



RELIABILITY EVALUATION OF CARS AND METRO TRAINS IN OPERATION ON THE CAT LINH - HA DONG LINE

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: 13/11/2024

Accepted: 10/12/2024

Published online: 15/12/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.9.7>

* *Corresponding author*

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: +84913905814

Abstract: On the Cat Linh - Ha Dong urban railway line, there are 13 trains, each train consists of 4 cars with configuration Tc1-M0-M1-Tc2, with 26 motor cars and 26 trailer cars. The reliability of subsystems, cars and trains, the reliability and lifetime of wheelsets due to wear and tear have been calculated by using the software “Evaluation of the reliability and safety of rolling stock in operation on the Cat Linh - Ha Dong urban railway line” with statistic data on train service disruptions on the line and disruption incidents for unscheduled repairs at the depot. The article presents one of the above contents, assessing the reliability of cars and trains operating on the line and repairing at the depot. The calculation results show the reliability, availability, and maintainability of the objects, thereby helping users have appropriate solutions in planning spare parts, and replacement materials, reducing downtime for maintenance and repair, and contributing to improving vehicle operating efficiency.

Keywords: reliability evaluation, car, metro train, Cat Linh - Ha Dong, operation process

© 2024 University of Transport and Communications



ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA TOA XE VÀ ĐOÀN TÀU METRO 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 sửa bài : 13/11/2024

Ngày chấp nhận đăng: 10/12/2024

Ngày xuất bản Online: 15/12/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.9.7>

* Tác giả liên hệ

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: +84903905814

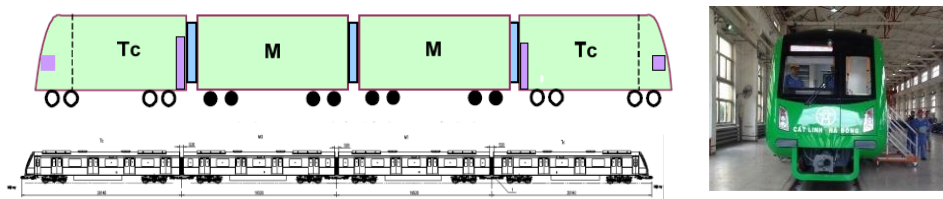
Tóm tắt: Tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông có 13 đoàn tàu, mỗi đoàn tàu gồm 4 toa xe có cấu hình Tc1-M0-M1-Tc2, với 26 toa động lực và 26 toa kéo theo. Sử dụng phần mềm “Đánh giá độ tin cậy và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác”, với số liệu thống kê về các sự cố gây gián đoạn chạy tàu trên tuyến và sự cố dẫn đến sửa chữa đột xuất tại depot, đã xác định được độ tin cậy của các phân hệ, độ tin cậy của các loại toa xe và đoàn tàu, độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe do hao mòn. Bài báo này trình bày một trong những nội dung nêu trên, đó là đánh giá độ tin cậy của các toa xe và các đoàn tàu trong quá trình vận hành trên tuyến và trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot. Kết quả tính toán cho phép hình dung được mức tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của các đối tượng đã nêu, giúp cho đơn vị sử dụng có các giải pháp thích hợp trong việc lập kế hoạch dự phòng phụ tùng, vật tư thay thế; các giải pháp giảm thời gian dừng để bảo dưỡng, sửa chữa, góp phần nâng cao hiệu quả khai thác của phương tiện.

Từ khóa: đánh giá độ tin cậy, toa xe, đoàn tàu metro, Cát Linh-Hà Đông, quá trình khai thác.

© 2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đoàn tàu metro Cát Linh - Hà Đông gồm 4 toa xe có cấu hình: Tc1 - M0 + M1 – Tc2 (trong đó Tc1, Tc2 là các toa xe kéo theo có buồng lái; M0, M1 là các toa xe động lực). Đoàn tàu gồm 2 đơn nguyên động lực, mỗi một đơn nguyên động lực do một toa toa Tc và một toa xe M tạo thành, được thể hiện trên hình 1 [1-3]. Số lượng đoàn tàu là 13 đoàn với tổng số 52 toa xe, trong đó có 26 toa động lực và 26 toa kéo theo.



Hình 1. Cấu hình đoàn tàu metro tuyến Cát Linh – Hà Đông [1-3].

Phương tiện đường sắt đô thị (đoàn tàu metro) với vai trò là một hệ thống kỹ thuật phức hợp độc lập, được phân chia thành các phân hệ như: thân xe, bộ phận chạy, truyền động, thiết bị hãm, điều khiển, thiết bị phụ v.v.

Để đánh giá độ tin cậy của phương tiện, cần đánh giá được độ tin cậy của các phân hệ. Trên cơ sở mô hình đánh giá độ tin cậy của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh-Hà Đông [4-5], bằng ngôn ngữ lập trình Java [6 - 8] và hệ quản trị cơ sở dữ liệu SQLite [9 - 12] 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” Trên cơ sở ngôn ngữ lập trình Java [6 - 8] và hệ quản trị cơ sở dữ liệu SQLite [9 - 12] 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” 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 tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot;
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 khoảng thời gian từ khi bắt đầu khai thác 06/11/2021 đến 31/3/2024 (gần 29 tháng) đã thu thập được các loại số liệu thống kê về sự cố của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh-Hà Đông như sau (bảng 1).

Bảng 1. Số liệu thống kê về sự cố của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh-Hà Đông.

Trên tuyến		Tại depot		Hao mòn bánh xe	
Sự cố gây trở ngại chạy tàu (chậm tàu)	Sự cố gây mất an toàn và tai nạn	Sự số dẫn đến sửa chữa đột xuất	Số liệu hao mòn mặt lăn	Số liệu hao mòn gờ bánh	Số liệu gia tăng chiều cao gờ bánh
01	0	264	416	416	416

Bằng phần mềm nêu trên, đã xác định và đánh giá được độ tin cậy của toàn bộ phương tiện trong khoảng thời gian khảo sát tương ứng với các chức năng đã nêu. Kết quả tính toán có nội dung và khối lượng khá lớn, khuôn khổ một bài báo là có hạn, do đó không thể trình bày tất cả các kết quả tính toán trong một bài báo, mà phải trình bày các nội dung đó trong một số bài báo khác nhau. Vì vậy, trong bài báo này chỉ trình bày các kết quả đánh giá độ tin cậy của các toa xe và các đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến và trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot.

2. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA TOA XE TRÊN ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG

2.1. Đánh giá độ tin cậy của toa xe trong quá trình vận hành trên tuyến Cát Linh – Hà Đông

Như thể hiện trong bảng 1, trên tuyến duy nhất có 01 sự cố, đó là đoàn tàu HN008 ngày 04/8/2023, toa xe Tc2, Phân hệ thiết bị phụ, Tiểu phân hệ Điện buồng lái, Phần tử Tủ điều khiển, tại ga Cát Linh không xuất phát được do mất sức kéo, do lỗi của rơ le điều khiển tốc độ 5 km/h, số hiệu 20K72, phải dừng ở ga Cát Linh gây chậm tàu 5 phút sau khi đã điều tàu HN013 lên thay thế.

Như vậy, độ tin cậy của toàn bộ phương tiện phụ thuộc duy nhất vào Phần tử Tủ điều khiển, Tiểu phân hệ Điện buồng lái, Phân hệ thiết bị phụ. Kết quả đánh giá thể hiện trên các giao diện hình 2 - 4.

Hình 2. Giao diện tổng quát xác định các chỉ tiêu độ tin cậy của phân tử.

Phân tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
6.3.2	9	Trên tuyến	HN008	Tc2	04-08-2023	15264	0.083

Hình 3. Giao diện hiển thị số liệu thống kê thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của phân tử.

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$E(T_s)$	15264,0	h
2	$E(\tau_s)$	0,0830000	h
3	λ_s	6,55136E-05	1/h
4	μ_s	12,0482	1/h
5	S_s	0,999995	
6	K_s	5,43760E-06	
7	$S_s(t)$	$0,999995 + 5,43760E-06 \exp(-12,0483 t)$	
8	$K_s(\tau)$	$5,43760E-06 - 5,43760E-06 \exp(-12,0483 t)$	

Hình 4. Giao diện hiển thị các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy của phần tử.

Các chỉ tiêu độ tin cậy của toa xe Tc2 trong quá trình vận hành trên tuyến được xác định bao gồm: thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng $E(T_s) = 15264,0$ h, thời gian phục hồi trung bình $E(\tau_s) = 0,083$ h, cường độ hỏng $\lambda_s = 6,55136 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$, cường độ phục hồi $\mu_s = 12,0482 \text{ h}^{-1}$, hàm sẵn sàng $S_s(t) = 0,999995 + 5,43706 \cdot 10^{-6} \exp(-12,0483t)$, hệ số sẵn sàng $S_s = 0,999995$, hàm không sẵn sàng $K_s(t) = 5,43706 \cdot 10^{-6} - 5,43706 \cdot 10^{-6} \exp(-12,0483t)$ và hệ số không sẵn sàng $K_s = 5,43706 \cdot 10^{-6}$. Qua đây thấy rằng, mức tin cậy của toa xe Tc2 khi vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian khảo sát là thấp nhất nhưng vẫn có hệ số sẵn sàng rất cao, $S_s = 0,999995$. Các toa xe còn lại được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

2.2. Đánh giá độ tin cậy của toa xe trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại depot

2.2.1. Đánh giá độ tin cậy của toa xe Tc1 trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại depot

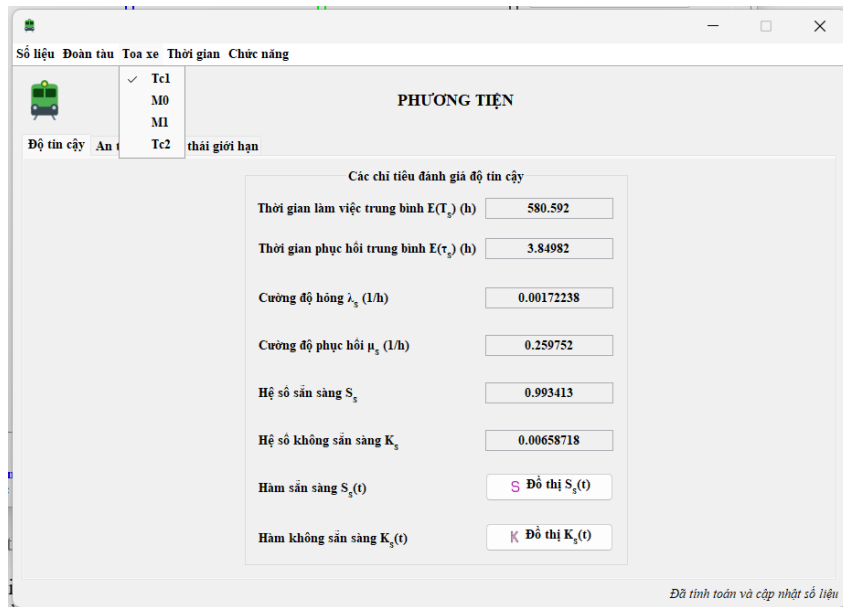
Số liệu thống kê về sự cố dẫn đến phải sửa chữa đột xuất tại depot của toa xe Tc1 trong khoảng thời gian từ 06/11/2021 đến 31/3/2024 thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Số liệu thống kê về sự cố dẫn đến phải sửa chữa đột xuất tại depot của toa xe Tc1.

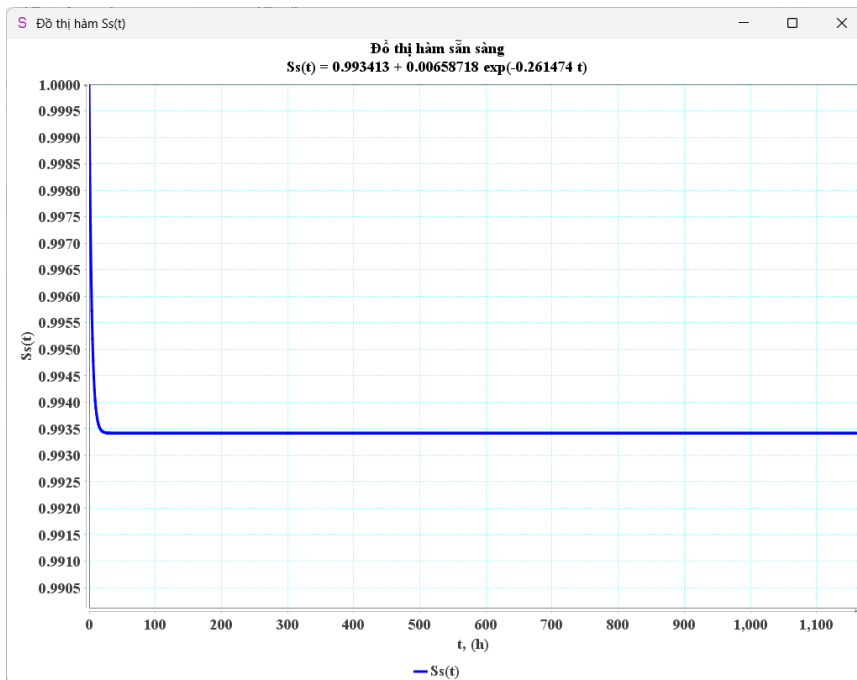
TT số liệu	Phần tử	Vị trí	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	Thời gian làm việc giữa các lần hỏng, h	Thời gian phục hồi, h
1	1.5.1	Tại Depot	HN001	Tc1	13-09-2023	13224	60
2	1.5.1	Tại Depot	HN001	Tc1	15-12-2023	2232	0,25
3	1.5.1	Tại Depot	HN002	Tc1	27-03-2023	12144	0,25
4	1.5.1	Tại Depot	HN005	Tc1	25-06-2023	14304	0,5
5	1.5.1	Tại Depot	HN006	Tc1	2/10/2023	16680	0,417
..

74	6.5.1	Tại Depot	HN011	Tc1	24-05-2022	4776	1,5
75	6.5.1	Tại Depot	HN011	Tc1	26-09-2022	3000	0,75
76	6.5.1	Tại Depot	HN011	Tc1	17-01-2024	11472	0,75

Kết quả tính toán đánh giá độ tin cậy cho toa xe trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại depot được thể hiện các giao diện hình 5 - 8.



Hình 5. Giao diện tổng quát xác định các chỉ tiêu độ tin cậy của toa xe Tc1.



Hình 6. Giao diện hiển thị hàm sẵn sàng của toa xe Tc1.

**SỐ LIỆU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
PHƯƠNG TIỆN**

Số liệu: - Tại Depot
 Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
 Toa xe: - Tc1
 Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021
 Thời gian kết thúc khảo sát: 31-03-2024
 Tổng số số liệu: 76

TT	Phần tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
60	6.3.7	7	Tại Depot	HN006	Tc1	11-08-2023	15432	0.333
61	6.3.7	9	Tại Depot	HN007	Tc1	30-05-2023	13680	0.417
62	6.3.7	10	Tại Depot	HN009	Tc1	17-09-2022	7560	0.25
63	6.3.7	16	Tại Depot	HN011	Tc1	20-05-2023	18744	0.25
64	6.3.7	17	Tại Depot	HN012	Tc1	20-02-2022	2544	0.25
65	6.3.7	18	Tại Depot	HN013	Tc1	25-05-2023	13440	0.417
66	6.4.1	10	Tại Depot	HN011	Tc1	22-03-2023	12024	0.25
67	6.4.2	1	Tại Depot	HN001	Tc1	20-05-2023	13440	0.25
68	6.4.2	9	Tại Depot	HN010	Tc1	01-12-2022	9360	0.25
69	6.5.1	1	Tại Depot	HN001	Tc1	20-02-2022	2544	0.5
70	6.5.1	2	Tại Depot	HN001	Tc1	13-05-2023	10728	0.25
71	6.5.1	7	Tại Depot	HN007	Tc1	13-02-2022	2376	0.75
72	6.5.1	8	Tại Depot	HN007	Tc1	20-02-2022	168	0.75
73	6.5.1	9	Tại Depot	HN007	Tc1	21-08-2023	13128	0.5
74	6.5.1	13	Tại Depot	HN011	Tc1	24-05-2022	4776	1.5
75	6.5.1	14	Tại Depot	HN011	Tc1	26-09-2022	3000	0.75
76	6.5.1	15	Tại Depot	HN011	Tc1	17-01-2024	11472	0.75

Hình 7. Giao diện hiển thị số liệu thống kê thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của toa xe Tc1.

**BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
PHƯƠNG TIỆN**

Số liệu: - Tại Depot
 Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
 Toa xe: - Tc1
 Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021
 Thời gian kết thúc khảo sát: 31-03-2024

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$E(T_s)$	580.592	h
2	$E(\tau_s)$	3.84982	h
3	λ_s	0.00172238	1/h
4	μ_s	0.259752	1/h
5	S_s	0.993413	
6	K_s	0.00658718	
7	$S_s(t)$	$0.993413 + 0.00658718 \exp(-0.261474 t)$	
8	$K_s(\tau)$	$0.00658718 - 0.00658718 \exp(-0.261474 \tau)$	

Hình 8. Giao diện hiển thị các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy của toa xe Tc1.

Như vậy, các chỉ tiêu độ tin cậy của toa xe TC1 giai đoạn từ 06-11-2021 đến 31-03-2024 được xác định bao gồm: thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng $E(T_s) = 580,592$ h, thời gian phục hồi trung bình $E(\tau_s) = 3,84982$ h, cường độ hỏng $\lambda_s = 0,00172239$ h⁻¹, cường độ phục hồi $\mu_s = 0,259752$ h⁻¹, hàm sẵn sàng $S_s(t) = 0,993413 + 0,00658718 \exp(-0,261474t)$, hệ số sẵn sàng $S_s = 0,993413$, hàm không sẵn sàng $K_s(t) = 0,0055718 - 0,0055718 \exp(-0,261474t)$ và hệ số không sẵn sàng $K_s = 0,00658718$.

2.2.2. Đánh giá độ tin cậy của các toa xe M0, M1 và Tc2 trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại depot

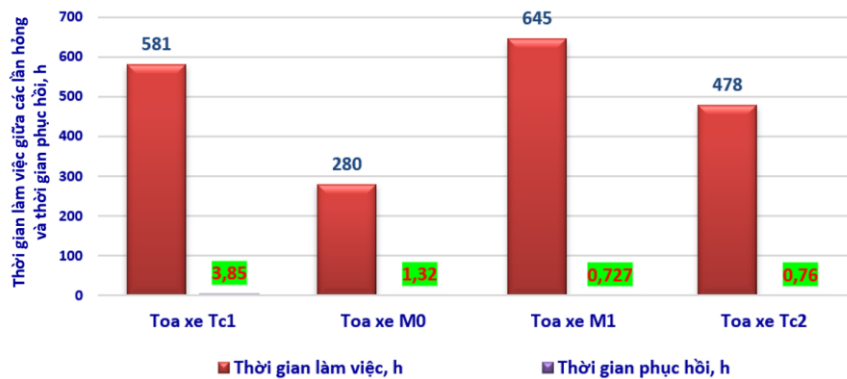
Quá trình đánh giá độ tin cậy của các toa xe M0, M1 và Tc2 trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại depot giai đoạn từ 06-11-2021 đến 31-3-2024 được tiến hành tương tự như đối với toa xe Tc1. Kết quả tính toán thể hiện trong bảng 3.

2.2.3. Tổng hợp và phân tích kết quả đánh giá độ tin cậy của các loại toa xe

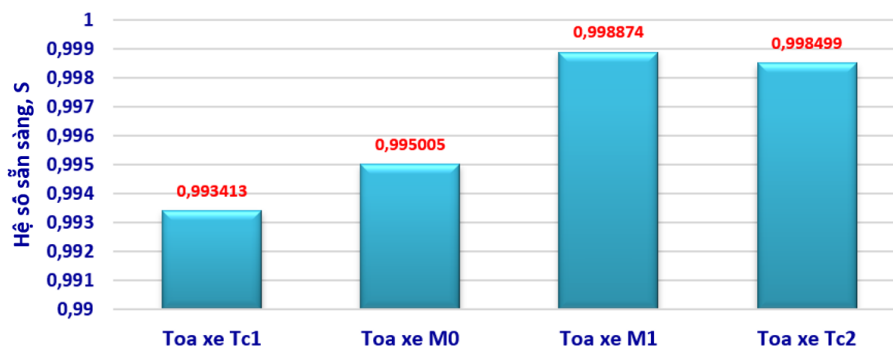
Các chỉ tiêu độ tin cậy của các loại toa xe giai đoạn từ 06-11-2021 đến 31-03-2024 thể hiện trong bảng 3 và các hình 9 - 10.

Bảng 3. Tổng hợp chỉ tiêu độ tin cậy của các loại toa xe giai đoạn 06-11-2021 đến 31-03-2024.

Toa xe	Thời gian làm việc giữa các lần hỏng, h	Thời gian phục hồi, h	Hệ số sẵn sàng, S
Toa xe Tc1	581	3,85	0,993413
Toa xe M0	280	1,32	0,995305
Toa xe M1	645	0,73	0,998874
Toa xe Tc2	478	0,78	0,998499



Hình 9. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc và thời gian phục hồi của các loại toa xe giai đoạn 06-11-2021 đến 31-03-2024.



Hình 10. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của các loại toa xe giai đoạn 06-11-2021 đến 31-03-2024.

Kết quả tính toán cho thấy độ tin cậy hay hệ số sẵn sàng của các toa xe xếp từ cao xuống thấp là: 1. Toa xe M1; 2. Toa xe Tc2; 3. Toa xe M0; 4. Toa xe Tc1.

Toa xe Tc1 có độ tin cậy thấp nhất được lý giải như sau: 1. Phân hệ thân xe, toa xe Tc1, đoàn tàu HN006: ngày 03/11/ 2023, phần tử cửa hông khoang khách bị sự cố: giữa kính 2 lớp cửa A12 bị hấp hơi (bị mờ, mốc), phải chờ thay mới mất 3600 phút (60 tiếng); 2. Phân hệ thân xe, toa xe Tc1, đoàn tàu HN006: ngày 03/11/ 2023, phần tử cửa hông buồng lái thông khoang khách bị sự cố: giữa kính 2 lớp cửa toa khách với buồng lái bị mốc, phải chờ thay mới mất 3600 phút (60 tiếng); 3. Phân hệ thân xe, toa xe Tc1, đoàn tàu HN012: ngày 13/9/2023, phần tử cửa hông khoang khách bị sự cố: lỗi của bộ điều khiển cửa, phải chờ thay mới mất 3600 phút (60 tiếng). Ngoài ra, độ tin cậy của toa xe còn phụ thuộc vào tương quan giữa thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của các phân tử của nó.

3. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

3.1. Đánh giá độ tin cậy của đoàn tàu trong quá trình vận hành trên tuyến

Như thể hiện trong bảng 1, trên tuyến duy nhất có 01 sự cố gây trở ngại chạy tàu, đó là đoàn tàu HN008. Độ tin cậy của đoàn tàu HN008 hoàn toàn tương ứng với độ tin cậy của toa xe Tc2 trong đoàn tàu. Như vậy, mức tin cậy của đoàn tàu HN008 khi vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian khảo sát là thấp nhất nhưng vẫn có hệ số sẵn sàng rất cao, $S_s = 0,999995$. Các đoàn tàu còn lại được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

3.2. Đánh giá độ tin cậy của đoàn tàu trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depo

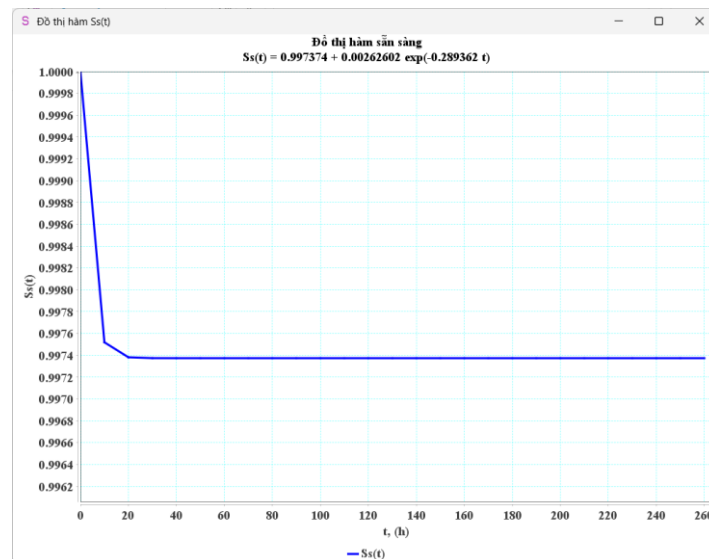
3.2.1. Đánh giá độ tin cậy của từng đoàn tàu

Việc đánh giá độ tin cậy được tiến hành cho từng đoàn tàu, từ HN001 đến HN013. Kết quả tính toán cho đoàn tàu HN001 thể hiện trên các giao diện hình 11 - 14.

PHƯƠNG TIỆN	
Số liệu Đoàn tàu Toa xe Thời gian Chức năng	
Độ tin	Trạng thái giới hạn
Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy	
Thời gian làm việc trung bình $E(T_e)$ (h)	1316.02
Thời gian phục hồi trung bình $E(t_r)$ (h)	3.46498
Cường độ hỏng λ_e (1/h)	0.000759869
Cường độ phục hồi μ_e (1/h)	0.288602
Hệ số sẵn sàng S_s	0.997374
Hệ số không sẵn sàng K_s	0.00262602
Hàm sẵn sàng $S_s(t)$	S Đồ thị $S_s(t)$
Hàm không sẵn sàng $K_s(t)$	K Đồ thị $K_s(t)$

Đồ tính toán và cập nhật số liệu

Hình 11. Giao diện tổng quát xác định các chỉ tiêu độ tin cậy của phương tiện.



Hình 12. Giao diện hiển thị hàm sẵn sàng của phương tiện.

**SỐ LIỆU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
PHƯƠNG TIỆN**

Số liệu: - Tại Depot
Đoàn tàu: - HN001
Toa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2
Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021
Thời gian kết thúc khảo sát: 31-03-2024

Phần tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
1.5.1	1	Tại Depot	HN001	Tc1	13-09-2023	13224	60
1.5.1	2	Tại Depot	HN001	Tc1	15-12-2023	2232	0.25
1.5.1	3	Tại Depot	HN001	M0	30-03-2023	12216	0.25
1.5.1	4	Tại Depot	HN001	M0	06-09-2023	3840	0.167
1.5.1	5	Tại Depot	HN001	M1	12-12-2022	9672	0.833
1.5.1	6	Tại Depot	HN001	Tc2	13-12-2022	9720	0.417
1.5.1	7	Tại Depot	HN001	Tc2	30-01-2023	1080	0.417
3.1.2	1	Tại Depot	HN001	M0	07-01-2022	1488	3
3.1.2	2	Tại Depot	HN001	M1	14-04-2022	3816	0.417
3.1.2	5	Tại Depot	HN001	M1	17-07-2023	9312	0.08
3.1.8	1	Tại Depot	HN001	Tc2	05-11-2023	17496	1
3.1.8	13	Tại Depot	HN001	M1	04-11-2023	17472	1
3.1.8	17	Tại Depot	HN001	Tc1	03-01-2024	1488	0.25
4.1.1	1	Tại Depot	HN001	Tc1	23-08-2022	6960	0.417
4.1.7	1	Tại Depot	HN001	Tc1	11-02-2023	17424	0.75
4.1.7	2	Tại Depot	HN001	M0	09-09-2022	7368	0.667

Hình 13. Giao diện hiển thị số liệu thống kê thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của phương tiện.

**BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
PHƯƠNG TIỆN**

Số liệu: - Tại Depot
Đoàn tàu: - HN001
Toa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2
Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021
Thời gian kết thúc khảo sát: 31-03-2024

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	E(Ts)	1316.02	h
2	E(rs)	3.46498	h
3	λs	0.000759869	1/h
4	μs	0.288602	1/h
5	Ss	0.997374	
6	Ks	0.00262602	
7	Ss(t)	$0.997374 + 0.00262602 \exp(-0.289362 t)$	
8	Ks(τ)	$0.00262602 - 0.00262602 \exp(-0.289362 t)$	

Hình 14. Giao diện hiển thị các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy của phương tiện.

Các đoàn tàu còn lại từ HN002 đến HN013 được tính toán trên phần mềm tương tự như đoàn toàn HN001. Tổng hợp kết quả đánh giá độ tin cậy của 13 đoàn tàu thể hiện trong bảng 4.

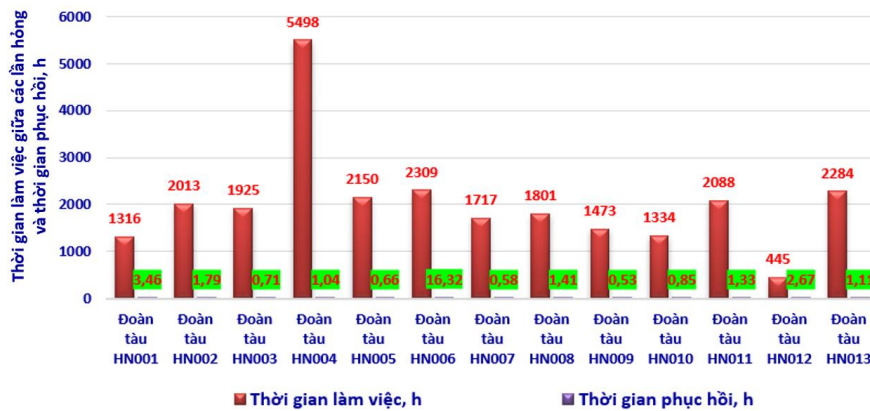
3.2.2. Phân tích kết quả đánh giá độ tin cậy của từng đoàn tàu

Các chỉ tiêu độ tin cậy của các đoàn tàu giai đoạn 06-11-2021 đến 31-03-2024 được tổng hợp trong bảng 4 và thể hiện trên các hình 15 - 16.

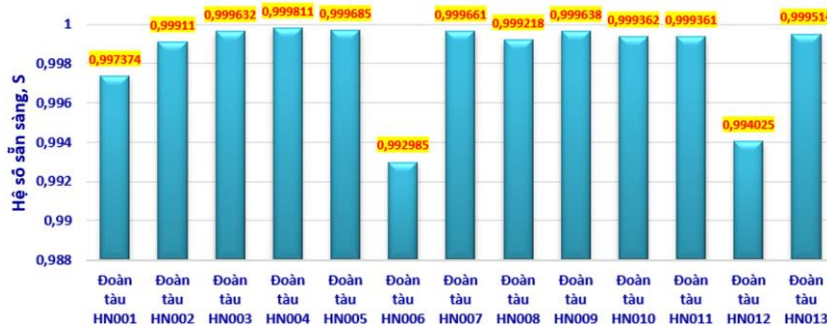
Bảng 4. Tổng hợp chỉ tiêu độ tin cậy của các đoàn tàu giai đoạn 06-11-2021 đến 31-03-2024.

Đoàn tàu	Thời gian làm việc giữa các lần hỏng, h	Thời gian phục hồi, h	Hệ số sẵn sàng, S
HN001	1316	3,46	0,997374
HN002	2013	1,79	0,99911
HN003	1925	0,71	0,999632
HN004	5498	1,04	0,999811
HN005	2150	0,66	0,999685
HN006	2309	16,32	0,992985
HN007	1717	0,58	0,999661
HN008	1801	1,41	0,999218
HN009	1473	0,53	0,999638
HN010	1334	0,85	0,999362

HN011	2088	1,33	0,999361
HN012	445	2,67	0,994025
HN013	2284	1,11	0,999511



Hình 15. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc và thời gian phục hồi của 13 đoàn tàu giai đoạn 06-11-2021 đến 31-03-2024.



Hình 16. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của 13 đoàn tàu giai đoạn 06-11-2021 đến 31-03-2024.

Kết quả tính toán cho thấy độ tin cậy hay hệ số sẵn sàng của các đoàn tàu xếp từ cao xuống thấp như sau (bảng 5).

Bảng 5. Xếp hạng thứ tự độ tin cậy các đoàn tàu.

TT	Đoàn tàu	Hệ số sẵn sàng, S	TT	Đoàn tàu	Hệ số sẵn sàng, S
1	HN004	0,999811	8	HN011	0,999361
2	HN005	0,999685	9	HN008	0,999218
3	HN007	0,999661	10	HN002	0,99911
4	HN009	0,999638	11	HN001	0,997374
5	HN003	0,999632	12	HN012	0,994025
6	HN013	0,999511	13	HN006	0,992985
7	HN010	0,999362			

Kết quả tính toán cho thấy độ tin cậy hay hệ số sẵn sàng của đoàn HN006 và HN012 là thấp nhất. Điều này được lý giải như sau:

1. Phân hệ thân xe, toa xe Tc1, đoàn tàu HN006: ngày 03/11/ 2023, phần tử cửa hông khoang khách bị sự cố: giữa kính 2 lớp cửa A12 bị hấp hơi (bị mờ), phải chờ thay mới mất 3600 phút (60 tiếng);
2. Phân hệ thân xe, toa xe Tc1, đoàn tàu HN006: ngày 03/11/ 2023, phần tử cửa hông buồng lái thông khoang khách bị sự cố: giữa kính 2 lớp cửa toa khách với buồng lái bị mọc, phải chờ thay mới mất 3600 phút (60 tiếng);
3. Phân hệ thân xe, toa xe Tc1, đoàn

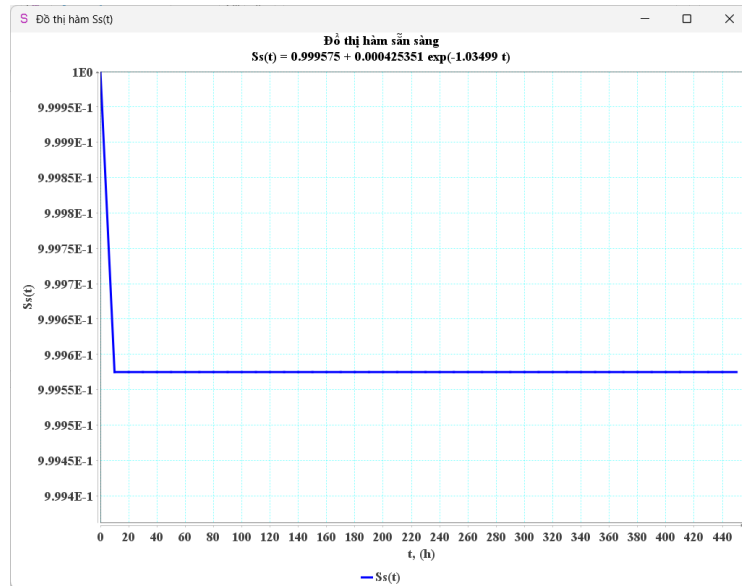
tàu HN012: ngày 13/9/2023, phần tử cửa hông khoang khách bị sự cố: lỗi của bộ điều khiển cửa, phải chờ thay mới mất 3600 phút (60 tiếng). Ngoài ra, độ tin cậy của đoàn tàu còn phụ thuộc vào tương quan giữa thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của các phần tử của nó.

3.2.3. Đánh giá độ tin cậy của toàn bộ phương tiện trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

a. Đánh giá độ tin cậy của toàn bộ phương tiện trong giai đoạn 06/11/2021 đến 31/3/2024

Kết quả tính toán thể hiện trên các giao diện hình 17 - 20. Như vậy, các chỉ tiêu độ tin cậy của phương tiện giai đoạn 01-01-2024 đến 31-03-2024 được xác định bao gồm: thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng $E(T_s) = 2271,52$ h, thời gian phục hồi trung bình $E(\tau_s) = 0,9666$ h, cường độ hỏng $\lambda_s = 0,00044$ h⁻¹, cường độ phục hồi $\mu_s = 1,03455$ h⁻¹, hàm sẵn sàng $S_s(t) = 0,999575 + 0,000425354\exp(-1,03499t)$, hệ số sẵn sàng $S_s = 0,999575$, hàm không sẵn sàng $K_s(t) = 0,000425351 - 0,000425351\exp(-1,03499t)$ và hệ số không sẵn sàng $K_s = 0,000425351$.

Hình 17. Giao diện tổng quát xác định các chỉ tiêu độ tin cậy của phương tiện.



Hình 18. Giao diện hiển thị hàm sẵn sàng của phương tiện.

SỐ LIỆU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY PHƯƠNG TIỆN

Số liệu: - Tại Depot
 Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
 Toa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2
 Thời gian bắt đầu khảo sát: 01-01-2024
 Thời gian kết thúc khảo sát: 31-03-2024

Phần tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
3.1.1	31	Tại Depot	HN013	M1	02-02-2024	19632	0.75
3.1.1	2	Tại Depot	HN010	M1	16-02-2024	19968	1.5
3.1.6	3	Tại Depot	HN008	M0	18-01-2024	19272	1.5
3.1.8	9	Tại Depot	HN005	M1	19-01-2024	19296	0.75
3.1.8	11	Tại Depot	HN006	M0	20-01-2024	19320	0.75
3.1.8	17	Tại Depot	HN001	Tc1	03-01-2024	1488	0.25
3.1.8	19	Tại Depot	HN010	Tc2	10-01-2024	19084	1.5
3.1.8	20	Tại Depot	HN010	Tc2	10-01-2024	19080	1.5
3.1.8	25	Tại Depot	HN011	M0	16-01-2024	19224	0.75
3.1.9	2	Tại Depot	HN009	M0	03-01-2024	18522	0.25
4.1.3	4	Tại Depot	HN008	M1	02-01-2024	18888	0.25
4.1.7	10	Tại Depot	HN010	Tc1	25-01-2024	19440	3
4.1.7	12	Tại Depot	HN010	M0	25-01-2024	2352	1
4.1.7	13	Tại Depot	HN010	M0	13-03-2024	1152	0.75
4.1.7	21	Tại Depot	HN011	M1	26-01-2024	7200	0.75
4.1.7	28	Tại Depot	HN012	M1	26-01-2024	1488	2

Hình 19. Giao diện hiển thị số liệu thống kê thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của phương tiện

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY PHƯƠNG TIỆN

Số liệu: - Tại Depot
 Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
 Toa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2
 Thời gian bắt đầu khảo sát: 01-01-2024
 Thời gian kết thúc khảo sát: 31-03-2024

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	E(Ts)	2271.52	h
2	E(τs)	0.966604	h
3	λs	0.000440234	1/h
4	μs	1.03455	1/h
5	Ss	0.999575	
6	Ks	0.000425351	
7	Ss(t)	0.999575 + 0.000425351 exp(-1.03499 t)	
8	Ks(τ)	0.000425351 - 0.000425351 exp(-1.03499 t)	

Hình 20. Giao diện hiển thị các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy của phương tiện.

b. Đánh giá độ tin cậy của toàn bộ phương tiện trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại tại depot theo từng năm

b1. Đánh giá độ tin cậy

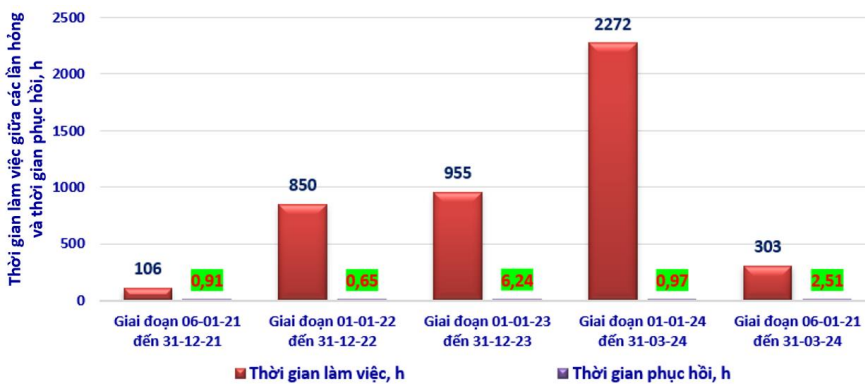
Tương tự như trên, tiếp tục đánh giá độ tin cậy của phương tiện theo từng năm:

1. Giai đoạn năm 2021 (từ 06-11-2021 đến 31-12-2021); 2. Giai đoạn năm 2022 (từ 01-01-2022 đến 31-12-2022); 3. Giai đoạn năm 2023 (từ 01-01-2023 đến 31-12-2023); 4. Giai đoạn năm 2024 (từ 01-01-2024 đến 31-3-2024). Kết quả tính toán thể hiện trong bảng 6.

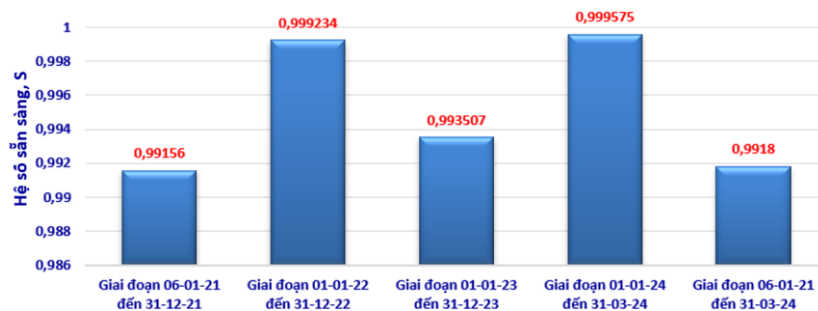
Các chỉ tiêu độ tin cậy của phương tiện theo từng năm được tổng hợp trong bảng 6 và thể hiện trên các hình 21 - 22.

Bảng 6. Tổng hợp các chỉ tiêu độ tin cậy của phương tiện theo từng năm.

Thông số	Thời gian làm việc giữa các lần hỏng, h	Thời gian phục hồi, h	Hệ số sẵn sàng, S
Giai đoạn năm 2021	106	0,91	0,99156
Giai đoạn năm 2022	850	0,65	0,999234
Giai đoạn năm 2023	955	6,24	0,993507
Giai đoạn năm 2024	2272	0,97	0,999575
Giai đoạn từ 06-01-21 đến 31-03-24	303	2,51	0,99180



Hình 21. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc và thời gian phục hồi của phương tiện theo các giai đoạn.



Hình 22. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của phương tiện theo các giai đoạn.

Kết quả tính toán cho thấy độ tin cậy hay hệ số sẵn sàng của phương tiện theo các giai đoạn xếp từ cao xuống thấp là: 1. Giai đoạn từ 01/01/2024 đến 31/3/2024; 2. Giai đoạn từ 01/01/2022 đến 31/12/2022; 3. Giai đoạn từ 01/01/2023 đến 31/12/2023; 4. Giai đoạn từ 06/01/2021 đến 31/3/2021.

Năm 2021 mới đưa vào khai thác, số sự cố còn nhiều dẫn đến độ tin cậy thấp. Năm 2023 độ tin cậy thấp liên quan đến các sự cố của phần tử cửa hông khoang khách và cửa hông buồng lái thuộc phân hệ thân xe toa xe Tc1 trên đoàn tàu HN006 và HN012 bị sự cố phải thay kính 2 lần (mỗi lần mất 60 tiếng) và bộ điều khiển cửa 1 lần (mất 60 tiếng).

Ngoài ra, độ tin cậy của phương tiện còn phụ thuộc vào tương quan giữa thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của các phần tử của phương tiện.

4. KẾT LUẬN

Trong quá trình vận hành trên tuyến: Mức tin cậy của toa xe Tc2 trong khoảng thời gian khảo sát là thấp nhất, nhưng cũng có hệ số sẵn sàng rất cao, $S_s = 0,999995$. Các toa xe còn lại được coi là có độ tin cậy tuyệt đối. Mức tin cậy của đoàn tàu HN008, (trong đó có toa xe Tc2) cũng có mức tin cậy thấp nhất, nhưng cũng có hệ số sẵn sàng rất cao, $S_s = 0,999995$. Các đoàn tàu còn lại được coi là có mức tin cậy tuyệt đối. Trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot: Mức tin cậy của đoàn tàu HN004 trong khoảng thời gian khảo sát là cao nhất với hệ số sẵn sàng $S_s = 0,999811$; đoàn tàu HN006 có mức tin cậy thấp nhất, nhưng cũng có hệ số sẵn sàng tương đối cao, $S_s = 0,992985$.

Kết quả tính toán cho phép hình dung được mức tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của các đối tượng đã nêu, giúp cho đơn vị sử dụng có các giải pháp thích hợp trong việc lập kế hoạch dự phòng phụ tùng, vật tư thay thế; các giải pháp giảm thời gian dừng để bảo dưỡng, sửa chữa, góp phần nâng cao hiệu quả khai thác 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 các sự cố gây gián đoạn chạy tàu trên tuyến, gây sửa chữa đột xuất tại depot của các phần tử 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 chỉ tiêu độ cậy ... cho từng giai đoạn nói riêng và toàn bộ quá trình khai thác nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Công ty TNHH Thiết bị đoàn tàu đường sắt Bắc Kinh, 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 sóc; Chương 6: Hệ thống cửa thoát hiểm khẩn cấp; Chương 7: Hệ thống cửa hông khoang khách; Chương 8: Hệ thống cửa hông buồng lái), 2018.
- [2]. Công ty TNHH Thiết bị đoàn tàu đường sắt Bắc Kinh, 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.
- [3]. Công ty TNHH Thiết bị đoàn tàu đường sắt Bắc Kinh, 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.
- [4]. 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>

- [5]. 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>
- [6]. Đoàn Văn Ban, Đoàn Văn Trung, Giáo trình Lập trình Java, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, Hà Nội, 2011.
- [7]. Allen Downey, Chris Mayfield, Think Java - How to Think Like a Computer Scientist, Green Tea Press, The United States, 2016.
- [8]. David Salter, Rhawi Dantas, NetBeans IDE 8 Cookbook, Packt Publishing Ltd, The United Kingdom, 2011.
- [9]. 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.
- [10]. Phạm Đức Nhiệm, Giáo trình Cơ sở dữ liệu quan hệ, Nhà xuất bản Hà Nội, 2005.
- [11]. Ramez Elmasri, Shamkant Navathe, Fundamentals of Database Systems - 7th Edition, Pearson, The United States, 2015.
- [12]. Jay A. Kreibich, Using SQLite, O'Reilly Media, Inc., The United States, 2010.