thống kê thực nghiệm là 48.735km xe chạy. Theo sổ tay kỹ thuật, thời gian sửa chữa để khắc phục hư hỏng tại cơ cấu phanh của mỗi bánh xe là trung bình là 2h, do đó cường độ sửa chữa là 0,5 [7]. Các trạng thái hoạt động của cơ cấu phanh được thể hiện trên Bảng 1 và sơ đồ Markov chuyển giữa các trạng thái đề cập ở trên được thể hiện trên Hình 2.

Với các trạng thái được giải thích cụ thể như sau:

- S₀: Hệ thống tốt, hệ thống có xác suất làm việc không hỏng P₀ = 1.

- S₁: Suy giảm chất lượng phanh do hư hỏng ở cơ cấu phanh một bên bánh xe cầu trước.

Bảng 1. Các trạng thái của Cơ cấu phanh và Hệ thống

Trạng thái	Cơ cấu phanh cầu trước	Cơ cấu phanh cầu sau	Hệ thống phanh chính
S ₀	Tốt	Tốt	Tốt
S ₁	Hỏng 1	Tốt	Suy giảm
S ₂	Tốt	Hỏng 1	Suy giảm
S ₃	Hỏng 1	Hỏng 1	Hông
S ₄	Hông 2	-	Hông
S ₅	-	Hông 2	Hông

- S₂: Suy giảm chất lượng phanh do hư hỏng ở cơ cấu phanh một bên bánh xe cầu sau.

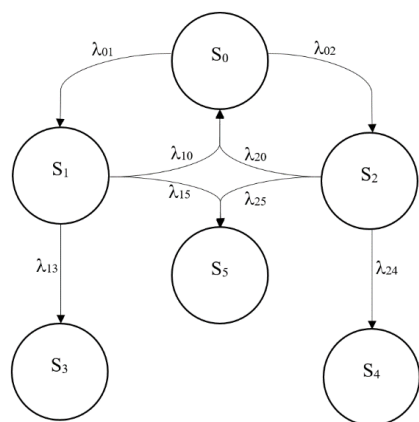
- S₃: Hệ thống xảy ra hư hỏng ở tất cả các cơ cấu phanh bánh xe cầu trước, dẫn đến hư hỏng hệ thống.

- S₄: Hệ thống xảy ra hư hỏng ở tất cả các cơ cấu phanh bánh xe cầu sau, dẫn đến hư hỏng hệ thống.

- S₅: Hệ thống xảy ra sự cố do hư hỏng ở tất cả các cơ cấu phanh bánh cầu xe trước và cầu sau, dẫn đến coi như hư hỏng hệ thống.

$$\lambda(t) = \begin{bmatrix} -(\lambda_{01} + \lambda_{02}) & \lambda_{01} & \lambda_{02} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(\lambda_{10} + \lambda_{13} + \lambda_{15}) & 0 & \lambda_{13} & 0 & \lambda_{15} \\ 0 & 0 & -(\lambda_{20} + \lambda_{24} + \lambda_{25}) & 0 & \lambda_{24} & \lambda_{25} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(1)



Hình 2. Sơ đồ chuyển các trạng thái mô hình Markov

Ma trận chuyển trạng thái được thiết lập như phương trình (1). Hệ phương trình vi phân mô tả hệ thống nhằm xác định xác suất của hệ thống và xác suất của các trạng thái được xây dựng đối với hệ thống phanh chính và cơ cấu phanh như thể hiện ở phương trình (2).

$$\begin{cases} s.P_0(s) - I = -(\lambda_{01} + \lambda_{02})P_0(s) + \lambda_{10}P_1(s) + \lambda_{20}P_2(s) \\ s.P_1(s) = \lambda_{01}P_0(s) - (\lambda_{10} + \lambda_{13} + \lambda_{15})P_1(s) \\ s.P_2(s) = \lambda_{02}P_0(s) - (\lambda_{20} + \lambda_{24} + \lambda_{25})P_2(s) \\ s.P_3(s) = \lambda_{13}P_1(s) \\ s.P_4(s) = \lambda_{24}P_2(s) \\ s.P_5(s) = \lambda_{15}P_1(s) + \lambda_{25}P_2(s) \end{cases}$$

(2)

Sau khi thực hiện phép biến đổi Laplace, ta nhận được hệ phương trình mô tả hệ thống theo mô hình Markov như hệ phương trình (3):

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda_{01} + \lambda_{02})P_0(t) + \lambda_{10}P_1(t) + \lambda_{20}P_2(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{01}P_0(t) - (\lambda_{10} + \lambda_{13} + \lambda_{15})P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{02}P_0(t) - (\lambda_{20} + \lambda_{24} + \lambda_{25})P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{13}P_1(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_{24}P_2(t) \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = \lambda_{15}P_1(t) + \lambda_{25}P_2(t) \end{cases}$$

(3)

Trong đó: s là phép toán biến đổi Laplace, $P_{(i=0:5)}(s)$ là xác suất của hệ thống tương ứng với các trạng thái từ $S_0 \rightarrow S_5$, $\lambda_{j,k}$ (h^{-1}) tương ứng là tần suất hư hỏng và cường độ phục hồi chuyển tiếp giữa các trạng thái.

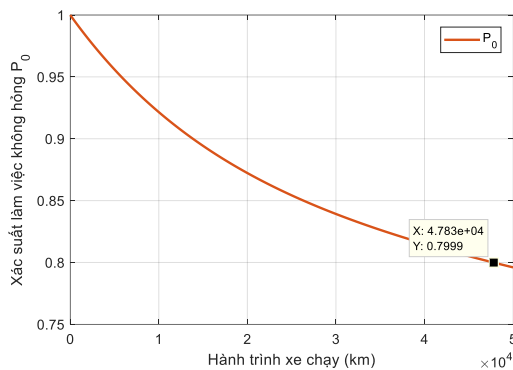
Bảng 2. Thông số đầu vào cho tính toán

STT	Cường độ hư hỏng	Giá trị (h^{-1})
1	λ_{01}	0,0599
2	λ_{02}	0,0599
3	λ_{10}	0,5
4	λ_{13}	0,0599
5	λ_{15}	0,0599
6	λ_{20}	0,5
7	λ_{24}	0,0599
8	λ_{25}	0,0599

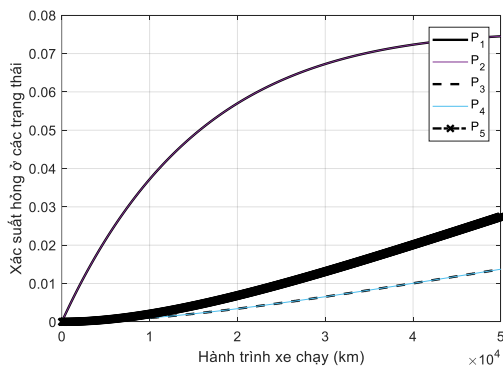
Bộ số liệu đầu vào cho tính toán được thể hiện trong Bảng 2 theo như các phân tích đã chỉ ra ở trên dựa trên bộ số liệu thống kê tại cơ sở sử dụng xe cũng như số tay phục vụ cho quá trình công nghệ bảo dưỡng và sửa chữa các cụm và hệ thống trên xe.

4. Kết quả khảo sát và bàn luận

Với bộ số liệu đầu vào và giải hệ phương trình vi phân (3), ta sẽ nhận được xác suất làm việc không hỏng của toàn bộ hệ thống P_0 tương ứng với trạng thái S_0 (Hình 3).



Hình 3. Xác suất xuất làm việc không hỏng của cơ cấu phanh P_0 theo hành trình xe chạy



Hình 4. Xác suất của các trạng thái xuất hiện hư hỏng theo hành trình xe chạy

Bảng 3. Xác suất của các trạng thái của hệ thống tại các thời điểm thực hiện các tác động kỹ thuật theo chu kỳ

Xác suất	Bảo dưỡng 1 (2000km)	Bảo dưỡng 2 (10.000km)	Sửa chữa vừa (50.000km)
P_0	0,9810	0,9215	0,796
P_1	0,0094	0,0372	0,0745
P_2	0,0094	0,0372	0,0745
P_3	4,78e-05	0,00102	0,001368
P_4	4,78e-05	0,00102	0,001368
P_5	9,57e-05	0,00205	0,02746

Kết quả khảo sát với bộ số liệu đầu vào cho thấy rằng khi xác suất làm việc không hỏng của cơ cấu phanh P_0 giảm xuống dưới ngưỡng 0,8, tương ứng với hành trình xe chạy là 47.830km. Giá trị hành trình này rất gần với giá trị được nêu trong số tay hướng dẫn sử dụng ô tô với ngưỡng hành trình là 50.000km xe chạy sẽ thực hiện tác động kỹ thuật với các công việc thuộc mức sửa chữa vừa.

Trên Hình 4 thể hiện xác suất xuất hiện hư hỏng của các trạng thái khác tương ứng từ $S_1...S_5$. Từ quy luật này nhận thấy rằng xác suất xảy ra hư hỏng với trạng thái S_1 và S_2 là như nhau và luôn có giá trị lớn nhất. Điều này có thể giải thích rằng hệ thống phanh là đối xứng theo chiều dọc thân xe và việc xảy ra hư hỏng ở 1 cơ cấu phanh trên một cầu xe (cả trước và sau) đều luôn là trường hợp có khả năng xảy ra nhiều nhất. Có thể giải thích tương tự với quy luật biến đổi xác suất hư hỏng ở hai trạng thái S_3 và S_4 , tuy nhiên khả năng xảy ra hư hỏng của cả hai cơ cấu phanh cùng một thời điểm trên cùng 1 cầu xe là thấp hơn.

Kết quả tổng hợp xác suất xảy ra các trạng thái tương ứng với chu kỳ tác động kỹ thuật được thể hiện trên Bảng 3. Từ kết quả này và những phân tích ở trên, nhận thấy có thể phải điều chỉnh chu kỳ tác động kỹ thuật ở mức sửa chữa vừa sớm hơn so với quy định trong số tay hướng dẫn sử dụng. Với quy định là 50.000km, xác suất làm việc không hỏng của hệ thống P_0 là 0,796 dưới ngưỡng cho phép là 0,8. Có thể giải thích kết quả nêu trên đó là bộ số liệu thống kê được lấy từ các đơn vị sử dụng xe trên địa bàn miền núi phía Bắc, với đặc điểm địa hình nhiều dốc cao, nhiệt độ và độ ẩm lớn sẽ gây tác động tiêu cực rất lớn đối với cơ cấu phanh nói riêng và hệ thống phanh nói chung của ô tô. Do vậy, hệ thống phanh có cường độ hoạt động cao hơn.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày được nội dung và phương pháp xây dựng mô hình Markov nhằm đánh giá tình trạng kỹ thuật của cơ cấu phanh trên hệ thống phanh dẫn động thủy lực khí nén kết hợp trên cơ sở phân tích cấu trúc của hệ thống, sử dụng bộ số liệu thống kê làm đầu vào. Giá trị xác suất làm việc không hỏng của hệ thống theo các trạng thái tương ứng được xác định thông qua phương pháp nêu trên có độ tin cậy tốt sau khi so sánh với các ngưỡng quy định của nhà sản xuất. Từ đó nhận thấy mô hình Markov xây dựng được có tính khả dụng cao trong nghiên cứu xác định độ tin cậy cũng như tình trạng kỹ thuật của các cụm và hệ thống phức tạp. Đối với đối tượng được lựa chọn nghiên cứu là ô tô vận tải hạng trung hoạt động trên

địa bàn miền núi phía Bắc, đề xuất giảm thời gian chu kỳ tác động kỹ thuật với mức sửa chữa vừa xuống 47.000km xe chạy để đảm bảo duy trì được ngưỡng xác suất làm việc không hỏng của toàn hệ thống luôn lớn hơn hoặc bằng 0,8. Tuy nhiên, bài báo mới chỉ xây dựng được mô hình Markov với 6 trạng thái đặc trưng và phần nhiều tập trung vào hư hỏng của cơ cấu phanh. Hướng nghiên cứu tiếp theo sẽ tiếp tục phát triển mô hình nêu trên cho các cụm khác của toàn bộ hệ thống như các van điều khiển, van bảo vệ, xi lanh thủy khí.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ZENG Sheng-kui, ZHAO Yan-di, ZHANG Jiang-guo, KANG Rui, SHI Jun-you. *Analysis tutorial of system reliability design*. BEI Jing: Beihang University Press, 2001.
- [2] HONG Qiang, LIANG Liang. *Reliability analysis of automotive brake systems based on dynamic fault tree*. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, s1:206-212, 2009.
- [3] Celentano. Giovanni, Iervolino. Raffaele, Fontana. Vincenzo, Porreca. Stefano. *Evaluation of the quality of a car braking system by a Dynamic Simulator*. Quality and Reliability Engineering International, Vol.20(2):pp.155-166, 2004.
- [4] YANG Chung-Ming, YANG Su-Fen. *Adaptive control scheme for a process with incorrect adjustment*. 2009 1st Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems, ACIIDS [C]. Piscataway, NJ, USA, 2009.
- [5] Dominguez-Garcia, Alejandro D, Kassakian, John G, Schindall. Joel E. *Reliability evaluation of the power supply of an electrical power net for safety-relevant applications*. Reliability Engineering and System Safety, Vol.91(5): pp.505-514, 2006.
- [6] Andrea Bobbio, Aldo Cumani. *A Markov approach to wear-out modelling*. Microelectronics Reliability, Vol. 1(23): pp.113-119, 1983.
- [7] YU Quan-yu, ZHU Cheng, WANG Zi-weng, *The fault tree number simulation on automobile braking function in losed*. Advanced Materials Research[C], Lijiang, China, 2011.

Ngày nhận bài:	29/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	09/8/2021
Ngày duyệt đăng:	16/8/2021