

# TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG GIÃN CÁCH CHẠY TÀU CHO ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ

TS. NGUYỄN DUY VIỆT  
KS. TRỊNH VĂN MỸ  
*Bộ môn Tín hiệu Giao thông*  
*Khoa Điện – Điện tử*  
*Trường Đại học Giao thông Vận tải*

**Tóm tắt:** *Giãn cách thời gian chạy tàu là một thông số quan trọng để điều khiển chạy tàu, đặc biệt đối với hệ thống đường sắt đô thị, nó ảnh hưởng chính đến an toàn và năng lực chạy tàu trên tuyến.*

*Bài báo đưa ra phương pháp tính toán giãn cách chạy tàu thông qua việc so sánh giữa các phương thức đóng đường: đóng đường cố định (FB-Fixed block), đóng đường cận di động (QB-Quasi moving block), và đóng đường di động (MB-Moving block).*

**Summary:** *Train's time interval is an important parameters to control train's operation, specially for urban rail lines. It will effect the safety and traffic capacity in the line.*

*The way to calculate the subway train's time interval is proposed though the comparision between block signaling systems: the fixed block, quasi-moving block and moving block.*

ĐT

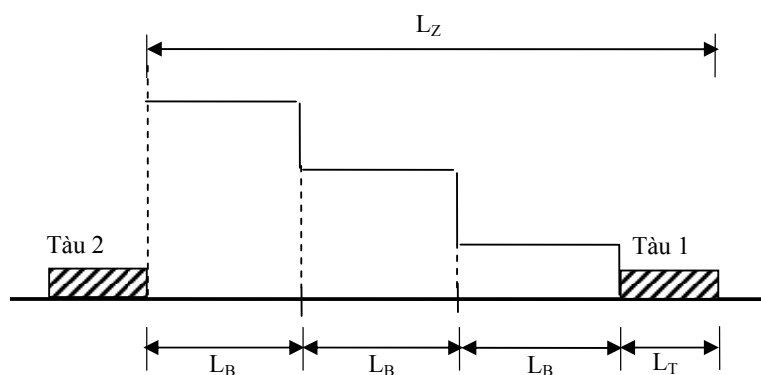
## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong phương thức vận tải đường sắt đô thị hiện đại, sự vận hành của đoàn tàu có thể được điều khiển dựa trên giãn cách thời gian thông qua hệ thống điều khiển tín hiệu đóng đường tự động (đã có ở phương thức vận tải đường sắt truyền thống). Việc tính toán giãn cách chạy tàu chính xác để đánh giá được khả năng của hệ thống tín hiệu là rất quan trọng. Đã có nhiều nghiên cứu về vấn đề này, nhưng hầu hết các nghiên cứu là cho đường sắt truyền thống nói chung, mô hình và các kết luận của các nghiên cứu đó không thích hợp cho đường sắt đô thị (đặc biệt là các tuyến đi ngầm). Giãn cách thời gian giữa các đoàn tàu được xác định bằng thời gian cần thiết cho một đoàn tàu phía sau đi hết quãng đường từ chính nó tới đoàn tàu phía trước thông qua hệ thống tín hiệu, công suất của động cơ, khả năng hãm, khoảng cách hãm, chiều dài của đoàn tàu, thời gian dừng, v.v. Hệ thống tín hiệu càng hiện đại thì giãn cách thời gian sẽ có khả năng nhỏ hơn, chính xác hơn. Sau khi phân tích hệ thống khống chế tốc độ của đường sắt đô thị, nghiên cứu sự vận hành của các đoàn tàu chạy kế tiếp, sẽ xây dựng mô hình của giãn cách thời gian và các phương pháp tính toán dựa trên các hệ thống tín hiệu khác nhau.

## II. NỘI DUNG

Sự khác nhau về đặc tính giãn cách theo thời gian của các hệ thống khống chế tốc độ chạy tàu.

### a. Hệ thống đóng đường cố định



Hình 1. Giãn cách chạy tàu của đóng đường cố định

Trong hệ thống đóng đường cố định truyền thống, tuyến đường phân chia thành các phân khu, chiều dài của mỗi phân khu phụ thuộc vào tốc độ lớn nhất của đoàn tàu, khả năng hãm của đoàn tàu và số biểu thị tín hiệu. Tại bất cứ thời điểm nào, chỉ duy nhất một đoàn tàu được chiếm dụng một phân khu, phân khu thường được trang bị mạch điện đường ray để phát hiện sự thanh thoát hay chiếm dụng của đoàn tàu. Hệ thống đóng đường cố định sẽ làm giảm năng lực của cả tuyến đường. Trong hệ thống đóng đường 3 biểu thị, giãn cách chạy tàu thông thường là 3 phân khu. Giãn cách được mô tả như hình 1.

ĐT

Giãn cách thời gian giữa các đoàn tàu chạy kế tiếp có thể được tính như sau:

$$T_z = 3.6 \times L_z / V = 3.6 \times (3L_B + L_T) / V \quad (1)$$

Trong đó:  $T_z$  - là giãn cách thời gian, s;  $L_z$  - là khoảng cách giữa các tàu kế cận cộng thêm chiều dài của đoàn tàu phía trước, m;  $L_B$  - chiều dài của phân khu đóng đường cố định, m;  $L_T$  - chiều dài của đoàn tàu, m;  $V$  - vận tốc trung bình của đoàn tàu phía sau, km/h;

### b. Hệ thống đóng đường cận di động

Hệ thống phòng vệ quá tốc độ dùng đóng đường cận di động lấy mục tiêu là điểm dừng ở phía trước để điều chỉnh tốc độ đoàn tàu. Vì điều đó hệ thống phải căn cứ vào khoảng cách đến mục tiêu, tốc độ của mục tiêu và các thông số của chính đoàn tàu để xác định đường cong tốc độ hãm tàu. Đường cong tốc độ hãm tàu này được liên tục điều chỉnh cho phù hợp với tình trạng tuyến đường, các yêu cầu khống chế, các thông số và vị trí tương quan giữa hai đoàn tàu để thực hiện hãm tàu một lần mà không cần quy định cấp tốc độ khi hãm tàu của mỗi phân khu đóng đường. Mục tiêu dừng tàu ở phía trước của phương thức đóng đường cận di động là điểm đầu của phân khu đóng đường mà đoàn tàu chạy phía trước chiếm dụng (đương nhiên là phải cộng

thêm khoảng cách an toàn cần thiết). Điểm đoàn tàu chạy sau bắt đầu hãm được căn cứ vào khoảng cách giữa hai đoàn tàu, tốc độ của đoàn tàu chạy phía trước và các thông số của đoàn tàu chạy sau để tính toán xác định. Mục tiêu điểm dừng là điểm đầu của phân khu đóng đường mà đoàn tàu chạy phía trước chiếm dụng, do đó trong khoảng thời gian nhất định, nó không thay đổi do đoàn tàu chạy trước đang chạy trong một phân khu đóng đường vì thế được coi là tương đối cố định – *cận di động*; điểm bắt đầu hãm của đoàn tàu chạy sau được thay đổi tùy theo các tham số của tuyến đường và của vị trí đoàn tàu chạy sau do đó nó luôn thay đổi.

Có một sự cải tiến trong điều khiển giãn cách thời gian sử dụng hệ thống đóng đường cận di động hơn so với hệ thống đóng đường cố định. Đó là trong hệ thống đóng đường cận di động, lượng thông tin được truyền đi lớn hơn so với đóng đường cố định, do đó nó có thể nâng cao sự điều khiển vận hành của đoàn tàu với giãn cách thời gian ngắn hơn và nâng cao năng lực thông qua của tuyến đường. Giãn cách được tính toán theo công thức sau:

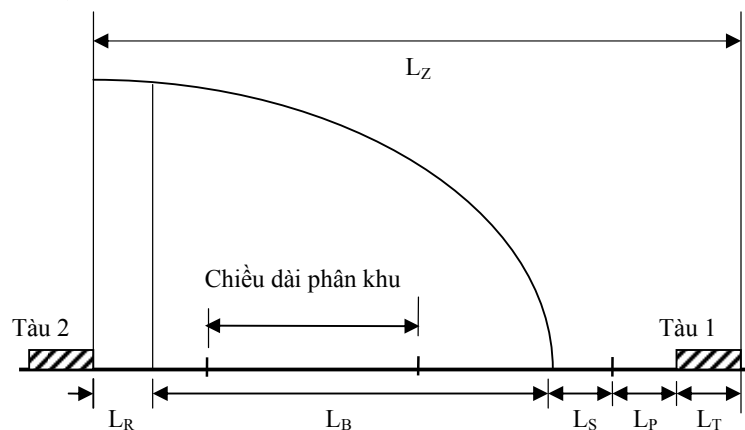
$$T_z = T_R + T_B + T_S + T_P + T_T \quad (2)$$

Tương đương với:

$$T_z = 0.28 \times V_{\max} / b + 3.6 \times (L_R + L_S + L_P + L_T) / V_{\max} \quad (3)$$

Trong đó:  $T_z$  - là giãn cách thời gian, s;  $T_R$  - thời gian động tác của thiết bị hoặc của lái tàu, s;  $T_B$  - là thời gian hãm của đoàn tàu phía sau ( $V_{\max}/b$ , với  $V_{\max}$ : vận tốc khi bắt đầu hãm), s;  $T_P$  - là thời gian chạy của đoàn tàu trong quãng đường an toàn  $L_P$ , s;  $T_T$  - là thời gian chạy của đoàn tàu trong quãng đường  $L_T$ , s;  $b$  - hệ số hãm,  $m/s^2$ ;  $V_{\max}$  - vận tốc lớn nhất của đoàn tàu,  $km/h$ ;  $L_T$  - chiều dài của đoàn tàu, m;  $L_R$  - chiều dài quãng đường mà đoàn tàu chạy trong khoảng thời gian  $T_R$ , m;  $L_B$  - chiều dài quãng đường đoàn tàu sau chạy được từ lúc bắt đầu hãm đến khi dừng lại, m;  $L_S$  - là khoảng cách an toàn tính từ điểm dừng của đoàn tàu phía sau đến điểm bắt đầu của phân khu bị chiếm dụng của đoàn tàu phía trước, m;  $L_P$  - là quãng đường từ đuôi của đoàn tàu phía trước đến điểm bắt đầu của phân khu bị chiếm dụng bởi đoàn tàu phía trước, m.

Giãn cách thời gian tối thiểu như được mô tả dưới hình 2.



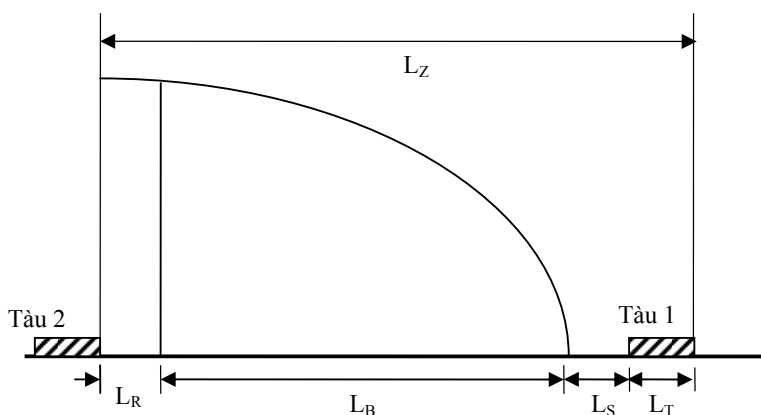
Hình 2. Giãn cách chạy tàu của đóng đường cận di động

### c. Hệ thống đóng đường di động

Trong phương thức đóng đường di động, mục tiêu hãm tàu của đoàn tàu chạy sau là điểm cuối của đoàn tàu chạy trước. Về nguyên tắc khi tốc độ đoàn tàu vượt quá đường cong khống chế tốc độ thì phải tiến hành hãm thường. Do không phân chia thành các phân khu đóng đường cố định nên khoảng cách các đoàn tàu không phụ thuộc vào chiều dài của phân khu đóng đường, khoảng cách đến mục tiêu hãm của đoàn tàu chạy sau chỉ là khoảng cách từ tàu chạy sau đến điểm cuối của đoàn tàu chạy phía trước, do đó đường cong tốc độ hãm của đoàn tàu chạy sau liên tục được điều chỉnh cho phù hợp với tốc độ của đoàn tàu chạy phía trước và khoảng cách giữa hai đoàn tàu, nhờ đó đường cong tốc độ hãm của đoàn tàu không bị đột ngột thay đổi như sử dụng phương thức đóng đường cố định hoặc đóng đường cận di động. Khoảng cách giữa hai đoàn tàu và yêu cầu khống chế tốc độ chỉ còn phụ thuộc vào tham số của tuyến đường, thời gian dừng tàu ở ga và tham số của đoàn tàu.

Sự vận hành của hệ thống đóng đường di động dựa vào các kết nối thông tin đẳng hướng liên tục giữa các đoàn tàu và các bộ điều khiển được bố trí ở dọc đường cũng như điều khiển trung tâm. Việc xác định vị trí các đoàn tàu đòi hỏi chính xác hơn so với hệ thống phân khu cố định. Trong hệ thống phân khu di động, vận tốc của các đoàn tàu phía sau sẽ được đưa ra tùy thuộc vào vị trí của đoàn tàu phía trước. Hay có thể nói rằng, giãn cách thời gian có thể được đưa ra rất linh hoạt tùy thuộc vào sự vận hành của đoàn tàu. Hệ thống đóng đường di động cho phép rút ngắn tối đa giãn cách chạy tàu. Khoảng thời gian hạn chế nhất xảy ra khi đoàn tàu tới gần nhà ga, khi đó các đoàn tàu phía trước phải rời đi trong thời gian đoàn tàu phía sau chạy vào ga theo đúng đường cong hãm bình thường của nó. Giãn cách tối thiểu được chỉ ra như trong hình số 3.

ĐT



Hình 3. Giãn cách chạy tàu của đóng đường di động

Thời gian giãn cách  $T_Z$  có thể được phân chia thành 4 phần:

- (1)  $T_1$ : khoảng thời gian mà đoàn tàu phía trước chạy ra khỏi khu vực phòng vệ  $L_S$ ; s;
- (2)  $T_R$ : khoảng thời gian động tác (phản ứng) của thiết bị hoặc của lái tàu; s;
- (3)  $T_B$ : khoảng thời gian hãm của đoàn tàu phía sau ( $V_2 / b$ , với  $V_2$  là vận tốc ban đầu trước

khi hãm), s;

(4)  $T_D$ : Khoảng thời gian đoàn tàu phía sau dừng tại ga, s.

Giãn cách tối thiểu được tính như sau:

$$T_z = T_R + V_2/b + T_D + T_1 \quad (4)$$

(a) Nếu  $V_1 \geq \sqrt{2a(L_T + L_S)}$  thì  $L_T + L_S = 0.5aT_1^2$ , điều đó có nghĩa là đoàn tàu phía trước đã di chuyển một quãng đường  $L_S$  từ nhà ga với gia tốc  $a$ , do đó:

$$T_1 = \sqrt{2(L_T + L_S)/a}$$

(b) Nếu  $V_1 < \sqrt{2a(L_T + L_S)}$ , thì:  $(L_T + L_S) = V_1^2/2a + (T_1 \times V_1/a)$ , điều đó có nghĩa là đoàn tàu phía trước chuyển động đến vận tốc  $V_1$  với gia tốc  $a$ , sau đó chuyển động đều với vận tốc  $V_1$ , do đó tổng quãng đường đi được của đoàn tàu phía trước là  $L_S + L_T$ , ta có:

$$T_1 = [2a(L_T + L_S) + V_1^2]/2aV_1$$

Do đó giãn cách chạy tàu trong đóng đường đi động được tính theo:

$$T_z = T_R + V_2/b + T_D + \sqrt{2(L_T + L_S)/a} \text{ khi } V_1 \geq \sqrt{2a(L_T + L_S)} \quad (5-1)$$

$$T_z = T_R + V_2/b + T_D + [2a(L_T + L_S) + V_1^2]/2aV_1 \text{ khi } V_1 < \sqrt{2a(L_T + L_S)} \quad (5-2)$$

ĐT

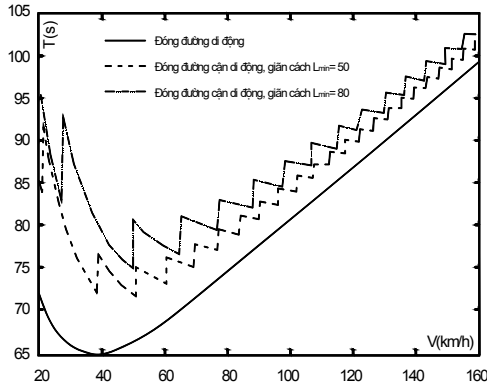
Trên đây chúng ta đã đưa ra công thức tính toán thời gian giãn cách chạy tàu ứng với ba phương thức đóng đường: đóng đường cố định, đóng đường cận di động, đóng đường đi động. Ta thấy rằng, ứng với mỗi lý thuyết đảm bảo an toàn chạy tàu, ta sẽ xác định được một công thức để tính giãn cách an toàn. Trong đó chúng ta đặc biệt lưu ý đến hai phương thức: đóng đường cận di động và đóng đường đi động vì hai phương thức đóng đường này đặc biệt có hiệu quả đối với chạy tàu cho đường sắt đô thị, mật độ lớn. Thêm vào đó nó còn khắc phục được nhược điểm của đóng đường cố định, cho phép khống chế tốc độ chạy tàu một cách mềm dẻo liên tục thay cho phương thức khống chế kiểu bậc thang truyền thống. Vì vậy, trong phần sau chỉ tập trung vào mô phỏng và phân tích cho hai phương thức đóng đường này.

### Mô phỏng và phân tích

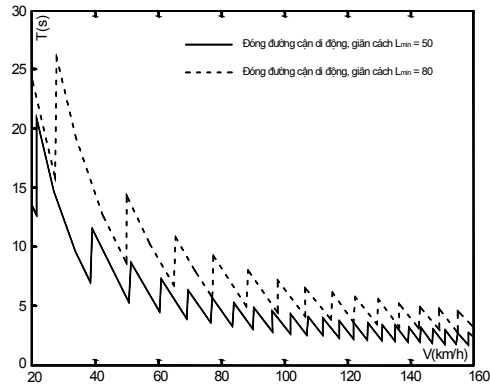
Theo các suy luận ở trên, sau đây sẽ thực hiện mô phỏng giãn cách chạy tàu theo phương thức đóng đường cận di động, theo công thức (4) và đóng đường đi động, theo công thức (5-1) và (5-2). Với giả thiết các thông số đầu vào được xác định như sau: chiều dài của đoàn tàu:  $L_T=120m$ , chiều dài của khu vực phòng vệ:  $L_S=60m$ , hệ số gia tốc:  $a=1m/s^2$ , hệ số hãm:  $b=0.9m/s^2$ , thời gian động tác:  $T_R=1s$ , thời gian tàu dừng tại ga:  $T_D=30s$ , chiều dài của mạch điện phát hiện tàu tối thiểu:  $L_{min}$

$T_z$  tại  $L_{min}$  là 50m và 80m đối với đóng đường đi động và đóng đường cận di động được tính toán cụ thể. Kết quả mô phỏng được thể hiện như hình số 4 và số 5. Hình số 4 thể hiện sự

khác nhau của giãn cách chạy tàu của hệ thống đóng đường đi động và đóng đường cận đi động. Hình số 5 thể hiện sự khác nhau của đặc tính giãn cách chạy tàu của đóng đường cận đi động khi  $L_{min}$  thay đổi.



**Hình 4.** Sự khác nhau về đặc tính giãn cách chạy tàu của hệ thống MB và QB



**Hình 5.** Sự khác nhau về đặc tính giãn cách chạy tàu của hệ thống QB khi  $L_{min}$  thay đổi

Qua đó ta có thể rút ra kết luận như sau:

- (1) Giãn cách chạy tàu của đóng đường đi động thay đổi với  $V_{max}$ , và không có mối quan hệ với  $L_{min}$ , giá trị tối ưu  $T_z=65.058$  đạt được tại  $V_{max}=38.05$ ;
- (2) Giãn cách chạy tàu của đóng đường cận đi động thay đổi với  $L_{min}$  khi vận tốc  $V_{max}$  được cố định, giãn cách chạy tàu tăng khi  $L_{min}$  tăng, mối quan hệ này được thể hiện như trong bảng số 1 và bảng số 2.

**Bảng 1.** So sánh giãn cách chạy tàu của QB và MB tại vận tốc  $V_1=V_2=V_{max}=40km/h$

$L_{min}$	Đóng đường đi động	Đóng đường cận đi động	Chênh lệch
50	65.101	75.928	10.827
80	65.101	79.528	14.427
150	65.101	98.425	33.327

**Bảng 2.** So sánh giãn cách chạy tàu của QB và MB tại vận tốc  $V_1=V_2=V_{max}=80km/h$

$L_{min}$	Đóng đường đi động	Đóng đường cận đi động	Chênh lệch
50	74.665	79.319	4.654
80	74.665	82.919	8.254
150	74.665	88.319	13.654

- (3) Độ lệch về giãn cách chạy tàu của hệ thống đóng đường đi động và hệ thống đóng đường cận đi động sẽ tăng khi tăng  $L_{min}$ , khi vận tốc như nhau thì giãn cách chạy tàu trong đóng đường đi động ngắn hơn so với đóng đường cận đi động;

(4) Nếu giữ giá trị  $L_{\min}$  không thay đổi, giãn cách chạy tàu giữa hai hệ thống tương đương nhau khi tăng giá trị của  $V_{\max}$  như được thể hiện trong bảng số 3 và số 4.

**Bảng 3.** So sánh giãn cách chạy tàu của QB và MB khi vận tốc thay đổi tại  $L_{\min} = 50m$

$V_{\max}$	Đóng đường di động	Đóng đường cận di động	Chênh lệch
40	65.101	75.928	10.827
80	74.665	79.319	4.654

**Bảng 4.** So sánh giãn cách chạy tàu của QB và MB khi vận tốc thay đổi tại  $L_{\min} = 150m$

$V_{\max}$	Đóng đường di động	Đóng đường cận di động	Chênh lệch
40	65.101	98.428	33.327
80	74.665	88.319	13.654

### III. KẾT LUẬN

Phương thức để tính toán giãn cách chạy tàu của các hệ thống tín hiệu khác nhau cho đường sắt đô thị được phân tích và mô phỏng bằng Matlab. Việc tính được các giãn cách chạy tàu phụ thuộc vận tốc và các yếu tố khác sẽ làm cơ sở cho hệ thống điều khiển chạy tàu, nó sẽ quyết định việc lựa chọn loại hình hệ thống, quyết định đến an toàn và năng lực thông qua của cả tuyến đường.

Trong tổ chức chạy tàu thực tế còn có rất nhiều các tác động bất định có thể ảnh hưởng giãn cách chạy tàu, do đó ảnh hưởng đến hoạt động điều khiển chạy tàu. Đây cũng là nhiệm vụ cần nghiên cứu tiếp tục.

ĐT

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. LIU Lan, DU Wen. Model and algorithms on velocity- interval control of train operations for automatic block system with miscellaneous messages [J]. Journal of the China Railway Society, 2000, 22(6), pp:8-12.
- [2]. Zhang Ji-min, WU Wen-qi, ZHANG Shu-jing. Calculation of Time Interval between Two Trains in Moving-Block Signal System [J]. Journal of the China Railway Society, 1999, 21 (3) , pp:6 -10 ♦