



## DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR CALCULATING THE BRAKING DISTANCE OF PASSENGER CARRIAGES IN VIETNAM RAILWAYS

Pham Le Tien\*, Nguyen Duc Toan

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 26/11/2020

Revised: 14/12/2020

Accepted: 15/12/2020

Published online: 28/12/2020

<https://doi.org/10.47869/tcsj.71.9.8>

\* *Corresponding author*

Email: phamletien@utc.edu.vn; Tel: 0912463591

**Abstract:** In the railway operation, when newly manufacturing or renovating wagons, trains using compressed air brakes must ensure the braking distance, as prescribed not more than 800 m with the metre-gauge. The article presents the theoretical fundamentals of calculating the braking distance of trains and wagons. In which the analytic method with the integral and segment calculation was proposed. Based on that, we developed a program to calculate the braking distance of passenger carriages operated on Vietnam railways using VBA programming language. The calculation results show that the proposed method is more suitable and can apply the developed program to test the braking distance of wagons in Vietnam Railways.

**Keywords:** calculation program, braking distance, passenger carriage.



# XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN KIỂM NGHIỆM KHOẢNG CÁCH HÃM TOA XE KHÁCH VẬN DỤNG TRÊN ĐƯỜNG SẮT VIỆT NAM

Phạm Lê Tiến\*, Nguyễn Đức Toàn

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

## THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 26/11/2020

Ngày nhận bài sửa: 14/12/2020

Ngày chấp nhận đăng: 15/12/2020

Ngày xuất bản Online: 28/12/2020

<https://doi.org/10.47869/tcsj.71.9.8>

\* Tác giả liên hệ

Email: phamletien@utc.edu.vn; Tel: 0912463591

**Tóm tắt:** Trong khai thác đường sắt, khi sản xuất mới hoặc cải tạo toa xe, đoàn tàu sử dụng hãm gió ép phải đảm bảo khoảng cách hãm khi dừng, quy định không quá 800 m với khổ đường 1000 mm. Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết tính khoảng cách hãm đoàn tàu, toa xe theo phương pháp giải tích với cách tính tích phân và cách tính phân đoạn, từ đó xây dựng chương trình tính toán kiểm nghiệm khoảng cách hãm toa xe khách sử dụng trên đường sắt Việt Nam trên cơ sở ngôn ngữ lập trình VBA. Kết quả tính toán cho thấy, cách tính tích phân phù hợp hơn và có thể ứng dụng chương trình tính toán đã thiết lập để kiểm nghiệm khoảng cách hãm toa xe sử dụng trên Đường sắt Việt Nam.

**Từ khóa:** chương trình tính toán, khoảng cách hãm, toa xe khách.

© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống hãm đoàn tàu luôn được cải tiến và hoàn thiện, nó có ý nghĩa rất lớn trong khai thác vận tải đường sắt. Hệ thống hãm tốt làm cho đoàn tàu chuyển động được an toàn với khoảng cách hãm ngắn. Việc rút ngắn khoảng cách hãm có vai trò rất lớn để nâng cao tốc độ chạy tàu. Các toa xe khi thiết kế mới phải được kiểm nghiệm khoảng cách hãm cho một toa xe để đánh giá năng lực hãm của toa xe đó, theo TCVN 9983:2013 Phương tiện giao thông đường sắt - Toa xe - Yêu cầu thiết kế [1].

Việc xác định khoảng cách hãm được tiến hành theo hai cách tính: tích phân và phân đoạn. Khoảng cách hãm đầu máy, toa xe chịu ảnh hưởng của nhiều tham số như: lực hãm đơn vị của đoàn tàu, hệ số ma sát guốc hãm và bánh xe, lực cản cơ bản đơn vị của đầu máy, toa xe, điều kiện vận hành, ..., các tham số đều biến đổi theo tốc độ, đồng thời hệ số ma sát guốc hãm và bánh xe còn phụ thuộc vào lực ép guốc hãm và bánh xe. Do đó, việc tính toán khoảng cách hãm khá phức tạp với cách tính tích phân. Vì vậy, trong thực tế tính toán thường dùng biện pháp giản hóa, bằng cách chia tốc độ đoàn tàu thành một số gian cách tốc độ (phân đoạn), và giả định hợp lực đơn vị trong gian cách tốc độ là không đổi, tương ứng với tốc độ bình quân trong gian cách. Như vậy, mỗi gian cách tốc độ đoàn tàu chuyển động với tốc độ đều.

Từ đó, việc xây dựng chương trình tính toán khoảng cách hãm đoàn tàu cho kết quả chính xác hơn, giảm nhiều khối lượng tính toán, làm cơ sở cho việc lựa chọn công thức xác định một số tham số khi tính hãm phù hợp với điều kiện đường sắt Việt Nam, đồng thời so sánh sự sai lệch kết quả của hai cách tính.

Đoàn tàu gồm các đầu máy và toa xe, trong khuôn khổ bài báo chỉ trình bày việc xây dựng chương trình tính toán khoảng cách hãm cho toa xe khách, làm cơ sở cho việc xây dựng chương trình tính toán khoảng cách hãm cho đoàn tàu khách. Ứng dụng chương trình tính toán tính cho toa xe hành lý sử dụng hãm guốc (hiện nay, hơn 60% toa xe trong ngành Đường sắt Việt Nam sử dụng hãm guốc), với loại toa xe hành lý có cơ cấu Rỗng – Tải.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH KHOẢNG CÁCH HÃM TOA XE KHÁCH

Để đảm bảo vận dụng đoàn tàu an toàn, ngành Đường sắt Việt Nam qui định khoảng cách hãm khẩn lớn nhất không vượt quá 800 m phải dừng tàu với khổ đường 1000 mm, bao gồm cả trường hợp khi xuống dốc cao, dài [2].

Quá trình hãm đoàn tàu chia thành hai giai đoạn: một đoạn sau khi lái tàu hãm vẫn chạy đà, khoảng cách đoàn tàu chạy được gọi là khoảng cách chạy không, ký hiệu là  $S_1$ . Đoạn tiếp theo tính từ thời điểm áp suất xy lanh hãm đột ngột tăng lên đến lúc đoàn tàu dừng, gọi là quá trình hãm thực tế, khoảng cách hãm tương ứng gọi là khoảng cách hãm thực tế, ký hiệu là  $S_2$ . Vậy khoảng cách hãm đoàn tàu được tính theo công thức (1):

$$S = S_1 + S_2 \quad (1)$$

### 2.1. Khoảng cách chạy không [3, 4]

Quá trình chạy không là quá trình đoàn tàu chạy đà quán tính, trên đường bằng hoặc đường dốc nhỏ, tốc độ đoàn tàu chậm dần, khi xuống dốc cao mà lực đường dốc lớn hơn lực cản cơ bản, thì tốc độ đoàn tàu tăng. Để đơn giản trong tính toán thường giả định, trong thời gian chạy không, tốc độ đoàn tàu không đổi và vẫn bằng tốc độ khi thao tác hãm. Sự ảnh hưởng của độ dốc với tốc độ và khoảng cách chạy không, dùng phương pháp hệ số thời gian để hiệu chỉnh. Do đó, khoảng cách chạy không được tính theo công thức (2):

$$S_1 = \frac{V_H}{3,6} t_1, \quad (m) \quad (2)$$

trong đó:

$V_H$  - tốc độ đoàn tàu khi hãm (km/h)

$t_1$  - thời gian chạy không (s)

Đối với đoàn tàu khách [4], theo công thức (3):

$$t_1 = 5 - \frac{7 \cdot i_j}{1000 \cdot \theta_{dt} \cdot f_{ms}} \quad (3)$$

trong đó:

$i_j$  - độ dốc qui đổi;

$\theta_{dt}$  - hãm suất đoàn tàu;

$f_{ms}$  - hệ số ma sát giữa bánh xe và guốc hãm.

## 2.2. Khoảng cách hãm thực tế [4, 6]

### 2.2.1. Tính khoảng cách hãm thực tế bằng cách tích phân

Quá trình hãm là quá trình tác dụng của lực hãm và lực cản tự nhiên khiến đoàn tàu giảm tốc độ tới khi dừng hẳn. Căn cứ định luật Niu-ton thứ hai, ta có phương trình vận động đoàn tàu với hợp lực  $C_{dt}$  và hợp lực đơn vị  $c_{dt}$  tác dụng lên đoàn tàu, công thức (4) và (5):

$$-C_{dt} = -(B_{dt} + W_{0z}^{dt} + W_j^{dt}) = \frac{(P+Q) \cdot 1000}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

$$\text{hoặc} \quad -c_{dt} = -(b_{dt} + \omega_{0z}^{dt} + \omega_j^{dt}) = \frac{1000}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

trong đó:

$g$  - gia tốc trọng trường, (9,8067 m/s<sup>2</sup> hoặc 127000 km/h<sup>2</sup>);

$B_{dt}, b_{dt}$  - lực hãm (kN), lực hãm đơn vị đoàn tàu (N/kN);

$P, Q$  - trọng lượng đầu máy, đoàn xe (kN);

$W_{0z}^{dt}, \omega_{0z}^{dt}$  - lực cản (kN), lực cản cơ bản đơn vị đoàn tàu khi hãm (N/kN);

$W_j^{dt}, \omega_j^{dt}$  - lực cản phụ (kN), lực cản phụ đơn vị đoàn tàu qui đổi (N/kN).

Khi tính lực hãm đã bỏ qua ảnh hưởng của các khối lượng quay, nhưng trên thực tế nó có ảnh hưởng. Để xét ảnh hưởng đó trong tính toán hãm đường sắt, thường dùng cách hiệu chỉnh là: lấy trị số  $g = 120\,000 \text{ km/h}^2$ , tương đương 6% hệ số quán tính của khối lượng quay. Do đó, sau khi biến đổi ta được công thức tính khoảng cách hãm thực tế cho đoàn tàu có dạng tích phân, công thức (6):

$$S_2 = \int_0^{V_H} 1000 \frac{Vdv}{120(b_{dt} + \omega_{0z}^{dt} + \omega_j^{dt})} = \int_0^{V_H} 1000 \frac{Vdv}{120(1000 \cdot \theta_{dt} \cdot f_{ms}^{dt} + \omega_{0z}^{dt} + \omega_j^{dt})} \quad (m) \quad (6)$$

Cũng bằng cách xác định khoảng cách hãm thực tế tương tự như trên, xét một toa xe với hợp lực tác dụng lên toa xe khi chạy đà quán tính có được phương trình chuyển động của toa xe và sau khi biến đổi, ta được công thức tính khoảng cách hãm thực tế cho toa xe có dạng tích phân, công thức (7):

$$S_2 = \int_0^{V_H} 1000 \frac{Vdv}{120(b + \omega_{0z} + \omega_j)} = \int_0^{V_H} 1000 \frac{Vdv}{120(1000 \cdot \theta \cdot f_{ms} + \omega_{0z} + \omega_j)} \quad (m) \quad (7)$$

trong đó:

$b$  - lực hãm đơn vị toa xe (N/kN);

$\theta$  - hãm suất toa xe;

$\omega_{0z}$  - lực cản cơ bản đơn vị toa xe khi hãm (N/kN);

$\omega_j$  - lực cản phụ đơn vị toa xe qui đổi (N/kN).

### 2.2.2. Tính khoảng cách hãm thực tế bằng cách tính phân đoạn

Tích phân trong công thức (7) để tìm khoảng cách hãm gặp nhiều khó khăn, vì hợp lực đơn vị trong tích phân là hàm số của tốc độ. Bởi vậy, trong thực tế tính toán thường dùng biện pháp giản hóa. Tức là chia quá trình thực tế hãm thành nhiều giai đoạn tốc độ (50 km/h trở xuống lấy gian cách là 10 km/h; 50 km/h trở lên lấy gian cách là 5 km/h). Giả định, trong mỗi gian cách hợp lực đơn vị tác dụng vào đoàn tàu không đổi và bằng hợp lực đơn vị của tốc độ bình quân trong gian cách. Trong mỗi gian cách, tốc độ tính toán là tốc độ trung bình của gian cách.  $V = (V_n + V_{n+1})/2$ . Vậy biểu thức (7) có thể biến đổi như công thức (8):

$$S_2 = \sum \Delta S = \sum_{n=1}^k \frac{4,17(V_n^2 - V_{n+1}^2)}{(b + \omega_{0z} + \omega_j)} = \sum_{n=1}^k \frac{4,17(V_n^2 - V_{n+1}^2)}{(1000 \cdot \theta \cdot f_{ms} + \omega_{0z} + \omega_j)} \quad (8)$$

trong đó:

$k$  - số lượng gian cách tốc độ;

$V_n, V_{n+1}$  - tốc độ đầu, cuối gian cách tốc độ.

## 2.3. Các tham số khi tính khoảng cách hãm thực tế của toa xe khách

### 2.3.1. Lực ép guốc hãm [1, 4, 6]

a. Lực đẩy piston xy-lanh hãm  $P_o$  (kN), công thức (9):

$$P_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot P_{XLH} \quad (9)$$

trong đó:

$P_{XLH}$  - Áp suất xy-lanh hãm (kPa), (đã trừ lực cản tổng hợp của lò xo hồi vị xy lanh hãm);

$d$  - Đường kính piston xy lanh hãm, (m).

b. Tổng lực ép guốc hãm lên bánh xe  $P_{gh}$  (kN), công thức (10):

$$\Sigma P_{gh} = P_o \cdot L \cdot \eta \cdot n \quad (10)$$

trong đó:

$L$  - bội suất hãm theo thiết kế;

$\eta$  - hiệu suất truyền động,  $\eta = 0,80 \div 0,95$ ;

$n$  - số lượng nôi hãm.

### 2.3.2. Lực hãm, lực hãm đơn vị toa xe [1, 4, 6]

a. Lực hãm  $B$  (kN), công thức (11):

$$B = \sum P_{gh} \cdot f_{ms} \quad (11)$$

b. Lực hãm đơn vị toa xe (N/kN), công thức (12):

$$b = \frac{B}{Q} = \frac{1000 \sum P_{gh} \cdot f_{ms}}{Q} \quad (12)$$

trong đó:  $Q$  - trọng lượng toa xe (kN).

### 2.3.3. Hãm suất toa xe $\theta$ [1, 3, 4]

Hãm suất toa xe được tính theo tỉ lệ %, xác định bằng tổng lực ép guốc hãm trên trọng lượng được hãm, công thức (13):

$$\text{Khi có tải: } \theta = \frac{\sum P_{gh}}{Q_1 + Q_2} \cdot 100(\%); \text{ Khi không tải: } \theta = \frac{\sum P_{gh}}{Q_1} \cdot 100(\%) \quad (13)$$

trong đó:

$Q_1$  - tự nặng của toa xe, (kN);

$Q_2$  - tải trọng của toa xe, (kN).

### 2.3.4. Hệ số ma sát giữa guốc hãm và bánh xe [4, 6, 7, 10]

Hệ số ma sát có quan hệ với vận tốc và lực ép guốc hãm.

Với guốc hãm bằng gang P trung bình, sử dụng công thức (14) tính toán hệ số ma sát:

$$f_{ms} = 0,64 \cdot \frac{P_{1gh} + 100}{5 \cdot P_{1gh} + 100} \cdot \frac{3,6V + 100}{14V + 100} + 0,006 \cdot (110 - V_H) \cdot \frac{V}{6 \cdot V + 100} \quad (14)$$

trong đó:

$P_{1gh}$  - lực ép của mỗi guốc hãm, (kN/một guốc hãm);

$V$  - tốc độ trong quá trình hãm (km/h);

$V_H$  - tốc độ bắt đầu hãm (km/h).

Với guốc hãm bằng gang tiêu chuẩn, sử dụng công thức (15) tính toán hệ số ma sát:

$$f_{ms} = 0,6 \cdot \frac{1,6 \cdot P_{1gh} + 100}{8 \cdot P_{1gh} + 100} \cdot \frac{V + 100}{5 \cdot V + 100} \quad (15)$$

Với guốc hãm bằng vật liệu tổng hợp - phi kim loại, sử dụng công thức (16) tính toán hệ số ma sát:

$$f_{ms} = 0,44 \cdot \frac{P_{1gh} + 20}{4 \cdot P_{1gh} + 20} \cdot \frac{V + 150}{2 \cdot V + 150} \quad (16)$$

### 2.3.5. Lực cản toa xe [5]

#### a. Lực cản cơ bản đơn vị toa xe

Lực cản cơ bản đơn vị của toa xe khách, ổ bi:  $\omega''_0$  (N/kN), công thức (17):

$$\omega''_0 = 1,5 + 0,026 \cdot V + 0,00029 \cdot V^2 \quad (17)$$

#### b. Lực cản phụ đơn vị toa xe

Lực cản phụ đơn vị quy đổi:  $\omega_j = \omega_i$  (N/kN)

trong đó: Lực cản đơn vị đường dốc:  $\omega_i = \pm i$  (N/kN) (18)

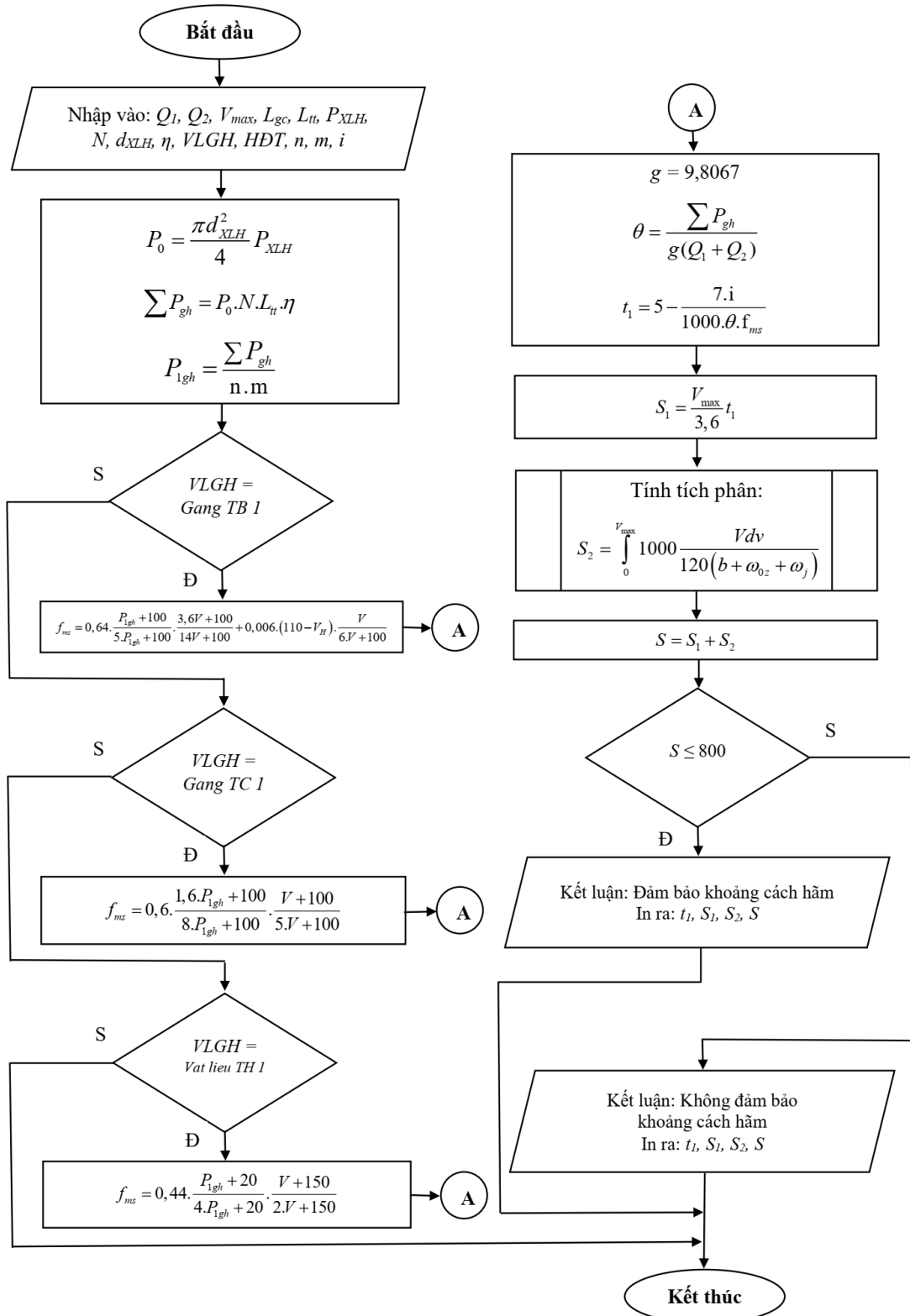
với  $i$  - độ dốc quy đổi của đường, (%); Lên dốc dùng dấu "+"; Xuống dốc dùng dấu "-".

## 3. XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN KHOẢNG CÁCH HÃM TOA XE KHÁCH

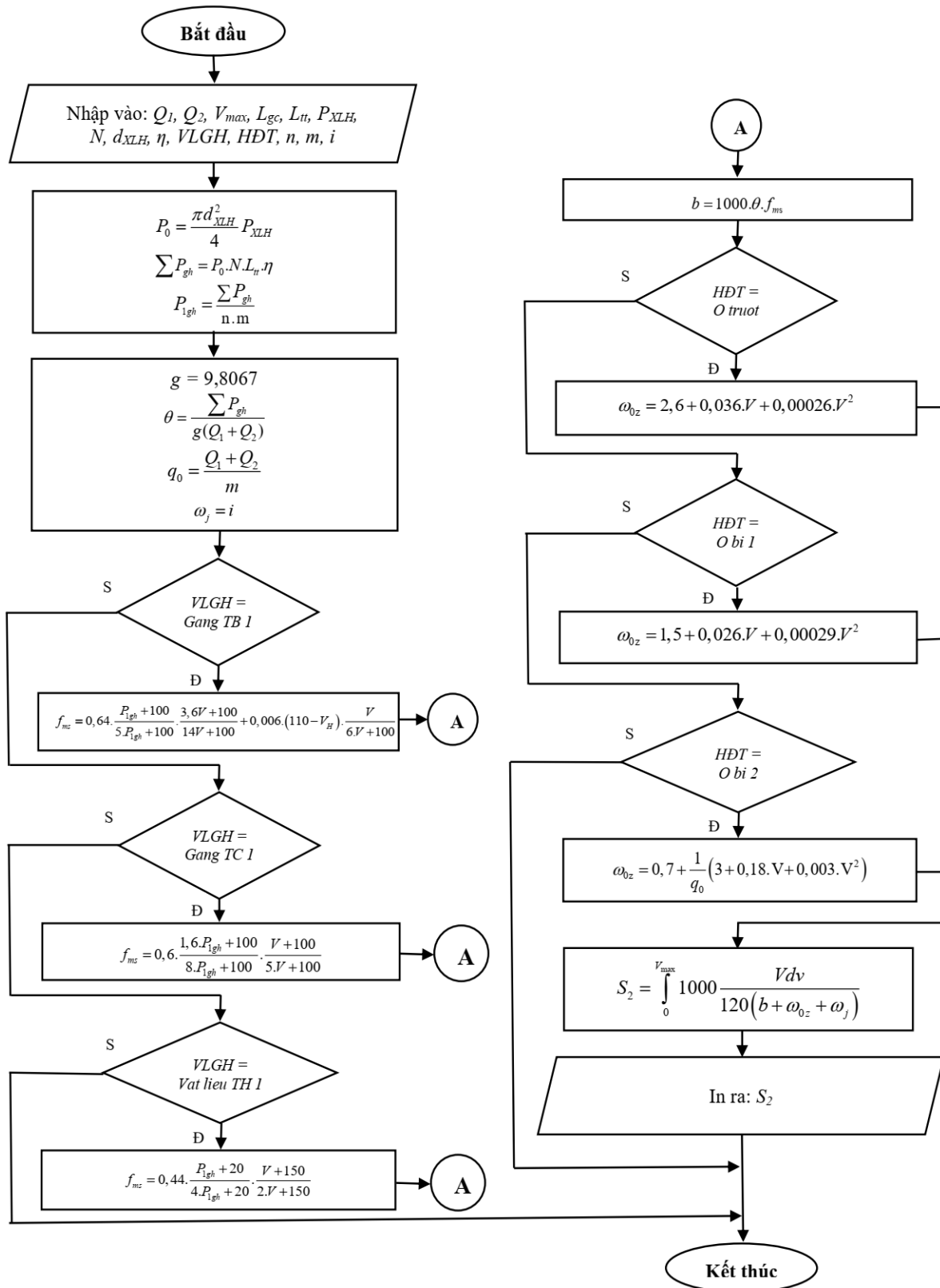
### 3.1. Xây dựng chương trình tính toán khoảng cách hãm toa xe khách

Từ các cơ sở lý thuyết nêu trên, tiến hành thiết lập chương trình tính toán khoảng cách hãm toa xe khách trên cơ sở ngôn ngữ lập trình VBA [8].

3.2.1. Thiết lập các lưu đồ thuật toán

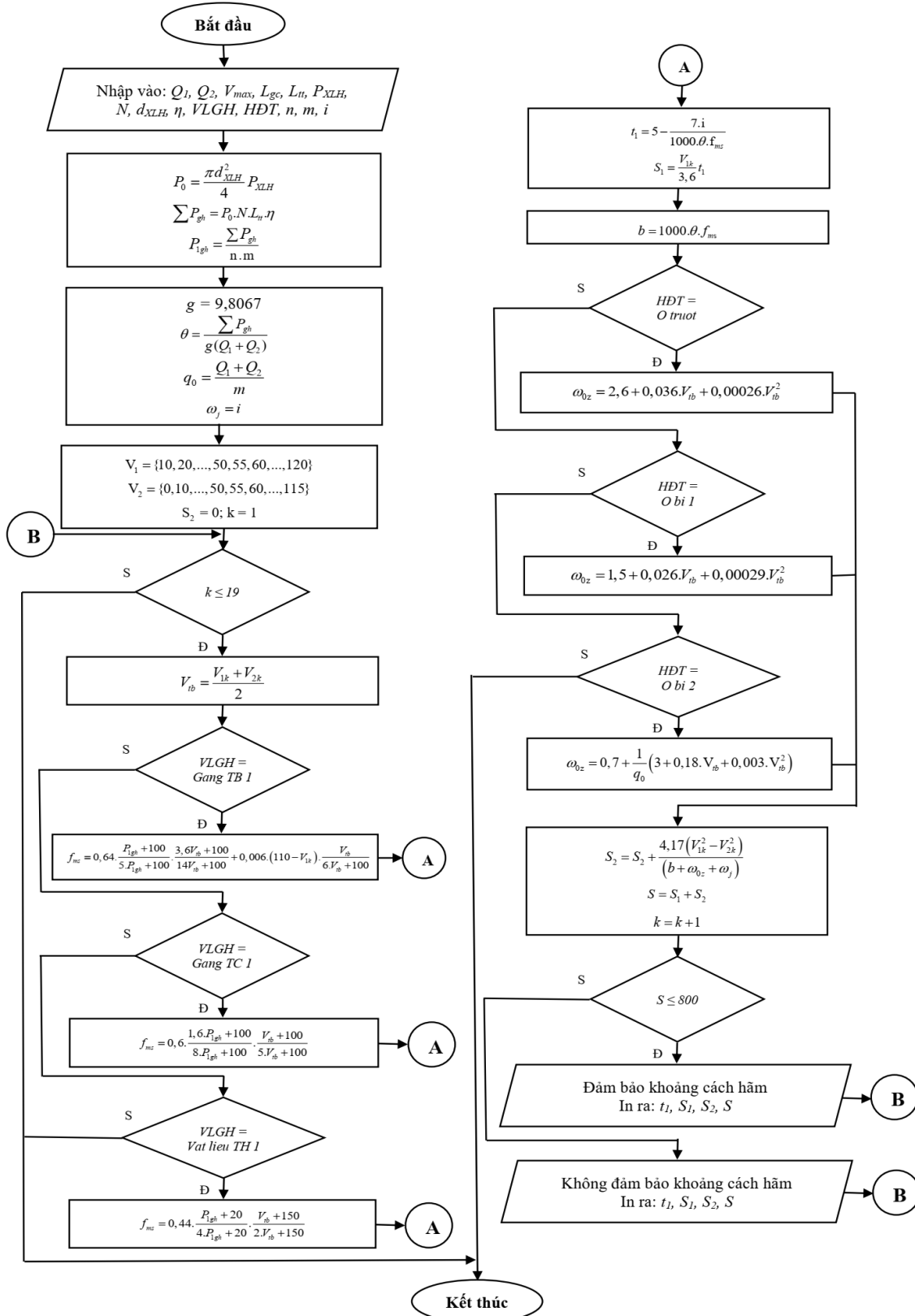


Hình 1. Lưu đồ thuật toán kiểm nghiệm khoảng cách hãm cho toa xe khách hãm guốc bằng cách tính tích phân.



Hình 2. Lưu đồ thuật toán tính tích phân  $S_2$ .





Hình 3. Lưu đồ thuật toán kiểm nghiệm khoảng cách hãm cho toa xe khách hãm gốc bằng cách tính phân đoạn thực tính.

### 3.2.2. Các chức năng chính của chương trình

- Các chức năng chính của chương trình

+ Lựa chọn loại toa xe tính toán trong thư viện: Thông số tính toán hãm của các toa xe khách; chọn vật liệu gốc hãm tính toán.

+ Tính toán khoảng cách hãm toa xe theo hai cách tính: cách tính tích phân và cách tính phân đoạn.

- Một số giao diện chính của chương trình

+ Nhập số liệu: Trong ô “Thông số tính toán hãm của toa xe khách”: phần Chọn loại toa xe, chọn loại toa xe tính toán trong thư viện Thông số tính toán hãm của các toa xe khách (mũi tên); phần Vật liệu gốc hãm, chọn vật liệu gốc hãm tính toán để có hệ số ma sát tương ứng (mũi tên). Thư viện Thông số tính toán hãm có thể bổ sung, chỉnh sửa được. Giao diện nhập số liệu được thể hiện trong hình 4 và hình 6.

Hình 4. Giao diện nhập số liệu tính toán khoảng cách hãm toa xe.

+ Giao diện kết quả tính toán: Lựa chọn cách tính toán trong ô “Kiểm nghiệm khoảng cách hãm”. Giao diện kết quả tính toán được thể hiện trong hình 5.

1.1. Phương pháp tích phân									
- Khoảng cách hãm của toa xe									
S =	527,308	m							
- Kết luận									
Vì	$S \leq [S] = 800 \text{ m}$	=>	Đảm bảo						
1.2. Phương pháp phân đoạn thực tính									
- Bảng kết quả tính toán khoảng cách hãm									
$V_1$ (km/h)	$V_2$ (km/h)	$V_{tb}$ (km/h)	$t_1$ (s)	$S_1$ (m)	$f_{ms}$	$\omega''_0$ (N/kN)	$\Delta S_1$ (m)	$S_2$ (m)	$S$ (m)
120	115	117,5	5,000	166,667	0,114	8,559	62,734	582,038	748,705
115	110	112,5	5,000	159,722	0,119	8,095	58,076	519,304	679,026
110	105	107,5	5,000	152,778	0,124	7,646	53,701	461,228	614,006
105	100	102,5	5,000	145,833	0,129	7,212	49,586	407,527	553,360
100	95	97,5	5,000	138,889	0,134	6,792	45,708	357,941	496,830

Hình 5. Giao diện kết quả tính toán khoảng cách hãm toa xe.

### 3.2. Ứng dụng chương trình tính toán khoảng cách hãm cho toa xe hành lý

Ứng dụng chương trình tính toán tính khoảng cách hãm cho toa xe hành lý sử dụng hãm gốc, có cơ cấu R - T. Hiện nay, có 08 toa xe hành lý được đóng mới (8/2020) có cơ cấu Rỗng – Tải cơ khí. Số hiệu toa xe hành lý: 71513 ÷ 71520, [9].

#### 3.2.1. Các thông số tính toán [9]

Nhập số liệu, lựa chọn toa xe hành lý HL 71513 để tính toán cho trong hình 6.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span style="background-color: #007bff; color: white; padding: 5px 10px; border-radius: 5px;">Giới thiệu</span> <span style="background-color: #6c757d; color: white; padding: 5px 10px; border-radius: 5px;">Menu</span> <span style="background-color: #dc3545; color: white; padding: 5px 10px; border-radius: 5px;">Toa xe khách</span> <span style="background-color: #6f42c1; color: white; padding: 5px 10px; border-radius: 5px;">Đoàn tàu khách</span> </div>					
Thông số kỹ thuật các loại toa xe khách hãm guốc					
TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	HL71513	
1	Tự nặng	$Q_1$	tấn	24	
2	Tải trọng	$Q_2$	tấn	20	
3	Vận tốc cấu tạo	$V_{max}$	km/h	100	
4	Bội suất hãm GCH	$L_{gc}$		4	
5	Bội suất hãm không tải	$L_{kt}$		5,7	
6	Bội suất hãm toàn tải	$L_{tt}$		9,5	
7	Áp suất XLH	$P_{XLH}$	kN/m <sup>2</sup>	328,523	
8	Số XLH	$N$		1	
9	Đường kính XLH	$d_{XLH}$	m	0,356	
10	Hiệu suất	$\eta$		0,85	
11	Vật liệu guốc hãm			Gang TB 1	▼
12	Loại hộp đầu trục			O bi 1	
13	Số guốc hãm /trục	$n$		4	
14	Số trục bánh xe	$m$		4	

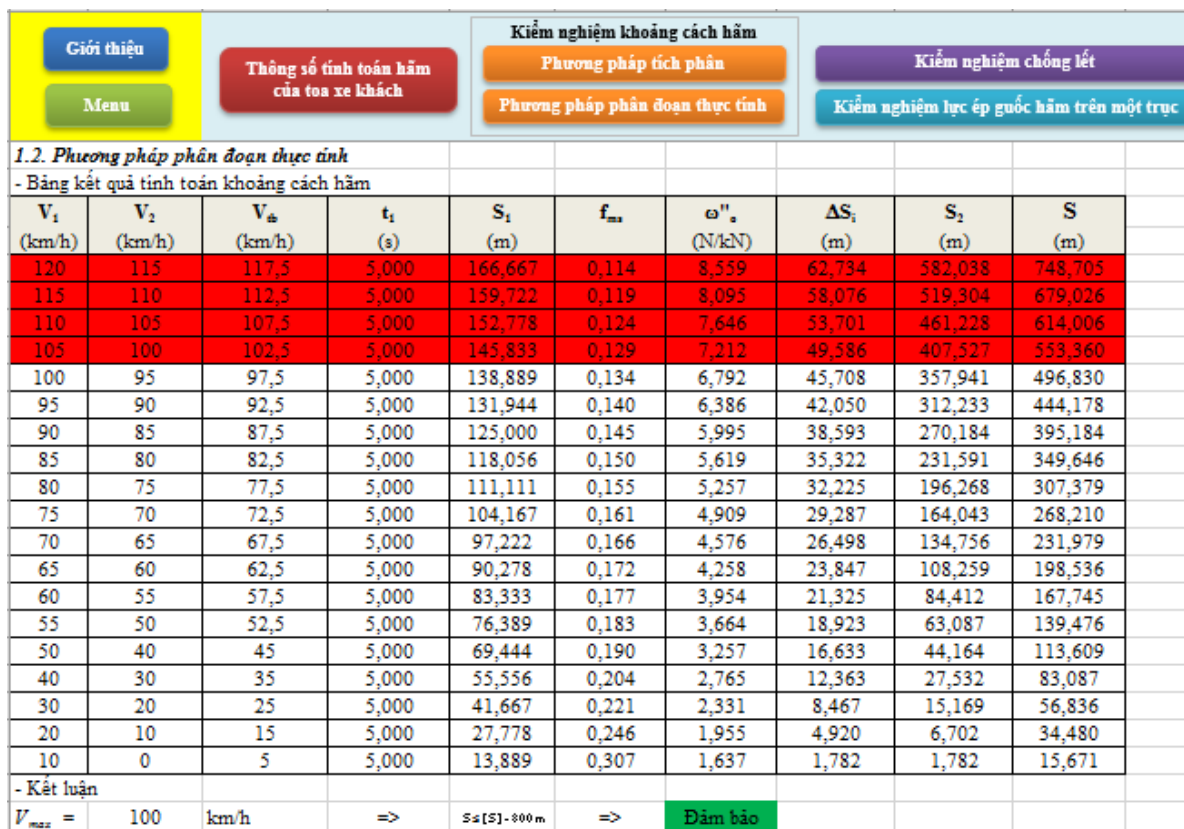
Hình 6. Các thông số kỹ thuật về tính hãm toa xe hành lý 71513.

### 3.2.2. Kết quả tính toán khoảng cách hãm toa xe

Kết quả tính toán khoảng cách hãm cho toa xe hành lý 71513 cho trong hình 7a và 7b.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span style="background-color: #007bff; color: white; padding: 5px 10px; border-radius: 5px;">Giới thiệu</span> <span style="background-color: #6c757d; color: white; padding: 5px 10px; border-radius: 5px;">Menu</span> </div>		<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span style="background-color: #dc3545; color: white; padding: 5px 10px; border-radius: 5px;">Thông số tính toán hãm của toa xe khách</span> <div style="background-color: #f1c40f; padding: 5px 10px; border-radius: 5px; text-align: center;"> <b>Kiểm nghiệm khoảng cách hãm</b>  <span style="background-color: #f1c40f; padding: 5px 10px; border-radius: 5px; display: block; margin-bottom: 5px;">Phương pháp tích phân</span> <span style="background-color: #f1c40f; padding: 5px 10px; border-radius: 5px; display: block;">Phương pháp phân đoạn thực tính</span> </div> </div>	
<b>1.1. Phương pháp tích phân</b>			
- Thời gian chạy không			
$t_1 =$	5,000	s	
- Khoảng cách chạy không			
$S_1 =$	138,889	m	
- Khoảng cách hãm thực tế			
$S_2 =$	388,420	m	
- Khoảng cách hãm của toa xe			
$S =$	527,308	m	
- Kết luận			
Vì	$S \leq [S] = 800 \text{ m}$	$\Rightarrow$	Đảm bảo

Hình 7a. Kết quả tính toán khoảng cách hãm bằng cách tính tích phân cho toa xe hành lý 71513.



Hình 7b. Kết quả tính toán khoảng cách hãm bằng cách tính phân đoạn cho toa xe hành lý 71513.

Từ cơ sở lý thuyết nhận thấy cách tính tích phân cho kết quả chính xác hơn vì cách tính phân đoạn đã giả định, trong mỗi gian cách tốc độ, hợp lực đơn vị không đổi. Kết quả tính khoảng cách hãm cho toa xe hành lý 71513, theo hai cách tính, cách tính tích phân cho kết quả  $S = 527,308$  m lớn hơn so với cách tính phân đoạn  $S = 496,83$  m.

Vậy, sai lệch tuyệt đối giữa hai phương pháp là 30,478 m, sai lệch tương đối là 5,8 %. Do đó, trong tính kiểm nghiệm khoảng cách hãm của toa xe khách, nên sử dụng cách tính tích phân với chương trình tính toán đã xây dựng.

#### 4. KẾT LUẬN

Chương trình tính toán kiểm nghiệm khoảng cách hãm cho toa xe khách có giao diện thân thiện, thuận tiện, cho kết quả chính xác, nhanh chóng. Từ kết quả tính khoảng cách hãm cho toa xe khách với hai cách tính đã nêu, xét thấy nên sử dụng cách tính tích phân trong kiểm nghiệm tính khoảng cách hãm của toa xe khách.

Chương trình đã xây dựng là cơ sở để thiết lập chương trình tính toán khoảng cách hãm cho đoàn tàu khách.

#### LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải (ĐH GTVT) trong đề tài mã số T2020-CK-010.

## **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Tiêu chuẩn Quốc gia, Phương tiện giao thông đường sắt - Toa xe - Yêu cầu thiết kế, TCVN 9983:2013.
- [2]. Quy trình chạy tàu và công tác dồn đường sắt, Tổng Công ty Đường sắt Việt Nam, 2018.
- [3]. Nguyễn Văn Chuyên, Vũ Duy Lộc, Khuất Tất Nhưõng, Kiều Duy Sức, Hãm đoàn tàu, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội, 1996.
- [4]. Nguyễn Văn Chuyên, Sức kéo đoàn tàu, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội, 2001.
- [5]. Qui trình tính toán sức kéo đoàn tàu đường sắt - Bộ GTVT, 1985.
- [6]. Khuất Tất Nhưõng, Hãm đoàn tàu, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội, 1997.
- [7]. Bộ môn Toa xe, Sổ tay kỹ thuật toa xe - Tập 1, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội, 1985.
- [8]. Phan Tụ Hướng, Lập trình VBA trong Excel, NXB Thống kê, Hà Nội, 2009.
- [9]. CV số 1006/VTSG-ĐMTX, Tác nghiệp kỹ thuật toa xe hành lý lắp giá chuyể hướng GAK2, Tổng công ty cổ phần vận tải đường sắt Sài Gòn, 2020.
- [10]. В.Р. Асадченко, Автоматические тормоза подвижного состава железнодорожного транспорта, Москва, 2002.