



KIỂM NGHIỆM KHẢ NĂNG KHỞI ĐỘNG VÀ KHẢ NĂNG CỨU VIỆN CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRÊN ĐỘ DỐC HẠN CHẾ

Kiều Công Thành, Đỗ Đức Tuấn*, Nguyễn Đức Toàn

Trường Đại học Giao thông vận tải, 3Đ Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 21/6/2024

Ngày nhận bài sửa: 18/8/2024

Ngày chấp nhận đăng: 05/9/2024

*Tác giả liên hệ:

Email: ddtuan@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Hiện nay ở Việt Nam mới chỉ có ba tuyến đường sắt đô thị được xây dựng, trong đó tại Hà Nội có hai tuyến Cát Linh - Hà Đông (tuyến số 2A), Nhổn - Ga Hà Nội (tuyến số 3) và tại thành phố Hồ Chí Minh có tuyến Bến Thành - Suối Tiên (tuyến số 1). Tuyến Cát Linh - Hà Đông đã được đưa vào khai thác từ tháng 11 năm 2021, tuyến Nhổn - Ga Hà Nội (đoạn trên cao Nhổn - Cầu Giấy) chuẩn bị đưa vào khai thác trong tháng 7/2024; tuyến Bến Thành - Suối Tiên dự kiến đưa vào khai thác cuối năm 2024. Các dự án đường sắt đô thị ở Việt Nam đều do các nhà thầu nước ngoài thực hiện, chỉ làm nhiệm vụ xây dựng và bàn giao cho Việt Nam sử dụng và khai thác. Vấn đề kiểm nghiệm một số tính năng cơ bản liên quan đến an toàn vận hành như năng lực khởi động và năng lực cứu viện của đoàn tàu; vấn đề xác định và đánh giá các chỉ tiêu khai thác trong điều kiện Việt Nam còn hoàn toàn mới mẻ và cần được nghiên cứu.

Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết tổng quát về kiểm nghiệm khả năng khởi động và khả năng cứu viện của đoàn tàu metro trên độ dốc hạn chế nói chung, từ đó tiến hành kiểm nghiệm khả năng khởi động và khả năng cứu viện của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trên độ dốc hạn chế 30% ở một số chế độ tải trọng khác nhau của đoàn tàu.

Kết quả nghiên cứu là cơ sở tham khảo cho các đơn vị quản lý và sử dụng trong việc xác định và đánh giá các chỉ tiêu về an toàn của đoàn tàu metro trong quá trình khai thác.

Từ khóa: đường sắt đô thị, Cát Linh - Hà Đông, khả năng khởi động, khả năng cứu viện, độ dốc hạn chế, đoàn tàu metro.

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ở các nước tiên tiến, hệ thống giao thông đường sắt đô thị đã có lịch sử hình thành lâu đời và ngày càng phát triển với quy mô ngày càng lớn và công nghệ ngày càng tiên tiến và hiện đại.

Ở Việt Nam, trong vài thập niên trở lại đây, Nhà nước đã bắt đầu chú trọng đến việc phát triển đường sắt đô thị tại các thành phố lớn, trong đó đã tiến hành quy hoạch tổng thể hệ thống đường sắt đô thị tại thành phố Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh. Cho đến nay, về cơ bản Quy hoạch

mạng lưới đường sắt đô thị ở hai thành phố trên đã được phê duyệt và từng bước được triển khai. Tại Hà Nội đã có hai tuyến đường sắt đô thị được triển khai xây dựng, đó là tuyến Cát Linh - Hà Đông (tuyến 2A) và tuyến Nhổn - Ga Hà Nội (tuyến số 3); trong đó tuyến Cát Linh - Hà Đông đã được đưa vào khai thác tháng 11 năm 2021, tuyến Nhổn - Ga Hà Nội (đoạn trên cao Nhổn - Cầu Giấy) theo kế hoạch đưa vào khai thác trong tháng 7 năm 2024. Tại thành phố Hồ Chí Minh tuyến Bến Thành - Suối Tiên (tuyến số 1) cũng đã được gấp rút hoàn thành và sẽ đưa vào khai thác cuối năm 2024.

Các dự án đường sắt đô thị ở Việt Nam đều do các nhà thầu nước ngoài thực hiện, chỉ làm nhiệm vụ xây dựng và bàn giao cho Việt Nam sử dụng và khai thác. Đối với Việt Nam, đây là lĩnh vực hoàn toàn mới mẻ, quá trình tổ chức khai thác là chưa có tiền lệ và kinh nghiệm. Vấn đề kiểm nghiệm một số tính năng cơ bản liên quan đến an toàn vận hành như năng lực khởi động và năng lực cứu viện của đoàn tàu; vấn đề xác định và đánh giá các chỉ tiêu khai thác trong điều kiện Việt Nam cần được từng bước nghiên cứu và hoàn thiện.

Trong đề tài mã số T2024-CK-012 đề cập tới vấn đề kiểm nghiệm năng lực khởi động và năng lực cứu viện của đoàn tàu metro trên độ dốc hạn

chế đối với ba tuyến Cát Linh - Hà Đông, Nhổn - Ga Hà Nội và Bến Thành - Suối Tiên. Do khuôn khổ có hạn, trong bài báo này trình bày một phần nội dung của đề tài, đó là kiểm nghiệm năng lực khởi động và năng lực cứu viện của đoàn tàu metro trên độ dốc hạn chế đối với tuyến Cát Linh - Hà Đông.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

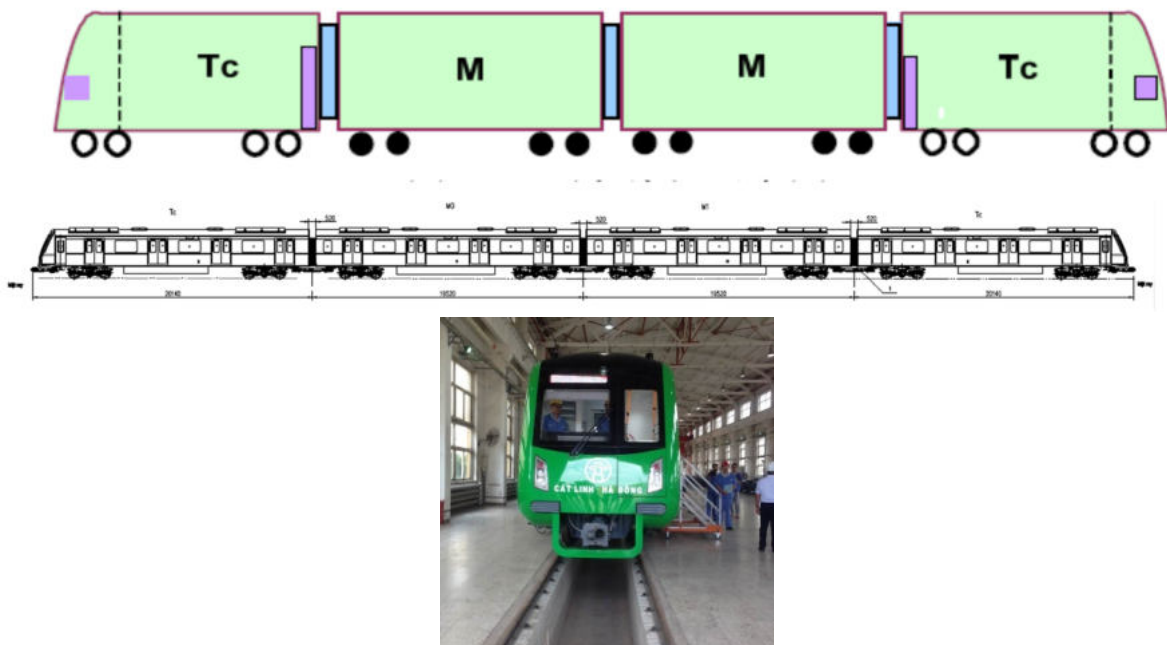
2.1. Giới thiệu tổng quát về các tuyến đường sắt đô thị đã được xây dựng ở Việt Nam

2.1.1. Tuyến đường và phương tiện

a. Tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông

Tuyến Metro số 2A được thiết kế theo công nghệ của Trung Quốc, đường đôi khổ 1.435 mm. Tổng chiều dài tuyến là 13,1 km, chạy hoàn toàn trên cao với 12 ga, ga đầu là Cát Linh và ga cuối là ga Yên Nghĩa, Hà Đông [3],[5]. Tuyến đã được đưa vào khai thác từ tháng 11 năm 2021.

Phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông gồm 13 đoàn tàu, mỗi tàu gồm 4 toa xe có cấu hình Tc- M + M – Tc, như vậy có tổng số 52 toa xe, trong đó có 26 toa động lực không có ca bin (M) và 26 toa kéo theo có cabin (Tc) (Hình 1) [5].



Hình 1. Đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông

**b. Tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Ga Hà Nội**

Tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Ga Hà Nội được thiết kế theo công nghệ của Pháp, đường đôi, khổ đường 1.435 mm. Tổng chiều dài 12,5 km, với 8,5 km đường sắt trên cao (cầu cạn) từ Nhổn đến Cầu Giấy và 4,5 km đi ngầm từ ga Kim Mã đến ga Hà Nội [6]. Đoạn trên cao từ Nhổn đến ga Cầu Giấy dự kiến đưa vào khai thác trong tháng 7 năm 2024. Đoạn đi ngầm từ ga số 9 đến ga số 12 (Kim Mã -

Ga Hà Nội) sẽ được thi công và đưa vào khai thác cuối năm 2027.

Phương tiện đường sắt đô thị tuyến Nhổn - Ga Hà Nội gồm 10 đoàn tàu, mỗi đoàn tàu gồm 4 toa xe có cấu hình Mc - M - T - Mc, như vậy có tổng số 40 toa xe, trong đó có 30 toa động lực với 20 toa có ca bin (Mc), 10 toa không có ca bin (M) và 10 toa kéo theo (T) (Hình 2) [6].



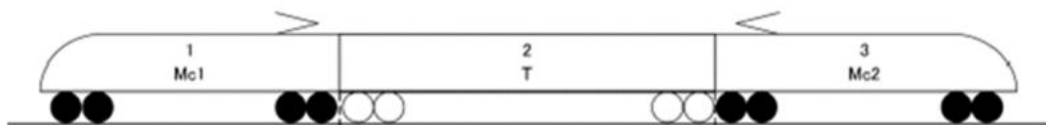
Hình 2. Đoàn tàu metro tuyến Nhổn - Ga Hà Nội

c. Tuyến đường sắt đô thị Bến Thành - Suối Tiên

Tuyến đường sắt đô thị Bến Thành - Suối Tiên được thiết kế theo công nghệ của Nhật Bản là đường đôi, khổ đường 1.435 mm. Tổng chiều dài 19,7 km trong đó có 17,1 km đi trên cao (cầu cạn) và 2,6 km đi ngầm. Toàn tuyến có 14 ga, trong đó có 11 ga đi trên cao từ ga Văn Thánh đến ga Suối Tiên (17,1 km) và 3 ga đi ngầm từ ga từ ga Bến

Thành đến ga Ba Son (2,6 km) [4],[7]. Tuyến Bến Thành - Suối Tiên dự kiến đưa vào khai thác cuối năm 2024.

Phương tiện đường sắt đô thị tuyến Bến Thành - Suối Tiên gồm 17 đoàn tàu, mỗi đoàn tàu gồm 3 toa xe có cấu hình Mc - T - Mc, như vậy có tổng số 51 toa xe, trong đó có 34 toa động lực có ca bin (Mc) và 17 toa kéo theo (T) (Hình 3) [4],[7].



Hình 3. Đoàn tàu metro tuyến Bến Thành - Suối Tiên



2.1.2. Chế độ tải trọng của phương tiện

2.1.2.1. Các chế độ về trạng thái vận chuyển hành khách

a. Đối với tuyến Cát Linh – Hà Đông và Bến Thành – Suối Tiên

Trong các Dự án tuyến đường sắt đô thị Cát Linh – Hà Đông và Bến Thành – Suối Tiên, các chế độ về trạng thái vận chuyển hành khách được định nghĩa như sau [2],[5],[7]:

Chế độ AW0: Tàu rỗng, không có hành khách trên toa xe;

Chế độ AW1: Hành khách ngồi ghế;

Chế độ AW2: Hành khách đứng với mật độ 6 ng/m² (định mức, toàn tải);

Chế độ AW3: Hành khách đứng với mật độ 8 hoặc 9 ng/m² (vượt mức, quá tải).

Trong đó: AW = Add Weight

b. Đối với tuyến Nhổn - Ga Hà Nội

Trong Dự án tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Ga Hà Nội, các chế độ trạng thái vận chuyển hành khách được định nghĩa như sau [6].

1. Chế độ ELE: Tàu rỗng, không có hành khách trên tàu

2. Chế độ EL4: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 4 người/m²

3. Chế độ EL6,6: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 6,6 người/m² (chế độ định mức)

4. Chế độ EL8: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 8 người/m² (chế độ vượt định mức = quá tải)

5. Chế độ EL10: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 10 người/m² (chế độ vượt định mức lớn nhất = quá tải lớn nhất)

EL10: là trường hợp ngoại lệ và không nên xảy ra trong thời gian dài.

Trong đó: ELE = European Load empty

2.1.2.2. Các chế độ về tải trọng của đoàn tàu

a. Đối với tuyến Cát Linh – Hà Đông và Bến Thành – Suối Tiên

Trong các Dự án tuyến đường sắt đô thị Cát Linh – Hà Đông và Bến Thành - Suối Tiên, các chế độ về tải trọng của đoàn tàu được định nghĩa như sau [2],[5],[7]:

Chế độ AW0: Tàu rỗng, không có hành khách trên toa xe;

Chế độ AW1: AW0 + Số hành khách ngồi ghế;

Chế độ AW2: AW1+ Hành khách đứng với mật độ 6 ng/m² (định mức, toàn tải);

Chế độ AW3: AW1+ Hành khách đứng với mật độ 8 hoặc 9 ng/m² (vượt mức, quá tải).

b. Đối với tuyến Nhổn - Ga Hà Nội

Trong Dự án tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Ga Hà Nội, các chế độ tải trọng của đoàn tàu được định nghĩa như sau [6].

1. Chế độ ELE: Tàu rỗng, không có hành khách trên tàu

2. Chế độ EL4: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 4 người/m²

3. Chế độ EL6,6: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 6,6 người/m² (chế độ định mức)

4. Chế độ EL8: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 8 người/m² (chế độ vượt định mức = quá tải)

5. Chế độ EL10: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 10 người/m² (chế độ vượt định mức lớn nhất = quá tải lớn nhất)

EL10: là trường hợp ngoại lệ và không nên xảy ra trong thời gian dài.

Để dễ hình dung về các chế độ tải trọng trong tính toán, đối với tuyến Nhổn – Ga Hà Nội có thể sử dụng bộ ký hiệu như sau:

1. Chế độ AW0 - ELE: Tàu rỗng, không có hành khách trên tàu

2. Chế độ AW1 - EL4: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 4 người/m²

3. Chế độ AW2 - L6,6: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 6,6 người/m² (chế độ định mức)

4. Chế độ AW3 - EL8: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 8 người/m² (chế độ vượt định mức = quá tải)

5. Chế độ AW4 - EL10: Hành khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 10 người/m² (chế độ vượt định mức lớn nhất = quá tải lớn nhất)

EL10: là trường hợp ngoại lệ và không nên xảy ra trong thời gian dài.

Các chế độ tải trọng đoàn tàu trên các tuyến đường sắt đô thị Việt Nam được tổng hợp trong Bảng 1.

**Bảng 1. Tổng hợp các chế độ tải trọng đoàn tàu trên các tuyến**

Chế độ tải trọng	Đoàn tàu Cát Linh - Hà Đông	Đoàn tàu Nhổn - Ga Hà Nội	Đoàn tàu Bến Thành - Suối Tiên
AW0	AW0, Tàu rỗng	AW0 – ELE, Tàu rỗng	AW0, Tàu rỗng
AW1	AW0 + Số hành khách ngồi ghế	AW1 - EL4 Khách ngồi + khách đứng với mật độ 4 ng/m ²	AW0 + Số hành khách ngồi ghế
AW2	AW1+ Hành khách đứng với mật độ 6 ng/m ² (định mức, toàn tải)	AW2 - EL6,6 Khách ngồi + khách đứng với mật độ 6,6 ng/m ² (định mức)	AW1+ Hành khách đứng với mật độ 6 ng/m ² (định mức, toàn tải)
AW3	AW1+ Hành khách đứng với mật độ 9 ng/m ² (vượt mức, quá tải)	AW3 - EL8 Khách ngồi ghế + khách đứng với mật độ 8 ng/m ² (vượt định mức)	AW1+ Hành khách đứng với mật độ 8 ng/m ² (vượt mức, quá tải)
AW4	-	AW4 - EL10 Khách ngồi + khách đứng với mật độ 10 ng/m ² (vượt định mức lớn nhất)	-

2.2. Cơ sở kiểm nghiệm khả năng khởi động của đoàn tàu trên độ dốc hạn chế

2.2.1. Các thông số cơ bản kiểm nghiệm khả năng vận hành của đoàn tàu

2.2.1.1. Khối lượng quy đổi của các bộ phận có chuyển động quay trong đoàn tàu

Khối lượng quy đổi (chuyển đổi) là khối lượng có xét tới hệ số khối lượng quay của các chi tiết quay (bánh xe) trong đoàn tàu tương ứng với một chế độ tải trọng nào đó, tính bằng tấn và được ký hiệu là M_{qd} . Khối lượng quy đổi của đoàn tàu được xác định theo công thức tổng quát sau đây [2],[4],[7]:

2.2.1.2. Lực cản cơ bản của đoàn tàu

Biểu thức tổng quát xác định lực cản cơ bản của đoàn tàu như sau [4],[7]:

$$W_0 = \frac{\left[(1,65 + 0,0247V) \times M_M + (0,78 + 0,0028V) \times M_T + (0,028 + 0,0078 \times (n-1) \times V^2) \right] \times g}{1.000}, \text{ kN} \quad (2)$$

Trong đó: M_M - Khối lượng của các toa xe động lực ở chế độ tải trọng xác định nào đó, tấn;

$$M_M = M_{M_0} + Q_{hk,dl}, \text{ tấn}$$

$$M_{qd} = M_{M_0} n_{dl} \gamma_{dl} + M_{T_0} n_{kt} \gamma_{kt}, \text{ tấn} \quad (1)$$

Trong đó: M_{M_0} - Khối lượng bản thân (tự trọng) của toa xe động lực, tấn; M_{T_0} - Khối lượng bản thân (tự trọng) của toa xe kéo theo, tấn; n_{dl} - Số lượng toa xe động lực trong đoàn tàu; n_{kt} - Số lượng toa xe kéo theo trong đoàn tàu; γ_{dl} - hệ số quán tính quay của toa xe động lực; γ_{kt} - hệ số quán tính quay của toa xe kéo theo.

Hệ số quán tính quay của toa xe động lực được lấy là 0,10 và của toa xe kéo theo được lấy là 0,05 [2],[4],[7], tức là $\gamma_{dl} = 0,10$ và $\gamma_{kt} = 0,05$.



với: M_{M_0} - Khối lượng bản thân (tự trọng) của các toa xe động lực (rỗng), tấn; $Q_{hk,dl}$ - Khối lượng hành khách trên toa các xe động lực ở một chế độ tải trọng xác định nào đó, tấn;

Như vậy, khối lượng của toa xe động lực ở chế độ tải trọng xác định nào đó bằng khối lượng bản thân của các toa xe động lực M rỗng + khối lượng hành khách trên các toa xe động lực ở chế độ tải trọng đó, tấn.

M_T - khối lượng của các toa xe kéo theo ở chế độ tải trọng xác định nào đó;

$$M_T = M_{T_0} + Q_{hk,kt}, \text{ tấn}$$

với: M_{T_0} - khối lượng bản thân (tự trọng) của các toa xe kéo theo (rỗng), tấn; $Q_{hk,dl}$ - khối lượng hành khách trên toa các xe kéo theo ở một chế độ tải trọng xác định nào đó, tấn.

Như vậy, khối lượng của toa xe kéo theo ở chế độ tải trọng xác định nào đó bằng khối lượng bản thân của các toa xe kéo theo T rỗng + khối lượng hành khách trên các toa xe kéo theo ở chế độ tải trọng đó, tấn.

n - số toa xe trong một đoàn tàu; V - tốc độ của đoàn tàu, km/h; g - gia tốc trọng trường, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

2.2.1.3. Lực cản khởi động của đoàn tàu

Lực cản khởi động của đoàn tàu được tính theo công thức tổng quát [1],[2],[4],[7]:

$$W_{kd} = M \times 49 \cdot 10^{-3} \text{ kN/ đoàn tàu} \quad (3)$$

Trong đó: M - tổng khối lượng của đoàn tàu ở một chế độ tải trọng nào đó, tấn.

2.2.1.4. Lực cản phụ đường dốc

Lực cản phụ đường dốc được xác định theo công thức tổng quát [1],[2],[4],[7]:

$$W_i = M \times i \times g, \text{ kN} \quad (4)$$

Trong đó: M - Tổng khối lượng đoàn tàu ở một chế độ tải trọng xác định nào đó, tấn; i - Độ dốc tính toán,

%o hay N/kN; g - Gia tốc trọng trường, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

2.2.1.5. Gia tốc khởi động của đoàn tàu

Giả sử, khi đoàn tàu vận hành trên tuyến, nếu gặp các sự cố như hỏng một số động cơ điện kéo (ĐCĐK), phải dừng trên các độ dốc hạn chế thì đoàn tàu có thể khởi động lại và tiếp tục vận hành hay không, hay phải cần tới sự cứu hộ (cứu viện) bằng một đoàn tàu khác,... Vấn đề đặt ra là phải kiểm nghiệm năng lực của đoàn tàu khi cần khởi động lại trên độ dốc hạn chế và điều này liên quan tới gia tốc của đoàn tàu.

Một cách tổng quát, gia tốc khởi động đoàn tàu được xác định như sau [1],[2],[4],[7]:

Gia tốc = [(Lực kéo) - (Lực cản khởi động) - (Lực cản đường dốc)] / [khối lượng đoàn tàu quy đổi]

Từ đó ta có:

$$a = \frac{F_{k,ldc} \times n_{dc} - W_{kd} - W_i}{M_{qd}} > [a], \text{ m/s}^2 \quad (5)$$

Trong đó: $F_{k,ldc}$ - Lực kéo của một ĐCĐK ở một chế độ tải trọng xác định nào đó, kN; W_{kd} - Lực cản khởi động của đoàn tàu ở một chế độ tải trọng xác định nào đó, kN; W_i - Lực cản đường dốc của đoàn tàu ở một độ dốc xác định nào đó, kN; M_{qd} - Khối lượng quy đổi của đoàn tàu (có xét tới hệ số quán tính quay) ở một chế độ tải trọng xác định nào đó, tấn; n_{dc} - Số lượng ĐCĐK trong đoàn tàu; $[a]$ - gia tốc nhỏ nhất cho phép để đoàn tàu khởi động được, m/s^2 .

2.2.1.6. Hệ số bám tính toán

Một cách tổng quát, hệ số bám được định nghĩa là tỷ số giữa tổng lực kéo vành bánh của các trục bánh xe chủ động với tổng trọng lực tác dụng lên các trục bánh xe chủ động đó. Hệ số bám tính toán được xác định như sau [1],[2],[4],[7]:

$$\mu = \frac{\sum F_{k,bx}}{\sum P_{bx}} \quad (6)$$



Trong đó: $\sum F_{k,bx}$ - Tổng lực kéo vành bánh của các bánh xe chủ động, kN; $\sum P_{bx}$ - Tổng trọng lực tác dụng lên các bánh xe chủ động, kN.

Tỷ số này càng lớn thì nguy cơ trượt bánh càng cao.

Từ công thức tổng quát trên đây, có thể biến đổi thành công thức cụ thể như sau:

Hệ số bám tính toán đối với một toa xe động lực

$$\mu = \frac{F_{kd,ldc} \times n_{dc,M}}{m_{M\min} \times g} \quad (7)$$

Trong đó: $F_{kd,ldc}$ - lực kéo khởi động của một ĐCĐK, kN/động cơ; $n_{dc,M}$ - số lượng ĐCĐK trong một toa động lực; $m_{M\min}$ - khối lượng toa động lực nhẹ nhất, tấn.

Tương tự như vậy, có thể xác định hệ số bám cho một đoàn tàu.

2.3. Xác định các thông số tính toán đối với đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông

2.3.1. Cấu hình và một số thông số kỹ thuật của đoàn tàu

Cấu hình đoàn tàu tuyến Cát Linh - Hà Đông đã thể hiện trên Hình 1.

Thông số kỹ thuật chủ yếu của đoàn tàu thể hiện trong Bảng 2 [2],[5].

Bảng 2. Thông số kỹ thuật chủ yếu của tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông

TT	Thông số	Trị số
1	Công thức trục toa động lực	$B_0 - B_0$
2	Cấu hình đoàn tàu	$Tc + M + M + Tc$
3	Khối lượng bản thân của các toa xe, tấn	Toa Tc: 32 ; Toa M: 34,5
4	Chiều dài toa tàu (chiều dài giữa các mặt nối tiếp móc toa), mm	Toa Tc: 19.520 + 500 Toa M: 19.520

TT	Thông số	Trị số
5	Chiều dài đoàn tàu (chiều dài giữa các mặt nối tiếp móc toa 2 đầu của đoàn tàu 4 toa), mm	790.800
6	Chiều dài thân tàu, mm	Toa Tc: 19.500; Toa M: 19.000
7	Chiều cao toa tàu (chiều cao từ mặt ray đến đỉnh tàu, bánh mới), mm	3.800
8	Độ rộng lớn nhất toa tàu, mm	2.800
9	Chiều cao giữa phía trong toa tàu (chiều cao tính không trong khoang khách), mm	2.100
10	Chiều cao nhỏ nhất của khu vực khách đứng trong khoang khách, mm	1.900
11	Tốc độ tối đa, km/h	80
12	Gia tốc tối đa khi khởi động, m/s^2	0,83
13	Gia tốc tối đa khi hãm thường, m/s^2	-1,0
14	Gia tốc tối đa khi hãm khẩn, m/s^2	-1,2

2.3.2. Các thông số về khối lượng đoàn tàu

2.3.2.1. Các thông số về khối lượng bản thân (tự nặng, tự trọng) của đoàn tàu

Các thông số về khối lượng bản thân (tự nặng, tự trọng) của các toa xe [2],[5]. thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Thông số về khối lượng bản thân của các toa xe

TT	Thông số	Ký hiệu	Trị số
1	Toa Tc	$M_{Tc} = Q_{Tc.tu.tr}$	32 tấn
2	Toa M	$M_M = Q_{M.tu.tr}$	34,5 tấn



2.3.2.2. Các thông số về năng lực vận chuyển và khối lượng của đoàn tàu ở các chế độ tải trọng

Từ các nguồn tài liệu [2],[5] đã tính toán và tổng hợp được năng lực vận chuyển và khối lượng đoàn tàu, thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Tổng hợp năng lực vận chuyển và khối lượng đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông

TT	Chế độ tải trọng	Thông số	Đơn vị tính	Toa Tc	Toa M	Đoàn tàu Tc+M+M+Tc
1	AW0 tàu rỗng	Tự trọng toa xe	tấn	32	34,5	133
2	AW1 khách ngồi	Số lượng khách	người	36	46	164
		Khối lượng khách	tấn	2,16	2,76	9,84
		Khối lượng tàu cả bì	tấn	34,16	37,26	142,84
3	AW2 khách đứng, 6 người/ m ² , định mức	Số lượng khách	người	194	204	796
		Khối lượng khách	tấn	11,64	12,24	47,76
		Khối lượng tàu cả bì	tấn	43,64	46,74	180,76
4	AW3 khách đứng, 9 người/ m ² , vượt mức	Số lượng khách	người	291	306	1194
		Khối lượng khách	tấn	17,46	18,36	71,64
		Khối lượng tàu cả bì	tấn	49,46	52,86	204,64
5	AW1+AW2 6 người/ m ² , định mức	Số lượng khách	người	230	250	960
		Khối lượng khách	tấn	13,80	15,00	57,60
		Khối lượng tàu cả bì	tấn	45,8	49,5	190,60
6	AW1+AW3 9 người/ m ² , vượt mức	Số lượng khách	người	327	352	1358
		Khối lượng khách	tấn	19,62	21,12	81,48
		Khối lượng tàu cả bì	tấn	51,62	55,62	214,48

2.3.2.3. Tải trọng của toa xe (khối lượng hành khách trên toa xe)

Tải trọng của toa xe được hiểu là khối lượng thuần túy của hành khách trên toa xe, không kể tự trọng của toa xe hay không kể bì, ở một chế độ tải trọng nào đó, tính bằng tấn và được ký hiệu là $M_{hk, kb} = Q_{hk, kb} \cdot$ Tải trọng của toa xe ở các chế độ tải trọng tương ứng được cho trong Bảng 5.

Bảng 5. Tải trọng của toa xe (khối lượng hành khách trên toa xe)

TT	Thông số	Ký hiệu	Trị số
1	Chế độ tải AW1		
1.1	Toa xe Tc	$M_{Tc, hk, kb}^{AW1} = Q_{Tc, hk, kb}^{AW1}$	2,16 tấn/toa
1.2	Toa xe M	$M_{M, hk, kb}^{AW1} = Q_{M, hk, kb}^{AW1}$	2,76 tấn/toa
2	Chế độ tải AW2		
2.1	Toa xe Tc	$M_{Tc, hk, kb}^{AW2} = Q_{Tc, hk, kb}^{AW2}$	11,64 tấn/toa
2.2	Toa xe M	$M_{M, hk, kb}^{AW2} = Q_{M, hk, kb}^{AW2}$	12,24 tấn/toa
3	Chế độ tải AW3		



3.1	Toa xe Tc	$M_{Tc,hk,kb}^{AW3} = Q_{Tc,hk,kb}^{AW3}$	14,46 tấn/toa
3.2	Toa xe M	$M_{M,hk,kb}^{AW3} = Q_{M,hk,kb}^{AW3}$	18,36 tấn/toa

2.3.2.4. Tổng khối lượng của đoàn tàu

Tổng khối lượng của đoàn tàu là tổng tự trọng (khối lượng bì) của đoàn tàu cộng với tải trọng của đoàn tàu ở một chế độ tải trọng nào đó, tính bằng tấn và được ký hiệu là $M = Q$.

Tổng khối lượng của đoàn tàu ở các chế độ tải trọng được cho trong Bảng 6.

Bảng 6. Tổng khối lượng của đoàn tàu ở các chế độ tải trọng.

TT	Thông số	Ký hiệu	Trị số
1	Chế độ tải AW0	$M_0 = Q_{tau,tu,tr}^{AW0}$	133 tấn/đoàn tàu
2	Chế độ tải AW1	$M_1 = Q_{tau,cb}^{AW1}$	142,84 tấn/đoàn
3	Chế độ tải AW2	$M_2 = Q_{tau,cb}^{AW2}$	190,60 tấn/đoàn
4	Chế độ tải AW3	$M_3 = Q_{tau,cb}^{AW3}$	214,48 tấn/đoàn

Các thông số về tải trọng (khối lượng) của đoàn tàu được tập hợp và thể hiện trong Bảng 7.

Bảng 7. Các thông số về tải trọng (khối lượng) của đoàn tàu

TT	Thông số	Ký hiệu	Trị số	
1	Tự trọng của toa xe			
1.1	Toa Tc	$M_{Tc_0} = Q_{Tc,tu,tr}$	32 tấn	
1.2	Toa M	$M_{M_0} = Q_{M,tu,tr}$	34,5 tấn	
2	Tải trọng của toa xe			
2.1	Chế độ AW1	Toa Tc	$M_{Tc,hk,kb}^{AW1} = Q_{Tc,hk,kb}^{AW1}$	2,16 tấn/toa
		Toa M	$M_{M,hk,kb}^{AW1} = Q_{M,hk,kb}^{AW1}$	2,76 tấn/toa
2.2	Chế độ AW2	Toa Tc	$M_{Tc,hk,kb}^{AW2} = Q_{Tc,hk,kb}^{AW2}$	11,64 tấn/toa
		Toa M	$M_{M,hk,kb}^{AW2} = Q_{M,hk,kb}^{AW2}$	12,24 tấn/toa
2.3	Chế độ AW3	Toa Tc	$M_{Tc,hk,kb}^{AW3} = Q_{Tc,hk,kb}^{AW3}$	14,46 tấn/toa
		Toa M	$M_{M,hk,kb}^{AW2} = Q_{M,hk,kb}^{AW2}$	18,36 tấn/toa
3	Tổng trọng của đoàn tàu			
3.1	Chế độ AW0	$M_0 = Q_{tau,tu,tr}^{AW0}$	133 tấn/đoàn tàu	



TT	Thông số	Ký hiệu	Trị số
3.2	Chế độ AW1	$M_1 = Q_{\tau,cb}^{AW1}$	142,84 tấn/đoàn
3.3	Chế độ AW1	$M_2 = Q_{\tau,cb}^{AW2}$	190,60 tấn/đoàn
3.4	Chế độ AW3	$M_3 = Q_{\tau,cb}^{AW3}$	214,48 tấn/đoàn

2.3.2.5. Khối lượng quy đổi của các bộ phận có chuyển động quay trong đoàn tàu

Khối lượng quy đổi (chuyển đổi) là khối lượng có xét tới hệ số khối lượng quay của các chi tiết quay (bánh xe) trong đoàn tàu, tương ứng với một chế độ tải trọng nào đó, tính bằng tấn và được ký hiệu là M_{qd} .

Khối lượng quy đổi của đoàn tàu được xác định theo công thức tổng quát (1).

Áp dụng cụ thể cho đoàn tàu Cát Linh - Hà Đông, ta có:

$$M_{qd} = M_{M_0} n_{dl} \gamma_{dl} + M_{T_{c_0}} n_{kt} \gamma_{kt}, \text{ tấn}$$

Trong đó: M_{M_0} - Tụ trọng của toa xe động lực, $M_{M_0} = 34,5$ tấn; $M_{T_{c_0}}$ - Tụ trọng của toa xe kéo theo, $M_{T_{c_0}} = 32$ tấn; n_{dl} - Số lượng toa xe động lực trong đoàn tàu, $n_{dl} = 2$; n_{kt} - Số lượng toa xe kéo theo trong đoàn tàu, $n_{kt} = 2$; γ_{dl} - Hệ số quán tính quay của toa xe động lực, $\gamma_{dl} = 0,10$; γ_{kt} - Hệ số quán tính quay của toa xe kéo theo, $\gamma_{kt} = 0,05$.

Các thông số tính toán được cho trong Bảng 8.

Bảng 8. Khối lượng quy đổi (chuyển đổi) của các bộ phận có chuyển động quay trong đoàn tàu.

TT	Thông số	Ký hiệu	Trị số
1	Tụ trọng của toa xe động lực	M_{M_0}	34,5 tấn
2	Tụ trọng của toa xe kéo theo	$M_{T_{c_0}}$	32,0 tấn
3	Số lượng toa xe động lực trong đoàn tàu	n_{dl}	2
4	Số lượng toa xe kéo theo trong đoàn tàu	n_{kt}	2
5	Hệ số quán tính quay của toa xe động lực	γ_{dl}	0,10
6	Hệ số quán tính quay của toa xe kéo theo	γ_{kt}	0,05
7	Kết quả tính toán	M_{qd}	10,10 tấn

Kết quả tính toán khối lượng đoàn tàu quy đổi (chuyển đổi) ở các chế độ tải trọng được cho trong Bảng 9.

Bảng 9. Khối lượng đoàn tàu quy đổi (chuyển đổi) ở các chế độ tải trọng.

TT	Thông số	Ký hiệu	Trị số
1	Chế độ tải AW0	$M_{qd}^{AW0} = M_0 + M_{qd}$	143,10 tấn
2	Chế độ tải AW1	$M_{qd}^{AW1} = M_1 + M_{qd}$	152,94 tấn



TT	Thông số	Ký hiệu	Trị số
3	Chế độ tải AW2	$M_{qd}^{AW2} = M_2 + M_{qd}$	200,70 tấn
4	Chế độ tải AW3	$M_{qd}^{AW3} = M_3 + M_{qd}$	224,58 tấn

2.3.2.6. Lực cản cơ bản của đoàn tàu

Từ công thức tổng quát (1), áp dụng cụ thể cho đoàn tàu metro tuyến Cát Linh – Hà Đông, ta có:

$$W_0 = \frac{\left[(1,65 + 0,0247V) \times M_M + (0,78 + 0,0028V) \times M_{Tc} + (0,028 + 0,0078 \times (n-1) \times V^2) \right] \times g}{1.000}$$

Lưu ý rằng trọng của 1 toa xe động lực: $M_{M_0} = Q_{M.tu.tr} = 34,5$ t và trọng của 1 toa xe kéo theo:

$$M_{Tc_0} = Q_{Tc.tu.tr} = 32 \text{ t.}$$

Kết quả tính toán trị số M_M và M_{Tc} ở các chế độ tải trọng được cho trong Bảng 10.

Bảng 10. Lực cản cơ bản của đoàn tàu ở các chế độ tải trọng.

TT	Thông số	Ký hiệu	Trị số
1	Chế độ tải AW0	$M_M^{AW0} = M_{M_0} + Q_{hk,dl}^{AW0}$	69,00 tấn
		$M_{Tc}^{AW0} = M_{Tc_0} + Q_{hk,kt}^{AW0}$	64,00 tấn
2	Chế độ tải AW2	$M_M^{AW2} = M_{M_0} + Q_{hk,dl}^{AW2}$	99,00 tấn
		$M_{Tc}^{AW2} = M_{Tc_0} + Q_{hk,kt}^{AW2}$	91,60 tấn
3	Chế độ tải AW3	$M_M^{AW3} = M_{M_0} + Q_{hk,dl}^{AW3}$	11,24 tấn
		$M_{Tc}^{AW3} = M_{Tc_0} + Q_{hk,kt}^{AW3}$	103,40 tấn

Từ biểu thức (2) tiến hành tính toán sức cản cơ bản của đoàn tàu ở các chế độ tải trọng AW0, AW2 và AW3. Kết quả tính toán cho trong Bảng 11.

Lưu ý rằng, không sử dụng biểu thức (2) để tính sức cản ở tốc độ 0 km/h. Sức cản ở 0 km/h chính là sức cản khởi động và được tính theo công thức (3).

Bảng 11. Kết quả tính toán lực cản cơ bản đoàn tàu.

Tốc độ đoàn tàu, km/h	W ₀ , kN Chế độ AW0	W ₀ , kN Chế độ AW2	W ₀ , kN Chế độ AW3
0,00	6,517	9,3394	10,5095
5,00	1,705	2,442	2,746
10,00	1,815	2,592	2,912
15,00	1,936	2,753	3,089
20,00	2,068	2,926	3,278
25,00	2,212	3,110	3,479
30,00	2,368	3,305	3,691



Tốc độ đoàn tàu, km/h	W ₀ , kN Chế độ AW0	W ₀ , kN Chế độ AW2	W ₀ , kN Chế độ AW3
35,00	2,535	3,513	3,915
40,00	2,713	3,731	4,150
45,00	2,903	3,961	4,396
50,00	3,105	4,203	4,654
55,00	3,318	4,456	4,924
60,00	3,542	4,720	5,205
65,00	3,778	4,996	5,497
70,00	4,025	5,284	5,801
75,00	4,284	5,583	6,116
80,00	4,941	5,893	6,443

2.3.2.7. Lực cản khởi động của đoàn tàu

Lực cản khởi động của đoàn tàu được tính theo công thức tổng quát (3).

Kết quả tính toán lực cản khởi động của đoàn tàu tuyến Cát Linh-Hà Đông ở các chế độ tải trọng được cho trong Bảng 12.

Bảng 12. Lực cản khởi động của đoàn tàu tuyến Cát Linh - Hà Đông ở các chế độ tải trọng.

TT	Thông số	Ký hiệu và công thức tính	Trị số
1	Chế độ tải AW0	$W_{kd}^{AW0} = M_0 \times 49.10^{-3}$	6,517 kN
2	Chế độ tải AW1	$W_{kd}^{AW1} = M_1 \times 49.10^{-3}$	6,999 kN
3	Chế độ tải AW2	$W_{kd}^{AW2} = M_2 \times 49.10^{-3}$	9,3394 kN
4	Chế độ tải AW3	$W_{kd}^{AW3} = M_3 \times 49.10^{-3}$	10,5095 kN

2.2.2.8. Lực cản phụ đường dốc

Lực cản phụ đường dốc được xác định theo công thức tổng quát (4).

Kết quả tính toán lực cản phụ đường dốc ở độ dốc lớn nhất $i = 30\%$ được cho trong Bảng 13.

Bảng 13. Lực cản phụ đường dốc 30 % ở các chế độ tải trọng.

TT	Thông số	Ký hiệu	Trị số
1	Chế độ tải AW0	$W_{i=30\%_0}^{AW0} = M_0 \times i \times g$	39,1419
2	Chế độ tải AW1	$W_{i=30\%_0}^{AW1} = M_1 \times i \times g$	42,0378 kN
3	Chế độ tải AW2	$W_{i=30\%_0}^{AW2} = M_2 \times i \times g$	56,0936 kN
4	Chế độ tải AW3	$W_{i=30\%_0}^{AW3} = M_3 \times i \times g$	63,1215 kN



3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kiểm nghiệm khả năng khởi động của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trên độ dốc hạn chế 30%

3.1.2. Kiểm nghiệm khả năng khởi động trên độ dốc 30% ở chế độ tải trọng AW3

Theo Hồ sơ kỹ thuật [2],[5], độ dốc hạn chế trên tuyến Cát Linh – Hà Đông là 30‰.

Việc kiểm nghiệm được tiến hành theo các phương án sau đây:

a. Khi đoàn tàu làm việc bình thường với 8 động cơ điện kéo (ĐCĐK); b. Khi đoàn tàu bị hỏng 1 ĐCĐK; c. Khi đoàn tàu hỏng mất 2 ĐCĐK; d. Khi đoàn tàu hỏng 3 ĐCĐK; e. Khi đoàn tàu bị hỏng 4 ĐCĐK; f. Khi đoàn tàu bị hỏng 5 ĐCĐK; g. Khi đoàn tàu bị hỏng 6 ĐCĐK; h. Khi đoàn tàu bị hỏng 7 ĐCĐK.

3.1.2.1. Khi đoàn tàu làm việc bình thường với 8 ĐCĐK trên hai toa động lực

Với đoàn tàu cấu hình Tc + M + M +Tc làm việc ở chế độ tải trọng AW3, khi đoàn tàu có đủ 8 ĐCĐK làm việc trên hai toa động lực, thì đoàn tàu có thể khởi động trên độ dốc 30‰ được không.

a. Kiểm nghiệm theo gia tốc

Tương tự như trên, ta có:

$$a = \frac{F_{k,1dc}^{AW2} \times n_{dc} - W_{kd}^{AW3} - W_{i=30}^{AW3}}{M_{qd}^{AW3}} > [a], \text{ m/s}^2$$

Trong đó: $F_{k,1dc}^{AW2} = 23,7$ kN- Lực kéo của một ĐCĐK ở chế độ tải trọng AW2; $W_{kd}^{AW3} = 10,5095$ kN - Lực cản khởi động của đoàn tàu ở chế độ tải trọng AW3; $W_{i=30}^{AW3} = 73,6417$ kN - Lực cản đường dốc của đoàn tàu ở chế độ tải trọng AW3 và độ dốc

b1. Kiểm nghiệm theo gia tốc

$$a = \frac{F_{k,1dc}^{AW2} \times n_{dc} - W_{kd}^{AW3} - W_{i=30}^{AW3}}{M_{qd}^{AW3}} = \frac{(23,7 \times 7) - 10,5095 - 73,6417}{224,58} = a = 0,3640 \text{ m/s}^2 > [a] = 0,0833 \text{ m/s}^2.$$

b2. Kiểm nghiệm theo hệ số bám

Sau khi tính toán ta có: $\mu = 0,13 < 0,20$.

Nhận xét:

Ở chế độ tải trọng AW3, và lực kéo của một động cơ $F_{k,1dc}^{AW2} = 23,37$ kN, khi bị hỏng 1 ĐCĐK,

30‰; $M_{qd}^{AW3} = 224,58$ tấn - Khối lượng quy đổi của đoàn tàu (có xét tới hệ số quán tính quay) ở chế độ tải trọng AW3; $[a] = 0,0833$ m/s² - Gia tốc nhỏ nhất cho phép để đoàn tàu khởi động được.

Sau khi tính toán ta có: $a = 0,4695$ m/s² > $[a] = 0,0833$ m/s².

b. Kiểm nghiệm theo hệ số bám

Hệ số bám tính toán đối với một toa xe động lực

$$\mu = \frac{F_{kd,1dc}^{AW2} \times n_{dc,M}}{m_M^{AW2} \times g}$$

Trong đó: $F_{k,1dc}^{AW2} = 23,7$ kN - Lực kéo khởi động của một ĐCĐK ở chế độ tải trọng AW2; $n_{dc,M} = 4$ - Số lượng động cơ điện kéo trong một toa động lực; $m_M^{AW3} = 55,62$ tấn - Tổng khối lượng của toa động lực ở chế độ tải trọng AW3.

Sau khi tính toán ta có: $\mu = 0,1737 < 0,20$

Nhận xét:

Ở chế độ tải trọng AW3, và lực kéo của một động cơ $F_{k,1dc}^{AW2} = 23,37$ kN, khi đoàn tàu có đủ 8 ĐCĐK làm việc, thì nó có thể khởi động trên độ dốc 30‰ và có thể vận hành đến điểm cuối của tuyến đường. Lúc đó hệ số bám là 0,1737, nhỏ hơn cho phép là 0,20; vì vậy đoàn tàu không bị trượt bánh.

3.1.2.2. Khi đoàn tàu bị hỏng 1 ĐCĐK

Với đoàn tàu cấu hình Tc + M + M +Tc làm việc ở chế độ tải trọng AW3, khi bị hỏng 1 ĐCĐK trên một toa động lực, tức là chỉ còn lại 7 ĐCĐK thì đoàn tàu có thể khởi động trên độ dốc 30‰ được không.

Tương tự như trên, ta có:

đoàn tàu có thể khởi động trên độ dốc 30‰ và có thể vận hành đến điểm cuối của tuyến đường. Lúc đó hệ số bám là 0,13, nhỏ hơn cho phép là 0,20; vì vậy đoàn tàu không bị trượt bánh.



Tương tự như trên, tiếp tục tính toán cho các phương án số ĐCĐK bị hỏng lần lượt là 2, 3, 4, 5,

6, và 7. Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 14.

Bảng 14. Kết quả năng lực khởi động của đoàn tàu ở chế độ AW3.

TT	Tổng số ĐCĐK	Số động cơ làm việc	Số động cơ bị hỏng	Gia tốc khởi động, m/s ²	Hệ số bám	Kết luận
1	8	8	0	0,4695	0,1737	Đoàn tàu vượt được dốc 30‰ và không bị trượt bánh
2	8	7	1	0,364	0,1300	
3	8	6	2	0,2585	0,0869	
4	8	5	3	0,1529	0,0434	
5	8	4	4	0,0474	0	Đoàn tàu không vượt được dốc 30‰
6	8	3	5	- 0,0581	-	
7	8	2	6	-0,1636	-	
8	8	1	7	- 0,2692	-	

Qua đây thấy rằng, ở chế độ tải trọng AW3 đoàn tàu mất tối đa là 3 động cơ thì nó vẫn khởi động lại được trên độ dốc 30‰.

Lưu ý: Số lượng động cơ bị hỏng trên đoàn tàu có thể là bất kỳ và việc khởi động trên độ dốc không phụ thuộc vào số ĐCĐK ở toa nào bị hỏng. Việc phân biệt số động cơ bị hỏng trên một toa động lực chỉ có ý nghĩa giả định để kiểm nghiệm hệ số bám mà thôi.

Nhận xét chung:

Sau khi tính toán năng lực vận hành của đoàn tàu trên độ dốc hạn chế 30‰, thấy rằng:

1. Ở chế độ tải trọng AW2, khi đoàn tàu bị hỏng tối đa 4 ĐCĐK thì nó vẫn có khả năng khởi động lại trên độ dốc đó và không bị trượt bánh.

2. Ở chế độ tải trọng AW3, khi đoàn tàu bị hỏng tối đa 3 ĐCĐK thì nó vẫn có khả năng khởi động lại trên độ dốc đó và không bị trượt bánh.

3. Trong các trường hợp còn lại đoàn tàu không thể khởi động lại được, khi đó phải tổ chức cứu trợ hay cứu viện.

3.2. Kiểm nghiệm năng lực cứu viện trợ trên độ dốc hạn chế 30‰

3.2.1. Kiểm nghiệm khả năng cứu trên độ dốc hạn chế ở chế độ tải trọng AW2

Giả sử rằng một đoàn tàu có thành phần Tc + M + M + Tc làm việc ở chế độ tải trọng AW2 bị sự cố trên độ dốc 30‰, cần cứu trợ (cứu viện). Khi đó có thể sử dụng một đoàn tàu cũng có thành phần Tc + M + M + Tc nhưng không tải (rỗng), hay nói khác đoàn tàu này làm việc ở chế độ tải trọng AW0. Cần kiểm nghiệm xem đoàn tàu rỗng có thể kéo hoặc đẩy được đoàn tàu cần cứu trợ trên độ dốc 30‰ hay không.

Từ công thức tổng quát (5), áp dụng cụ thể cho đoàn tàu tuyến Cát Linh - Hà Đông, ta có gia tốc sản sinh của đoàn tàu 4 toa, 2 toa động lực và 2 kéo theo ở chế độ tải trọng AW0 lên dốc cứu trợ một đoàn tàu tương tự làm việc ở chế độ phụ tải AW2 bị sự cố là:

$$a = \frac{F_{k,tau}^{AW0} - W_{kd}^{AW0} - W_{i=30}^{AW0} - W_{kd}^{AW2} - W_{i=30}^{AW2}}{M_{qd}^{AW0} + M_{qd}^{AW2}}, \text{ m/s}^2$$

Trong đó: $F_{k,1dc}^{AW0} = 16,645 \text{ kN}$ - Lực kéo của một ĐCĐK của đoàn tàu làm nhiệm vụ cứu viện chế độ tải trọng AW0; $F_{k,tau}^{AW0} = F_{k,1dc}^{AW0} \times 8 = 133,16 \text{ kN}$ - Lực kéo của đoàn tàu làm nhiệm vụ cứu viện chế độ tải trọng AW0; $W_{kd}^{AW0} = 6,517 \text{ kN}$ - Lực cản khởi động của đoàn tàu làm nhiệm vụ cứu viện chế độ tải trọng AW0; $W_{i=30}^{AW0} = 39,149 \text{ kN}$ - Lực cản đường dốc của đoàn tàu làm nhiệm vụ cứu viện ở chế độ



tải trọng AW0 và độ dốc 30‰; $W_{kd}^{AW2} = 9,3394$ kN - Lực cản khởi động của đoàn tàu bị sự cố ở chế độ tải trọng AW2; $W_{t=30}^{AW2} = 56,0936$ kN - Lực cản đường dốc của đoàn tàu bị sự cố ở chế độ tải trọng AW2 và độ dốc 30‰; $M_{qd}^{AW0} = 143,10$ tấn - Khối lượng quy đổi của đoàn tàu làm nhiệm vụ cứu viện (có xét tới hệ số quán tính quay) ở chế độ tải trọng AW0; $M_{qd}^{AW2} = 200,7$ tấn - Khối lượng quy đổi của đoàn tàu bị sự cố (có xét tới hệ số quán tính quay) ở chế độ tải trọng AW0; $[a] = 0,0833$ m/s² - Gia tốc nhỏ nhất cho phép để đoàn tàu làm nhiệm vụ cứu viện khởi động được.

Sau khi tính toán ta có: $a = 0,0642$ m/s² < $[a] = 0,0833$ m/s².

Nhận xét:

Kết quả tính toán cho thấy, đoàn tàu cứu viện (Tc+M+M+Tc) với lực kéo ở chế độ tải trọng AW0 (tổng lực kéo là 133,16 kN và của 1 ĐCĐK là 16,645 kN) thì không thể đẩy hoặc kéo một đoàn tàu bị sự cố có cấu hình tương tự làm việc ở chế độ tải trọng AW2 trên độ dốc hạn chế 30‰.

3.2.2. Kiểm nghiệm khả năng cứu viện trên dốc hạn chế ở chế độ tải trọng AW3

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đỗ Đức Tuấn, Vũ Duy Lộc, Đỗ Việt Dũng (2013). *Nghiệp vụ đầu máy, toa xe*. NXB Giao thông vận tải. Hà Nội.
- [2]. Đỗ Đức Tuấn (2019). *Bài giảng Chương trình Đại học - Nghiệp vụ đoàn tàu metro đường sắt đô thị*. Trường đại học Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [3]. Công ty TNHH Thiết bị đoàn tàu đường sắt Bắc Kinh (2016). *Hồ sơ quy cách đoàn tàu đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông*.
- [4]. Ủy ban nhân dân thành phố Hà Nội (2017). *Báo cáo số 161/BC-UBND, ngày 20/6/2017 về Tình hình triển khai thực hiện các dự án Đường sắt đô thị Hà Nội, đề xuất phương án đầu tư, các giải pháp, cơ chế thực hiện*.
- [5]. Ủy ban Nhân dân Thành phố Hồ Chí Minh, Quản lý Đường sắt đô thị - HITACHI (2018). *Hồ sơ Dự án đường sắt đô thị tuyến Bến Thành – Suối Tiên*. Ủy ban Nhân dân Thành phố Hồ Chí Minh. Tp. Hồ Chí Minh.
- [6]. Ủy ban Nhân dân Thành phố Hà Nội, Ban Quản lý Đường sắt đô thị Hà Nội (MRB) (2018). *Hồ sơ kỹ thuật Dự án đường sắt đô thị tuyến Nhôn – Ga Hà Nội*.
- [7]. Ủy ban Nhân dân Thành phố Hồ Chí Minh, Quản lý Đường sắt đô thị - HITACHI (2018). (*Quyển 1: Thông số kỹ thuật, Quyển 2: Thuyết minh Thiết kế kỹ thuật, Quyển 3: Bản vẽ*).

Việc tính toán tiến hành tương tự như trên. Kết quả tính toán cho thấy, đoàn tàu cứu viện (Tc+M+M+Tc) với lực kéo ở chế độ tải trọng AW0 (tổng lực kéo là 133,16 kN và của 1 ĐCĐK là 16,645 kN) thì không thể đẩy hoặc kéo một đoàn tàu bị sự cố có cấu hình tương tự làm việc ở chế độ tải trọng AW3 trên độ dốc hạn chế 30‰.

4. KẾT LUẬN

➤ Đã kiểm nghiệm được khả năng khởi động và khả năng cứu viện của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trên độ dốc hạn chế 30‰ ở các chế độ tải trọng AW2 và AW3, trong đó khả năng cứu viện đoàn tàu trên độ dốc hạn chế ở chế độ tải trọng AW3 gặp bất lợi, vì vậy cần đặc biệt lưu ý tình huống này để có các giải pháp phù hợp đảm bảo an toàn trong quá trình vận hành đoàn tàu.

➤ Cơ sở lý thuyết cũng như kết quả nghiên cứu là cơ sở tham khảo cho đơn vị sử dụng phương tiện để có thể chủ động xác định và đánh giá các chi tiêu liên quan đến an toàn chạy tàu trong quá trình khai thác, đồng thời là tài liệu tham khảo hữu ích cho công tác giảng dạy và NCKH trong nhà trường liên quan tới lĩnh vực tàu điện metro □

**LỜI CẢM ƠN**

Nội dung bài báo được hỗ trợ kinh phí từ đề tài cấp Trường của Trường Đại học Giao thông vận tải, mã số T2024-CK-012

**ESTING THE STARTING AND RESCUE ABILITY OF METRO TRAINS
ON THE CAT LINH - HA DONG LINE ON THE RULING GRADIENT**

Thanh Cong Kieu, Tuan Duc Do*, Toan Duc Nguyen

University of Transport and Communication (UTC), 3D Cau Giay, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 21/6/2024

Revised: 18/8/2024

Accepted: 05/9/2024

* Corresponding author:

Email: ddtuan@utc.edu.vn

ABSTRACT

Currently, in Vietnam, only three urban railway lines are being built, of which two lines in Hanoi: Cat Linh - Ha Dong (line 2A), Nhon - Hanoi Station (line 3) and a line in Ho Chi Minh City: Ben Thanh - Suoi Tien (line 1). The Cat Linh - Ha Dong line has been put into operation since November 2021, the Nhon - Hanoi Railway Station (Nhon - Cau Giay elevated section) is preparing to be put into operation in July 2024, the Ben Thanh - Suoi Tien line is expected to be put into operation at the end of 2024. Urban railway projects in Vietnam are all implemented by foreign contractors who are only responsible for construction and then handover to Vietnam for operation. Esting some basic features related to operational safety such as the starting and rescue ability of trains, determining and evaluating operation criteria in Vietnam are still completely new and need to be researched.

The article presents a general theoretical basis for esting the starting and rescue ability of metro trains on the ruling gradient, thereby testing the starting and rescue ability of metro trains on the Cat Linh - Ha Dong line on a ruling gradient of 30‰ in some different load modes of trains.

The research results are a reference basis for managers and users in determining and evaluating the safety criteria of metro trains in operation.

Keywords: urban railway, Cat Linh - Ha Dong, starting ability, rescue ability, ruling gradient, metro train.

@ Vietnam Mining Science and Technology Association