



DETERMINATION AND ASSESSMENT OF THE SERVICE LIFE OF ROLLING STOCK'S WHEELSETS ON THE CAT LINH - HA DONG URBAN RAILWAY LINE DURING OPERATION

Nguyen Duc Toan, Do Duc Tuan*

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

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 01/08/2024

Revised: 30/06/2025

Accepted: 10/08/2025

Published online: 15/08/2025

<https://doi.org/10.47869/tcsj.76.6.2>

* *Corresponding author*

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: 0913905814

Abstract: The Cat Linh - Ha Dong urban railway line is operated with 13 trains, each consisting of four cars configured as Tc1-M0-M1-Tc2, comprising 26 motor cars and 26 trailer cars. Each motor car is equipped with four powered wheelsets, while each trailer car has four unpowered wheelsets. During operation, wheelsets experience wear on the tread surface and flange, leading to an increase in flange height. These wear parameters significantly influence and determine the service life of the wheelsets. Based on statistical data collected on wheelset wear during operation from November 6, 2021, to March 31, 2024, the service life of the wheelsets corresponding to tread wear, flange wear, and flange height increase has been determined. The results of these calculations serve as a foundation for the users to propose appropriate solutions for reducing wheel wear, proactively planning spare parts inventory, and replacing components of the wheelsets. This contributes to extending service life and enhancing the reliability and operational efficiency of the rolling stock.

Keywords: urban railway rolling stock, service life, wheelset, wheel wear, Cat Linh - Ha Dong



XÁC ĐỊNH VÀ ĐÁNH GIÁ THỜI HẠN LÀM VIỆC CỦA BỘ TRỤC BÁNH XE TRÊN PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn*

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: 01/08/2024

Ngày nhận bài sửa: 30/06/2025

Ngày chấp nhận đăng: 10/08/2025

Ngày xuất bản Online: 15/08/2025

<https://doi.org/10.47869/tcsj.76.6.2>

* Tác giả liên hệ

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: 0903905814

Tóm tắt: Phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông gồm 13 đoàn tàu, mỗi đoàn tàu có 4 toa xe với cấu hình Tc1-M0-M1-Tc2, trong đó có 26 toa động lực và 26 toa kéo theo. Trên mỗi toa xe động lực có 04 bộ trục chủ động, trên mỗi toa xe kéo theo có 04 bộ trục bị động. Trong quá trình khai thác, các bánh xe bị hao mòn theo mặt lăn, hao mòn theo gờ bánh dẫn đến gia tăng chiều cao gờ bánh. Các thông số hao mòn này ảnh hưởng và quyết định tới thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe. Với số liệu thống kê về hao mòn của bộ trục bánh xe trong quá trình khai thác, thu thập được trong khoảng thời gian từ 06/11/2021 đến 31/3/2024, đã xác định được thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe tương ứng với hao mòn mặt lăn, hao mòn gờ bánh và độ gia tăng chiều cao gờ bánh. Kết quả tính toán là cơ sở để đơn vị sử dụng đề xuất các giải pháp thích hợp cho việc giảm hao mòn bánh xe, chủ động trong việc lập kế hoạch dự phòng phụ tùng, vật tư thay thế đối với các bộ phận của bộ trục bánh xe, góp phần kéo dài thời hạn làm việc, nâng cao độ tin cậy và hiệu quả khai thác của phương tiện.

Từ khóa: phương tiện đường sắt đô thị, thời hạn làm việc, bộ trục bánh xe, hao mòn bánh xe, Cát Linh-Hà Đông.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình khai thác, các bánh xe của phương tiện đường sắt đô thị bị hao mòn theo một số dạng khác nhau, bao gồm hao mòn mặt lăn, hao mòn gờ bánh dẫn đến gia tăng chiều cao gờ bánh xe. Các thông số hao mòn này ảnh hưởng và quyết định tới thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe. Để xác định và đánh giá được thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe trong quá trình khai thác theo các dạng hao mòn khác nhau, cần khảo sát và thu thập số liệu thống kê về hao mòn trong khoảng thời gian làm việc xác định, đồng thời cần có công cụ để xử lý số liệu thống kê, từ đó xác định và đánh giá được thời hạn làm việc của đối tượng. Để giải quyết vấn đề đặt ra, đã tiến hành khảo sát và thu thập được 1.248 số liệu thống kê về hao mòn của các bộ trục bánh xe trên 52 toa xe của 13 đoàn tàu trong khoảng thời gian làm việc từ 06/11/2021 đến 31/3/2024. Về mặt công cụ, trên cơ sở mô hình đánh giá độ tin cậy của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh-Hà Đông [1-2], bằng ngôn ngữ lập trình Java [3 - 5] và hệ quản trị cơ sở dữ liệu SQLite [6 - 9], đã xây dựng được phần mềm “Đánh giá giá độ tin cậy và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác” [10] với các chức năng tổng quát như sau:

1. Đánh giá độ tin cậy và tính sẵn sàng của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến.
2. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depo.
3. Đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe do hao mòn trong quá trình vận hành trên tuyến.
4. Đánh giá độ an toàn của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến.
5. Đánh giá trạng thái xác suất giới hạn của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến.

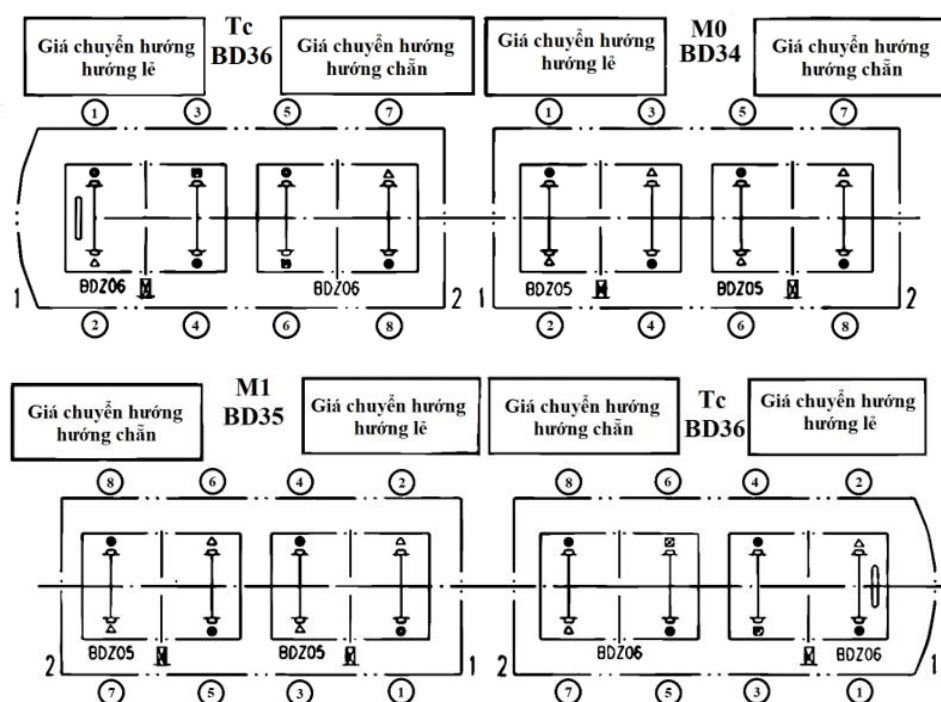
Trong bài báo này trình bày một trong các nội dung đã nêu, đó là xác định và đánh giá thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe do hao mòn trong quá trình vận hành trên tuyến.

2. MỘT SỐ THÔNG SỐ KỸ THUẬT CƠ BẢN CỦA BỘ TRỤC BÁNH XE TRÊN PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG

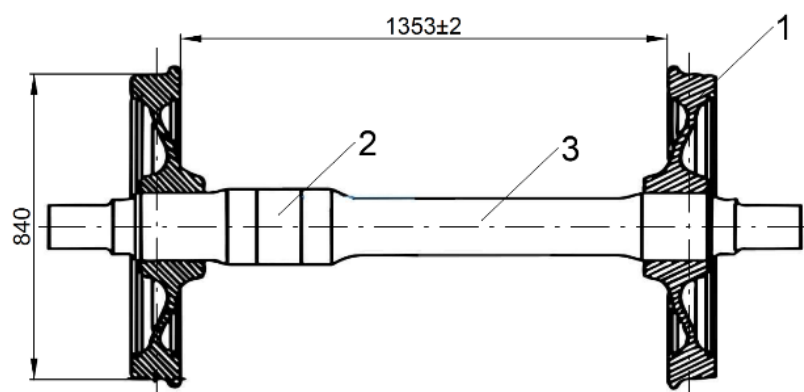
Phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông gồm 13 đoàn tàu, mỗi đoàn tàu có 4 toa xe với cấu hình Tc1-M0-M1-Tc2, trong đó có 26 toa động lực và 26 toa kéo theo. Mỗi toa xe có 02 giá chuyển hướng, mỗi giá chuyển hướng có 02 cặp bánh xe (bộ trục bánh xe). Trên mỗi toa xe động lực có 04 bộ trục chủ động, trên mỗi toa xe kéo theo có 04 bộ trục bị động. Sơ đồ bố trí giá chuyển hướng của đoàn tàu thể hiện trên hình 1 [11].

Bộ trục bánh xe đoàn tàu metro Cát Linh - Hà Đông gồm hai loại [11-13]: bộ trục bánh xe lắp trên toa động lực và bộ trục bánh xe lắp trên toa kéo theo. Bộ trục bánh xe trên toa động lực là trục chủ động (hình 2), có vị trí lắp bánh răng dẫn động (2). Trục bánh xe trên toa xe kéo theo có kết cấu tương tự nhưng không có bánh răng dẫn động.

Một số thông số kỹ thuật cơ bản của bộ trục bánh xe được thể hiện trong bảng 1 [11-13].



Hình 1. Sơ đồ bố trí tổng thể giá chuyển hướng đoàn tàu metro Cát Linh - Hà Đông [11].



Hình 2. Cấu tạo bộ trục bánh xe đoàn tàu Cát Linh - Hà Đông [11-13].

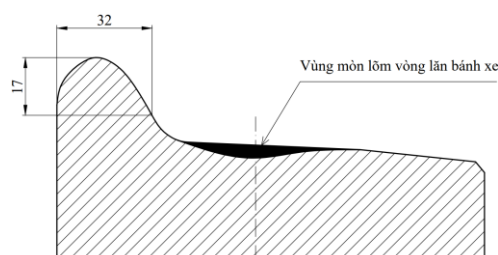
1. Bánh xe; 2. Vị trí lắp bánh răng dẫn động; 3. Trục bánh xe.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật cơ bản của bộ trục bánh xe đoàn tàu metro Cát Linh - Hà Đông.

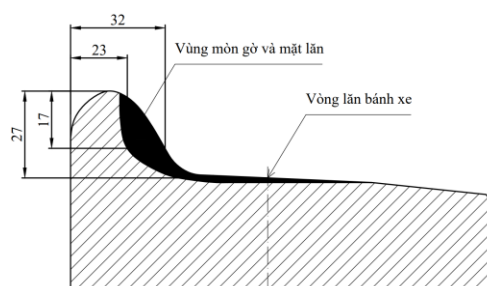
TT	Thông số	Trị số
1	Đường kính mặt lăn bánh xe	
1.1	Đường kính vòng lăn bánh xe mới, mm	840 + 10
1.2	Đường kính vòng lăn bánh xe đã hao mòn 1/2, mm	805
1.3	Đường kính vòng lăn bánh xe đã hao mòn đến giới hạn, mm	770
1.4	Lượng dư từ hao mòn mặt lăn bánh xe, mm	(840 – 770) = 70
1.5	Độ sâu hao mòn mặt lăn cho phép trong vận hành, mm	≤ 8
	Biên dạng mặt lăn bánh xe phải gia công theo tiêu chuẩn TB/T449-2003LM 1.2.3	
2	Chiều dày gờ bánh xe	
2.1	Chiều dày gờ bánh xe nhỏ nhất và lớn nhất, mm	23 - 32

2.2	Lượng dự trữ hao mòn chiều dày gờ bánh, mm	9
3	Chiều cao gờ bánh xe	
3.1	Chiều cao gờ bánh xe nhỏ nhất và lớn nhất, mm	27 - 37
3.2	Lượng dự trữ gia tăng chiều cao, mm	10

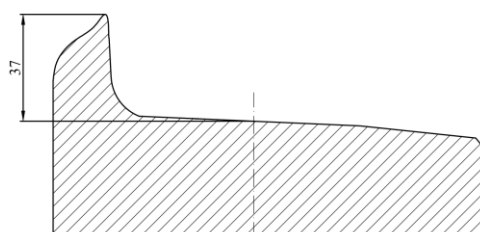
Trong quá trình khai thác, các bánh xe bị hao mòn theo mặt lăn, hao mòn theo gờ bánh dẫn đến gia tăng chiều cao gờ bánh. Các thông số hao mòn này ảnh hưởng và quyết định tới thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe. Sơ đồ hao mòn bánh xe thể hiện trên các hình 3 - 5.



Hình 3. Hao mòn mặt lăn bánh xe.



Hình 4. Hao gờ bánh xe.



Hình 5. Mòn đùn gờ bánh xe (gia tăng chiều cao gờ bánh).

3. XÁC ĐỊNH THỜI HẠN LÀM VIỆC CỦA BỘ TRỤC BÁNH XE THEO HAO MÒN

3.1. Quá trình thu thập số liệu thống kê về hao mòn bánh xe

Sau một khoảng thời gian xác định tính bằng tháng hoặc bằng km chạy, đoàn metro được đưa vào vị trí kiểm tra chuyên dùng (chỉnh bị), tại đây tiến hành đo đạc các thông số sau đây:

a. Đối với mặt lăn bánh xe: Dụng cụ đo đường kính vòng lăn thể hiện trên hình 6.

+ Đo đường kính vòng lăn bánh xe, với tối thiểu ở hai mặt cắt vuông góc với nhau. + Xác định độ mòn mặt lăn bánh xe bằng cách lấy hiệu số của kính thước đường kính nguyên thủy với kích thước đường kính vừa đo được. + Căn cứ quãng đường chạy của đoàn (tính bằng km) tàu từ thời điểm ban đầu đến thời điểm tiến hành đo và căn cứ số liệu hao mòn tại thời điểm đó, tiến hành xác định cường độ hao mòn của mặt lăn bánh xe. + Ghi các số liệu vào biểu mẫu quy định.



Hình 6. Dụng cụ đo đường kính bánh xe.

b. Đối với gờ bánh xe: Dụng cụ đo chiều dày gờ bánh xe thể hiện trên hình 7.

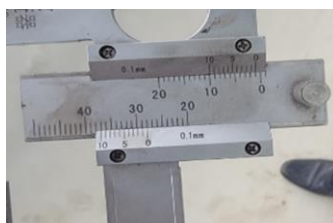
+ Đo chiều dày gờ bánh xe bánh xe, với tối thiểu ở hai mặt cắt vuông góc với nhau. + Xác định độ mòn gờ bánh xe bằng cách lấy hiệu số của kính thước chiều dày gờ bánh xe nguyên thủy với kích thước chiều dày gờ bánh xe vừa đo được. + Căn cứ quãng đường chạy của đoàn (tính bằng km) tàu từ thời điểm ban đầu đến thời điểm tiến hành đo và căn cứ số liệu hao mòn tại thời điểm đó, tiến hành xác định cường độ hao mòn của gờ bánh xe. + Ghi các loại số liệu vào biểu mẫu quy định.



Hình 7. Dụng cụ đo chiều dày gờ bánh xe.

c. Đối với chiều cao gờ bánh xe: Dụng cụ đo chiều cao gờ bánh xe thể hiện trên hình 8.

+ Đo chiều cao gờ bánh xe, với tối thiểu ở hai mặt cắt vuông góc với nhau. + Xác định độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe bằng cách lấy hiệu số của kích thước chiều cao gờ bánh xe nguyên thủy với kích thước chiều cao gờ bánh xe vừa đo được. + Căn cứ quãng đường chạy của đoàn (tính bằng km) tàu từ thời điểm ban đầu đến thời điểm tiến hành đo và căn cứ số liệu hao mòn tại thời điểm đó, tiến hành xác định cường độ gia tăng độ cao gờ bánh xe. + Ghi tất cả số liệu vào biểu mẫu quy định.



Hình 8. Dụng cụ đo chiều cao gờ bánh xe.

d. Nguồn cung cấp thông tin: Các thông tin về hao mòn bánh xe được thu thập từ nhân viên kỹ thuật làm nhiệm vụ bảo dưỡng, sửa chữa tại depo và được cung cấp cho bộ phận kỹ thuật của của depo Phú Lương thuộc Công ty TNHH MTV đường sắt Hà Nội (Hà Nội metro).

Trong khoảng thời gian từ khi bắt đầu khai thác 06/11/2021 đến 31/3/2024 đã thu thập được 1.248 số liệu thống kê về hao mòn của các bộ trục bánh xe trên 52 toa xe của 13 đoàn tàu, được thể hiện tổng quát trong bảng 2.

Bảng 2. Số liệu thống kê tổng quát về hao mòn bánh xe của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh-Hà Đông.

Số liệu hao mòn mặt lăn	Số liệu hao mòn gờ bánh	Số liệu gia tăng chiều cao gờ bánh
416	416	416

3.2. Xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn

Số liệu kê chi tiết về hao mòn mặt lăn bánh xe của toàn bộ 208 bộ trục bánh xe với 416 bánh xe trên 52 toa xe thuộc 13 đoàn tàu kể từ khi bắt đầu khai thác (06/11/2021) cho đến ngày 31/3/2024 gồm 416 số liệu, được trích đoạn giới thiệu trong bảng 3.

Bảng 3. Số liệu thống kê về hao mòn mặt lăn bánh xe của tất cả các đoàn tàu.

TT số liệu	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	Trục số	Phía	Quãng đường chạy, km	Độ mòn, mm	Cường độ hao mòn, mm/10 ⁵ km
1	HN001	Tc1	11/3/2024	1	Trái	170843	4,5	2,63400
2	HN001	M0	11/3/2024	1	Trái	170843	4,5	2,63400
3	HN001	M1	11/3/2024	1	Trái	170843	4,6	2,69253
4	HN001	Tc2	11/3/2024	1	Trái	170843	4,4	2,57546
5	HN001	Tc1	11/3/2024	1	Phải	170843	4,5	2,63400
6	HN001	M0	11/3/2024	1	Phải	170843	4,8	2,80960
7	HN001	M1	11/3/2024	1	Phải	170843	4,5	2,63400
8	HN001	Tc2	11/3/2024	1	Phải	170843	4,5	2,63400
9	HN001	Tc1	11/3/2024	2	Trái	170843	4,4	2,57546
10	HN001	M0	11/3/2024	2	Trái	170843	4,8	2,80960
11	HN001	M1	11/3/2024	2	Trái	170843	4,6	2,69253
12	HN001	Tc2	11/3/2024	2	Trái	170843	4,8	2,80960
13	HN001	Tc1	11/3/2024	2	Phải	170843	4,5	2,63400
14	HN001	M0	11/3/2024	2	Phải	170843	4,6	2,69253
15	HN001	M1	11/3/2024	2	Phải	170843	4,7	2,75106
16	HN001	Tc2	11/3/2024	2	Phải	170843	4,6	2,69253
17	HN001	Tc1	11/3/2024	3	Trái	170843	4,7	2,75106
18	HN001	M0	11/3/2024	3	Trái	170843	4,6	2,69253
19	HN001	M1	11/3/2024	3	Trái	170843	4,8	2,80960
20	HN001	Tc2	11/3/2024	3	Trái	170843	4,4	2,57546
...	...	...	...	...	...	...	...	...
400	HN013	Tc2	13-03-2024	2	Phải	215620	4,5	2,08700
401	HN013	Tc1	13-03-2024	3	Trái	215620	4,6	2,13338
402	HN013	M0	13-03-2024	3	Trái	215620	4,7	2,17976
403	HN013	M1	13-03-2024	3	Trái	215620	4,8	2,22614
404	HN013	Tc2	13-03-2024	3	Trái	215620	4,4	2,04063

405	HN013	Tc1	13-03-2024	3	Phải	215620	4,6	2,13338
406	HN013	M0	13-03-2024	3	Phải	215620	4,7	2,17976
407	HN013	M1	13-03-2024	3	Phải	215620	4,7	2,17976
408	HN013	Tc2	13-03-2024	3	Phải	215620	4,8	2,22614
409	HN013	Tc1	13-03-2024	4	Trái	215620	4,5	2,08700
410	HN013	M0	13-03-2024	4	Trái	215620	4,7	2,17976
411	HN013	M1	13-03-2024	4	Trái	215620	4,6	2,13338
412	HN013	Tc2	13-03-2024	4	Trái	215620	4,6	2,13338
413	HN013	Tc1	13-03-2024	4	Phải	215620	4,4	2,04063
414	HN013	M0	13-03-2024	4	Phải	215620	4,8	2,22614
415	HN013	M1	13-03-2024	4	Phải	215620	4,4	2,04063
416	HN013	Tc2	13-03-2024	4	Phải	215620	4,5	2,08700

Bảng phần mềm chuyên dùng [10], đã xác định được thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn đối với tổng thể toàn bộ 13 đoàn tàu ở các mức tin cậy khác nhau: 50%, 90% và 99,99 %. Kết quả thể hiện trên các giao diện hình 9.

2.1.2. CẬP NHẬT BẢNG XE

Độ tin cậy: An toàn Hao mòn mặt lăn bánh xe Hao mòn gờ bánh xe Độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe

ID	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	Trục số	Phía	L (mm)	Iml (mm)	c (mm/10 ⁵ km)
404	HN013	Tc2	13-03-2024	3	Trái	215620	4,4	2,04063
405	HN013	Tc1	13-03-2024	3	Phải	215620	4,6	2,13338
406	HN013	M0	13-03-2024	3	Phải	215620	4,7	2,17976
407	HN013	M1	13-03-2024	3	Phải	215620	4,7	2,17976
408	HN013	Tc2	13-03-2024	3	Phải	215620	4,8	2,22614
409	HN013	Tc1	13-03-2024	4	Trái	215620	4,5	2,08700
410	HN013	M0	13-03-2024	4	Trái	215620	4,7	2,17976
411	HN013	M1	13-03-2024	4	Trái	215620	4,6	2,13338
412	HN013	Tc2	13-03-2024	4	Trái	215620	4,6	2,13338
413	HN013	Tc1	13-03-2024	4	Phải	215620	4,4	2,04063
414	HN013	M0	13-03-2024	4	Phải	215620	4,8	2,22614
415	HN013	M1	13-03-2024	4	Phải	215620	4,4	2,04063
416	HN013	Tc2	13-03-2024	4	Phải	215620	4,5	2,08700

Độ tin cậy: 416 Thêm Xóa Sửa Lưu Hủy

Cài đặt độ mòn giới hạn

Độ mòn giới hạn I_{ph} (mm): 8 Đồng ý Mặc định

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Kỳ vọng toán học $a(c)$ (mm/10⁵ km): 2.27951

Độ lệch chuẩn $\sigma(c)$ (mm/10⁵ km): 0.33452

Hệ số biến động $v(c)$: 0.146721

Thời hạn làm việc $t_{-50\%}$ (10⁵ km): 3.50953

Thời hạn làm việc $t_{-90\%}$ (10⁵ km): 2.95391

Thời hạn làm việc $t_{-99.99\%}$ (10⁵ km): 2.27057

Hàm mật độ phân bố xác suất $f(c)$: / Đồ thị hàm $f(c)$

Hàm độ tin cậy $P(t)$: / Đồ thị hàm $P(t)$

Hàm xác suất hỏng $Q(t)$: / Đồ thị hàm $Q(t)$

Đã tính toán và cập nhật số liệu

Hình 9. Giao diện hiển thị kết quả xác định thời hạn làm việc tổng hợp cho tất cả các bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn.

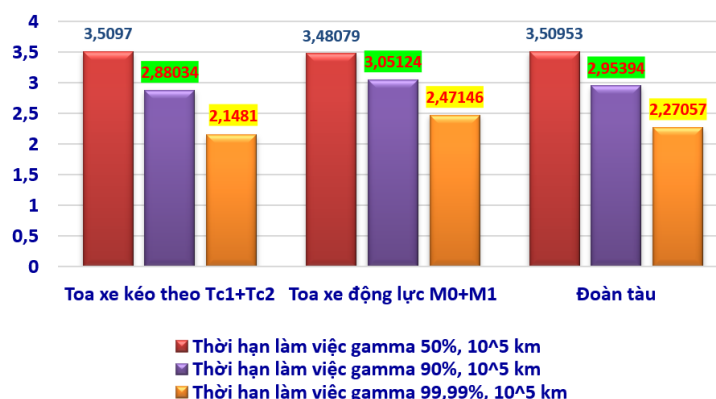
Thời hạn làm việc trung bình (mức tin cậy 50%) của bộ trục bánh xe đến khi cần khôi phục lại biên dạng do hao mòn mặt lăn (với độ mòn cho phép là 8,0 mm cho trong bảng 1) là khoảng 350.000 km.

Tương tự như vậy, đã tiến hành xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn trên các toa xe kéo theo Tc1+Tc2 và trên các toa xe động lực Toa xe M0+M1.

Các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe hao mòn mặt lăn bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác nhau thể hiện trong bảng 4 và hình 10.

Bảng 4. Tổng hợp các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác nhau.

Theo hao mòn mặt lăn bánh xe	Thời hạn làm việc gamma 50%, 10^5 km	Thời hạn làm việc gamma 90%, 10^5 km	Thời hạn làm việc gamma 99,99%, 10^5 km
Toa xe Tc1+Tc2	3,50970	2,88034	2,1481
Toa xe M0+M1	3,48079	3,05124	2,47146
Đoàn tàu	3,50953	2,95394	2,27057



Hình 10. Biểu đồ thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác nhau.

Nhận xét: Thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác biệt nhau là không đáng kể. Điều này được lý giải là kỳ vọng toán học cường độ hao mòn mặt lăn của chúng là tương đương nhau, không có sự chênh lệch đáng kể, thể hiện quá trình hao mòn trong khoảng thời gian khảo sát đã nêu là tương đối ổn định.

3.3. Xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh

Quá trình tính toán hoàn toàn tương tự như trên. Kết quả tính toán thể hiện trên các giao diện hình 11.

The screenshot displays the '2.1.2. CẬP BÁNH XE' (Update Axle Assembly) window. It includes a table of axle assembly data and a sidebar with calculation parameters and results.

ID	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	Trục số	Phía	L (km)	lgh (mm)	c (mm/10^5 km)
404	HN013	Tc2	13-05-2024	3	Trái	215620	1,9	0,84119
405	HN013	Tc1	13-05-2024	3	Phải	215620	1,6	0,74205
406	HN013	M0	13-05-2024	3	Phải	215620	1,7	0,78842
407	HN013	M1	13-05-2024	3	Phải	215620	1,6	0,74205
408	HN013	Tc2	13-05-2024	3	Phải	215620	1,9	0,88118
409	HN013	Tc1	13-05-2024	4	Trái	215620	1,6	0,74205
410	HN013	M0	13-05-2024	4	Trái	215620	1,6	0,74205
411	HN013	M1	13-05-2024	4	Trái	215620	1,7	0,78842
412	HN013	Tc2	13-05-2024	4	Trái	215620	1,7	0,78842
413	HN013	Tc1	13-05-2024	4	Phải	215620	1,8	0,83480
414	HN013	M0	13-05-2024	4	Phải	215620	1,6	0,74205
415	HN013	M1	13-05-2024	4	Phải	215620	1,8	0,83480
416	HN013	Tc2	13-05-2024	4	Phải	215620	1,6	0,74205

Calculation parameters and results (from screenshot):

- Độ mòn giới hạn I_{gh} (mm): 9
- Độ lệch chuẩn $\sigma(c)$ (mm/10^5 km): 0.819904
- Hệ số biến động $v(c)$: 0.0690487
- Thời hạn làm việc $t_{-50\%}$ (10^5 km): 0.0842156
- Thời hạn làm việc $t_{-90\%}$ (10^5 km): 10.9769
- Thời hạn làm việc $t_{-99,99\%}$ (10^5 km): 9.90726
- Thời hạn làm việc $t_{-99,99\%}$ (10^5 km): 8.55890
- Ham mật độ phân bố xác suất $f(c)$: f Đồ thị hàm $f(c)$
- Ham độ tin cậy $P(c)$: P Đồ thị hàm $P(c)$
- Ham xác suất hỏng $Q(t)$: Q Đồ thị hàm $Q(t)$

Hình 11. Giao diện hiển thị kết quả xác định thời hạn làm việc tổng hợp của tất cả các bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh.

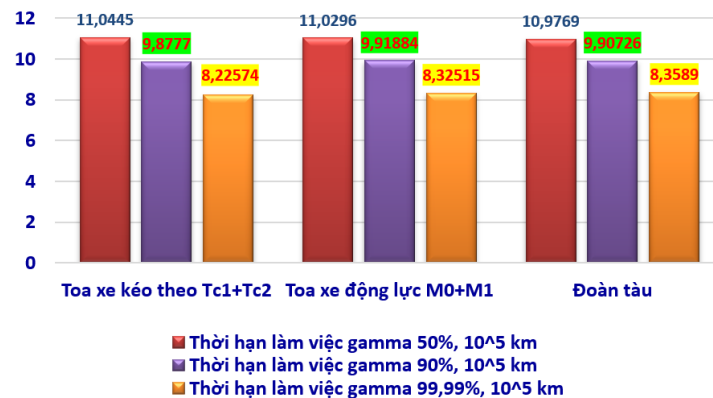
Thời hạn làm việc trung bình của bộ trục bánh xe đến khi cần khôi phục lại biên dạng do hao mòn gờ bánh (với độ mòn cho phép là 9,0 mm cho trong bảng 1) là khoảng 1.098.000 km.

Tương tự như vậy, đã tiến hành xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh trên các toa xe kéo theo Tc1+Tc2 và trên các toa xe động lực Toa xe M0+M1.

Các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác nhau thể hiện trong bảng 5 và hình 12.

Bảng 5. Tổng hợp các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe hao mòn gờ bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác nhau.

Theo hao mòn gờ bánh xe	Thời hạn làm việc gamma 50%, 10^5 km	Thời hạn làm việc gamma 90%, 10^5 km	Thời hạn làm việc gamma 99,99%, 10^5 km
Toa xe Tc1+Tc2	11,0445	9,8777	8,22574
Toa xe M0+M1	11,0296	9,91884	8,32515
Đoàn tàu	10,9769	9,90726	8,35890



Hình 12. Biểu đồ thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác nhau.

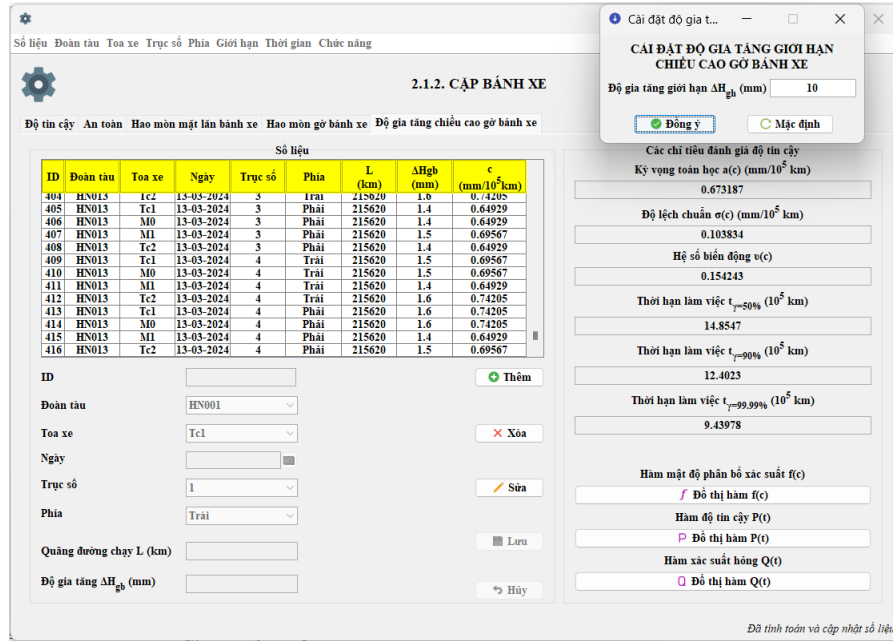
Nhận xét: Thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác biệt nhau không đáng kể. Điều này được lý giải là kỳ vọng toán học cường độ hao mòn gờ bánh của chúng là tương đương nhau, không có sự chênh lệch đáng kể, thể hiện quá trình hao mòn trong khoảng thời gian khảo sát đã nêu là tương đối ổn định.

3.4. Xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh

Kết quả đánh giá độ tin cậy của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh đối với tất cả các toa xe thể hiện trên các giao diện hình 13.

Thời hạn làm việc trung bình của bộ trục bánh xe đến khi cần khôi phục lại biên dạng do gia tăng chiều cao gờ bánh (với độ gia tăng cho phép là 10 mm cho trong bảng 1) là khoảng 1.485.000 km.

Tương tự như vậy, đã tiến hành xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe trên các toa xe kéo theo Tc1+Tc2 và trên các toa xe động lực Toa xe M0+M1.

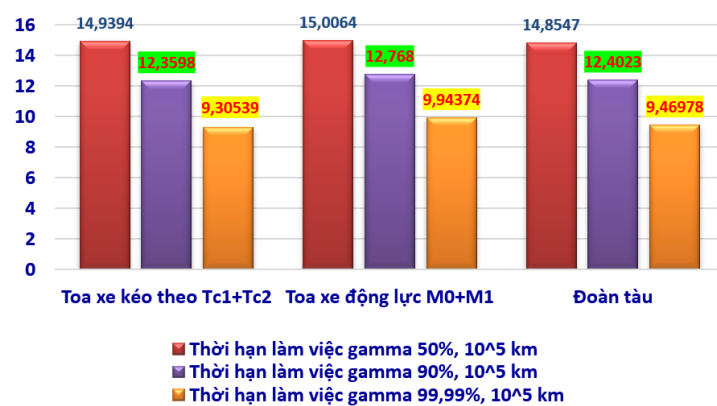


Hình 13. Giao diện hiển thị kết quả xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh tổng hợp đối với tất cả các toa xe.

Các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác nhau thể hiện trong bảng 6 và hình 14.

Bảng 6. Tổng hợp các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác nhau.

Theo hao mòn gờ bánh xe	Thời hạn làm việc gamma 50%, 10 ⁵ km	Thời hạn làm việc gamma 90%, 10 ⁵ km	Thời hạn làm việc gamma 99,99%, 10 ⁵ km
Toa xe Tc1+Tc2	14,9394	12,3598	9,30539
Toa xe M0+M1	15,0064	12,7680	9,94374
Đoàn tàu	14,8547	12,4023	9,43978



Hình 14. Biểu đồ thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh ở các mức tin cậy khác nhau.

Nhận xét: Thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu ở các mức tin cậy khác biệt nhau không đáng kể. Điều này được lý giải là kỳ vọng toán học độ gia tăng chiều cao của chúng là tương đương

nhau, không có sự chênh lệch đáng kể, thể hiện quá trình gia tăng chiều cao trong khoảng thời gian khảo sát đã nêu là tương đối ổn định.

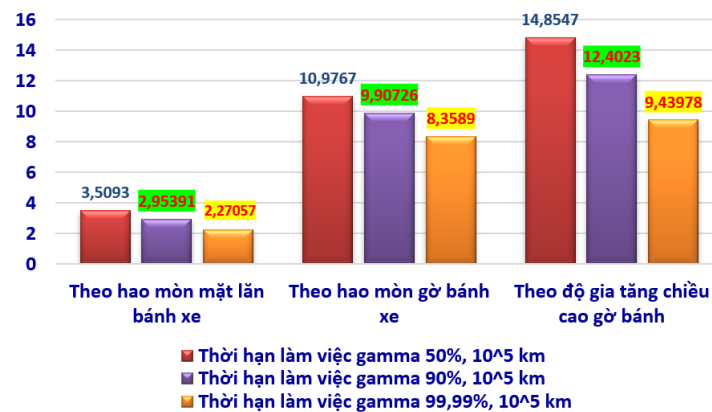
4. ĐÁNH GIÁ THỜI HẠN LÀM VIỆC CỦA BỘ TRỤC BÁNH XE THEO CÁC DẠNG HAO MÒN

4.1. Đánh giá thời hạn làm việc trong một chu kỳ khôi phục biên dạng mặt lằn bánh xe (tiền lại mặt lằn)

Các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lằn, gờ bánh và độ gia tăng chiều cao gờ bánh ở các mức tin cậy khác nhau thể hiện trong bảng 7 và hình 15.

Bảng 7. Tổng hợp các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lằn, gờ bánh và độ gia tăng chiều cao gờ bánh ở các mức tin cậy khác nhau.

Thông số	Thời hạn làm việc gamma 50%, 10^5 km	Thời hạn làm việc gamma 90%, 10^5 km	Thời hạn làm việc gamma 99,99%, 10^5 km
Theo hao mòn mặt lằn bánh xe	3,5093	2,95391	2,27057
Theo hao mòn gờ bánh xe	10,9769	9,90726	8,35890
Theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe	14,8547	12,4023	9,43978



Hình 15. Biểu đồ thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lằn, gờ bánh và độ gia tăng chiều cao gờ bánh ở các mức tin cậy khác nhau.

Khi thời gian làm việc trung bình của bộ trục bánh xe là 350.000 km, thì khi đó gờ bánh xe mòn đi một lượng là $350.000 \text{ km} \times 0,8 \text{ mm}/10^5 \text{ km} = 2,8 \text{ mm}$ và lượng dự trữ hao mòn chiều dày gờ bánh còn lại là $9,0 \text{ mm} - 2,8 \text{ mm} = 6,2 \text{ mm}$. Khi tiến để tạo lại biên dạng thì chiều dày gờ trở về trị số ban đầu là 32 mm. Lúc này hao mòn gờ bánh không chi phối đến thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe nữa. Cũng tương tự như vậy đối với độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe.

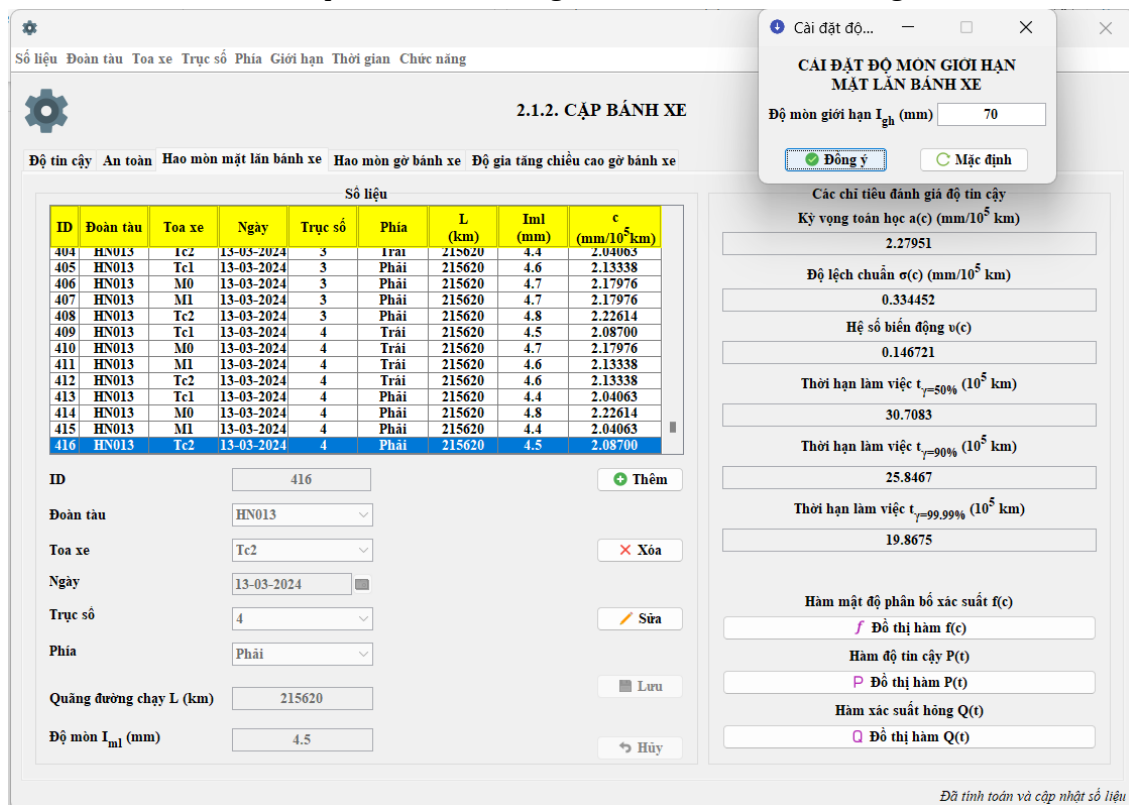
Như vậy, thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe được quyết định bởi hao mòn mặt lằn. Thời hạn làm việc tính theo hao mòn gờ bánh và độ gia tăng chiều cao gờ bánh chỉ có ý nghĩa tham khảo.

Trong quá trình sửa chữa, thường không sử dụng thời hạn làm việc trung bình của đối tượng (ở đó mức tin cậy chỉ là 50%), mà cần sử dụng thời hạn làm việc ở mức tin cậy cao hơn, tùy theo đơn vị sử dụng quyết định. Hiện nay theo các quy trình ở nước ngoài, người ta thường sử dụng mức tin cậy là 90%. Trong trường hợp này, điều đó có nghĩa là cần khôi phục lại biên

dạng bánh xe do hao mòn mặt lăn không phải ở thời điểm 350.000 km chạy, mà phải là 295.391 km (tương ứng mức tin cậy 90%) hoặc có thể làm tròn là 300.000 km.

4.2. Đánh giá thời hạn làm việc trong vòng đời của bộ trục bánh xe

1. Giả thiết rằng cường độ hao mòn mặt lăn trong suốt quá trình làm việc của bộ trục bánh xe từ khi bắt đầu sử dụng đến khi đường kính vòng lăn đạt giới hạn nhỏ nhất cho phép, đồng thời trong suốt quá trình đó không tiến hành tiện lại mặt lăn bánh xe, thì thời hạn làm việc trung bình tối đa của nó theo kết quả tính toán trên giao diện hình 16 là khoảng 3.000.000 km chạy.



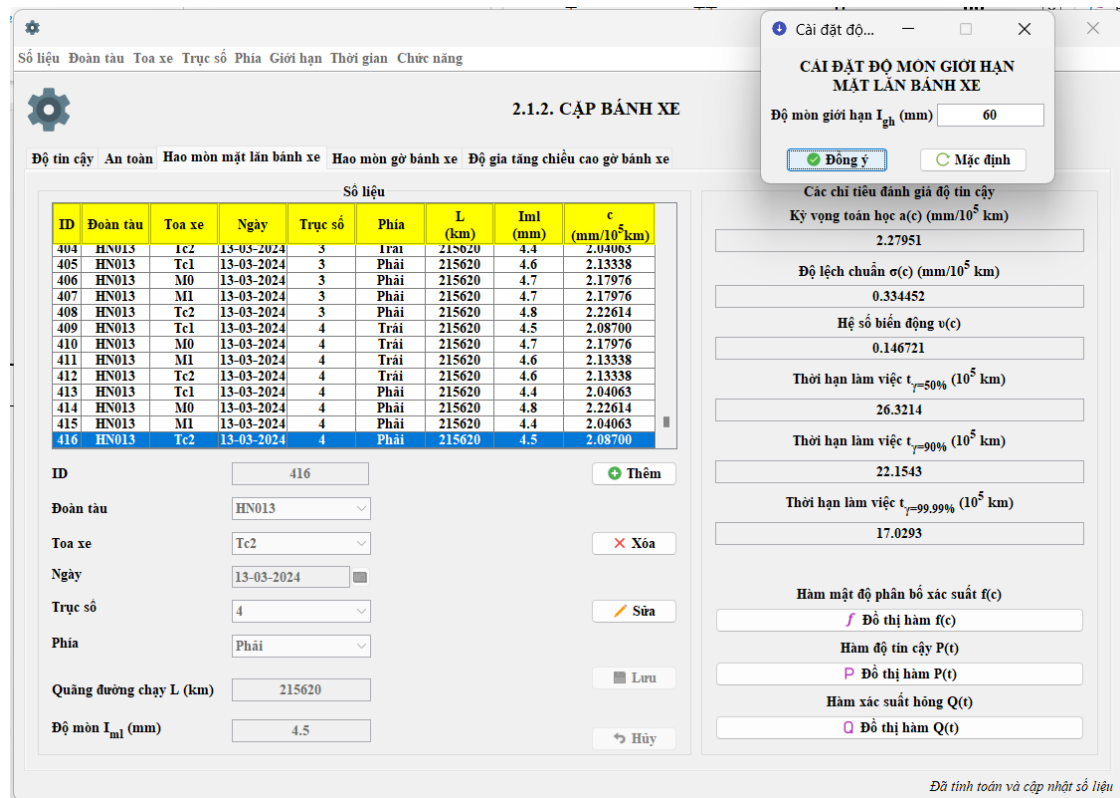
Hình 16. Giao diện hiển thị kết quả xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn với lượng dự trữ hao mòn 70 mm.

2. Tuy nhiên theo quy trình khai thác, độ mòn mặt lăn cho phép là ≤ 8 mm, lúc này cần phải khôi phục lại biên dạng mặt lăn (tiện lại mặt lăn).

3. Với lượng dự trữ hao mòn mặt lăn tối thiểu là 70 mm và độ mòn cho phép trong khai thác tối đa là 8,0 mm, thì trong một vòng đời bộ trục bánh xe phải khôi phục lại biên dạng (tiện lại mặt lăn) là 70 mm: 8 mm = 8,75 lần, làm tròn là 9 lần.

4. Mặt khác, giả thiết rằng lượng gia công cơ khí trung bình trong một lần tiện là 1,0 mm, thì với 9 lần tiện, lượng dự trữ hao mòn mất đi 9,0 mm, khi đó lượng dự trữ hao mòn thực tế chỉ còn khoảng 70 mm - 9,0 mm = 61,0 mm (làm tròn là 60 mm).

Khi đó thời hạn làm việc trong cả vòng đời có kể đến 9 lần gia công bánh xe được xác định và thể hiện trên giao diện hình 17, chỉ còn khoảng 2.630.000 km. Nếu quãng đường chạy trung bình của đoàn tàu là 100.000 km/năm thì sau khoảng 26 năm bộ trục bánh xe mới hao mòn đến kích thước vòng lăn nhỏ nhất là 770 mm.



Hình 17. Giao diện hiển thị kết quả xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn với lượng dự trữ hao mòn 60 mm.

Trong thực tế, lượng gia công cơ khí trong mỗi lần tiện bánh xe là khác nhau, phục thuộc và đặc tính hao mòn của biên dạng, phụ thuộc độ chênh lệch đường kính vòng lăn của các bánh xe trong một trục, trong một giá chuyển hướng, trong cả đoàn tàu v.v., khi đó thời hạn làm việc trong một vòng đời của bộ trục bánh xe sẽ còn nhỏ hơn nữa.

Mặt khác, cũng cần lưu ý rằng cường độ hao mòn bánh xe không phải là cố định cho toàn vòng đời, mà có thể thay đổi theo từng thời kỳ khai thác do nhiều nguyên nhân khách quan và chủ quan khác nhau. Một trong những nguyên nhân phải kể đến là khi đường kính vòng lăn giảm dần thì số vòng quay của trục bánh xe sẽ tăng lên khi di chuyển một quãng đường như nhau, dẫn đến quá trình ma sát giữa bánh xe và ray tăng lên. Khi đó cường độ hao mòn có xu hướng gia tăng khi đường kính vòng lăn bánh xe ngày càng nhỏ đi. Đây và vấn đề có tính chất chuyên sâu, được xem xét ở các nghiên cứu cụ thể khác.

5. KẾT LUẬN

Kết quả tính toán đã xét được ảnh hưởng tổng hợp của các điều kiện khai thác đến độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe do hao mòn, tuy nhiên chưa có điều kiện nghiên cứu ảnh hưởng riêng biệt của từng yếu tố đến các chỉ tiêu nói trên. Vấn đề này sẽ được triển khai trong các nghiên cứu tiếp theo.

Kết quả tính toán cho phép hình dung được cường độ hao mòn, độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe trong quá trình khai thác, giúp cho đơn vị sử dụng đề xuất các giải pháp thích hợp cho việc giảm hao mòn bánh xe, nhằm tăng thời hạn làm việc tin cậy của nó,

mặt khác chủ động trong việc lập kế hoạch dự phòng phụ tùng, vật tư thay thế đối với các bộ phận của trục bánh xe, góp phần nâng cao độ tin cậy, tính sẵn sàng của phương tiện.

Kết quả tính toán trên đây mới chỉ tương ứng với thời gian bắt đầu khai thác từ 06/11/2021 đến 31/3/2024. Tiếp theo cần theo dõi, thu thập và cập nhật số liệu thống kê về hao mòn một cách thường xuyên, liên tục, từ đó tiến hành tính toán cho các khoảng thời gian khác nhau như theo từng năm, theo từng một số năm..., làm cơ sở cho việc phân tích, so sánh, đánh giá sự khác biệt về các thông số cường độ hao mòn, thời hạn làm việc... cho từng giai đoạn nói riêng và toàn bộ quá trình khai thác nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn, Xây dựng mô hình đánh giá độ tin cậy của hệ thống kỹ thuật phức hợp, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 74 (2023) 329-345. <https://doi.org/10.47869/tcsj.74.3.8>
- [2]. Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn, Xây dựng mô hình đánh giá độ tin cậy của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh – Hà Đông trong quá trình khai thác, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 74 (2023) 896-912. <https://doi.org/10.47869/tcsj.74.8.4>
- [3]. Đoàn Văn Ban, Đoàn Văn Trung, Giáo trình Lập trình Java, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, Hà Nội 2011.
- [4]. Allen Downey, Chris Mayfield, Think Java - How to Think Like a Computer Scientist, Green Tea Press, The United States, 2016.
- [5]. David Salter, Rhawi Dantas, NetBeans IDE 8 Cookbook, Packt Publishing Ltd, The United Kingdom, 2011.
- [6]. Lê Văn Phùng, Cơ sở dữ liệu quan hệ và công nghệ phân tích - thiết kế, Nhà xuất bản Thông tin và Truyền thông, Hà Nội 2010.
- [7]. Phạm Đức Nhiệm, Giáo trình Cơ sở dữ liệu quan hệ, Nhà xuất bản Hà Nội, 2005.
- [8]. Ramez Elmasri, Shamkant Navathe, Fundamentals of Database Systems - 7th Edition, Pearson, The United States, 2015.
- [9]. Jay A. Kreibich, Using SQLite, O'Reilly Media, Inc., The United States, 2010.
- [10]. Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn, Xây dựng phần mềm đánh giá độ tin cậy và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh – Hà Đông trong quá trình khai thác, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 75 (2024) 2208-2222. <https://doi.org/10.47869/tcsj.75.8.5>
- [11]. Công ty TNHH Thiết bị đoàn tàu đường sắt Bắc Kinh (2018), Hướng dẫn sử dụng và bảo trì tàu điện Dự án đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông, Quyển 1 (Chương 1: Tổng quan về tàu; Chương 2: Thân tàu và nội thất; Chương 3: Hệ thống điều hòa; Chương 4: Thiết bị đường xuyên suốt; Chương 5: Thiết bị móc tàu và giảm xóc; Chương 6: Hệ thống cửa thoát hiểm khẩn cấp; Chương 7: Hệ thống cửa hông khoang khách; Chương 8: Hệ thống của hông buồng lái), 2018.
- [12]. Công ty TNHH Thiết bị đoàn tàu đường sắt Bắc Kinh (2018), Hướng dẫn sử dụng và bảo trì tàu điện Dự án đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông, Quyển 2 (Chương 9: Bố trí điện buồng lái; Chương 10: Bố trí điện khoang khách; Chương 11: Bố trí điện bên dưới toa xe; Chương 12: Hệ thống điều khiển và giám sát đoàn tàu; Chương 13: Hệ thống kéo dẫn và phanh hãm điện), 2018.
- [13]. Công ty TNHH Thiết bị đoàn tàu đường sắt Bắc Kinh (2018), Hướng dẫn sử dụng và bảo trì tàu điện Dự án đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông, Quyển 3 (Chương 14: Hệ thống hãm khí và cấp khí; Chương 15: Hệ thống nguồn điện phụ trợ; Chương 16: Hệ thống phát thanh đoàn tàu; Chương 17: Thiết bị vô tuyến gắn trên tàu; Chương 18: Giá chuyển hướng), 2018.