

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI

NGUYỄN ĐỨC TOÀN

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG,
KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN
ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC Ở VIỆT NAM**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Hà Nội - 2025

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI

NGUYỄN ĐỨC TOÀN

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG,
KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN
ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC Ở VIỆT NAM**

Ngành: Kỹ thuật cơ khí động lực
Mã số: 9520116

LUẬN ÁN TIẾN SĨ

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:
GS.TS. Đỗ Đức Tuấn

Hà Nội - 2025

LỜI CAM ĐOAN

Nghiên cứu sinh xin cam đoan bản luận án này là công trình nghiên cứu độc lập của cá nhân Nghiên cứu sinh, dưới sự hướng dẫn khoa học của GS. TS. Đỗ Đức Tuấn - Trường Đại học Giao thông vận tải.

Các số liệu và kết quả trong luận án là trung thực và chưa được công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Hà Nội, ngày 17 tháng 12 năm 2025

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Đức Toàn

LỜI CẢM ƠN

Sau quá trình học tập và nghiên cứu tại Trường Đại học Giao thông vận tải, nghiên cứu sinh đã hoàn thành luận án: ***“Nghiên cứu đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác ở Việt Nam”***.

Để hoàn thành luận án, nghiên cứu sinh xin được gửi lời tri ân sâu sắc đến Thầy hướng dẫn GS. TS. Đỗ Đức Tuấn đã tận tình chỉ bảo và truyền động lực để nghiên cứu sinh hoàn thành luận án.

Đồng thời, nghiên cứu sinh xin trân trọng cảm ơn Công ty TNHH MTV đường sắt Hà Nội (Hà Nội Metro) đã nhiệt tình hỗ trợ nghiên cứu sinh tiến hành thu thập các số liệu để thực hiện luận án.

Nghiên cứu sinh xin gửi lời cảm ơn các Thầy Cô Bộ môn Đầu máy Toa xe - Trường Đại học Giao thông vận tải đã tạo điều kiện thuận lợi cho nghiên cứu sinh trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu.

Nghiên cứu sinh xin trân trọng cảm ơn Ban Giám hiệu, Khoa Cơ khí, Phòng Đào tạo sau đại học đã tạo điều kiện thuận lợi và giúp đỡ nghiên cứu sinh trong quá trình nghiên cứu và hoàn thiện luận án.

Nghiên cứu sinh xin trân trọng cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo đã cấp học bổng cho Nghiên cứu sinh thông qua Đề án 89.

Cuối cùng, nghiên cứu sinh xin cảm ơn gia đình và bạn bè đã luôn chia sẻ, đồng hành, động viên ủng hộ nghiên cứu sinh cả về vật chất và tinh thần giúp cho nghiên cứu sinh có thể hoàn thành được luận án của mình.

Trân trọng cảm ơn!

Hà Nội, ngày 17 tháng 12 năm 2025

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Đức Toàn

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN

LỜI CẢM ƠN

DANH MỤC KÝ HIỆU.....6

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT.....8

DANH MỤC BẢNG BIỂU10

DANH MỤC HÌNH VẼ.....14

MỞ ĐẦU.....18

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC.....22

1.1. TỔNG QUAN VỀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ Ở NƯỚC NGOÀI22

1.2. TỔNG QUAN VỀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ Ở TRONG NƯỚC.....27

1.2.1. Giới thiệu tổng quát về hệ thống đường sắt đô thị ở Việt Nam27

1.2.2. Giới thiệu tổng quát về các tuyến đường sắt đô thị đã và đang xây dựng29

1.2.3. Giới thiệu tổng quát về phương tiện trên các tuyến đường sắt đô thị đã và đang xây dựng32

1.2.4. Tổng quan về đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị ở Việt Nam34

KẾT LUẬN CHƯƠNG 136

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC37

2.1. CƠ SỞ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ37

2.1.1. Phân chia hệ thống đường sắt đô thị thành các phân hệ.....37

2.1.2. Phân chia phương tiện đường sắt đô thị thành các phân hệ, tiểu phân hệ và phần tử.....	38
2.1.3. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của phần tử.....	41
2.1.4. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của hệ thống	49
2.1.5. Cơ sở đánh giá xác suất chuyển tiếp trạng thái của hệ thống kỹ thuật phức hợp.....	52
2.2. CƠ SỞ ĐÁNH GIÁ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ.....	64
2.3. XÂY DỰNG QUY TRÌNH ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ....	67
2.3.1. Quy trình đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình vận hành trên tuyến liên quan đến gián đoạn chạy tàu.....	67
2.3.2. Quy trình đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot.....	67
2.3.3. Quy trình đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe trên phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình vận hành trên tuyến	68
2.4. XÂY DỰNG QUY TRÌNH ĐÁNH GIÁ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ.....	70
KẾT LUẬN CHƯƠNG 2	71
CHƯƠNG 3. XÂY DỰNG PHẦN MỀM ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC.....	72
3.1. CÁC CHỨC NĂNG CƠ BẢN CỦA PHẦN MỀM	72
3.1.1. Đánh giá độ tin cậy và tính sẵn sàng của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình vận hành trên tuyến	73
3.1.2. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot.....	73
3.1.3. Đánh giá an toàn của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình vận hành trên tuyến.....	74
3.1.4. Các chức năng khác	74
3.2. CÁC LƯU ĐỒ THUẬT TOÁN	75

3.2.1. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phương tiện	75
3.2.2. Lưu đồ thuật toán tính toán trạng thái giới hạn của phương tiện	76
3.2.3. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phân hệ.....	77
3.2.4. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của tiểu phân hệ.....	78
3.2.5. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phần tử	79
3.2.6. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn bánh xe.....	80
3.2.7. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh xe.....	81
3.2.8. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe.....	82
3.2.9. Lưu đồ thuật toán xử lý số liệu thống kê.....	83
3.2.10. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phương tiện	84
3.2.11. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phân hệ....	85
3.2.12. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của tiểu phân hệ	86
3.2.13. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phần tử	87
KẾT LUẬN CHƯƠNG 3	88
CHƯƠNG 4. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC	89
4.1. SỐ LIỆU THỐNG KÊ TỔNG QUÁT VỀ SỰ CỐ VÀ HAO MÒN BÁNH XE TRÊN ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG	89
4.2. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG VÀ KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG CỦA CÁC PHÂN HỆ TRÊN ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC	93
4.2.1. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng của các phân hệ gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến	94

4.2.2. <i>Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các phân hệ trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại depot</i>	96
4.3. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG VÀ KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG CỦA CÁC LOẠI TOA XE TRÊN ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC	104
4.3.1. <i>Đánh giá độ tin cậy của các loại toa xe trong quá trình vận hành trên tuyến</i>	104
4.3.2. <i>Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các loại toa xe tại depot</i>	105
4.4. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG VÀ KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG CỦA CÁC ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC	109
4.4.1. <i>Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng của các đoàn tàu trong quá trình vận hành trên tuyến</i>	109
4.4.2. <i>Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của từng đoàn tàu trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot</i>	110
4.5. ĐÁNH GIÁ TỔNG THỂ ĐỘ TIN CẬY CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC	116
4.5.1. <i>Đánh giá tổng thể độ tin cậy, tính sẵn sàng của đoàn tàu metro trong quá trình vận hành trên tuyến</i>	116
4.5.2. <i>Đánh giá tổng thể độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của đoàn tàu metro tại depot</i>	117
4.6. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY VÀ THỜI HẠN LÀM VIỆC CỦA BỘ TRỤC BÁNH XE ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG DO HAO MÒN TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC	120
4.6.1. <i>Đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn</i>	120
4.6.2. <i>Đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh</i>	123
4.6.3. <i>Đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh</i>	127
4.6.4. <i>Phân tích thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo các dạng hao mòn</i>	130

4.7. ĐÁNH GIÁ XÁC SUẤT GIỚI HẠN CHUYỂN TIẾP TRẠNG THÁI CỦA CÁC PHÂN HỆ TRÊN ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC.....	133
4.7.1. <i>Đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến</i>	133
4.7.2. <i>Đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông tại depot</i>	135
4.8. ĐÁNH GIÁ CÁC CHỈ TIÊU VỀ AN TOÀN CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC.....	136
4.8.1. <i>Đánh giá tần suất sự cố của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác</i>	136
4.8.2. <i>Đánh giá an toàn của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến</i>	137
KẾT LUẬN CHƯƠNG 4	140
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	141
DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN	143
TÀI LIỆU THAM KHẢO	144
PHỤ LỤC	
PHỤ LỤC 1. TỔNG HỢP SỐ LIỆU THỐNG KÊ VỀ SỰ CỐ GÂY TRỞ NGẠI CHẠY TÀU TRÊN TUYẾN VÀ ĐƯỢC SỬA CHỮA ĐỘT XUẤT TẠI DEPOT CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ CÁT LINH - HÀ ĐÔNG	
PHỤ LỤC 2. TỔNG HỢP SỐ LIỆU THỐNG KÊ VỀ HAO MÒN BÁNH XE CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH VẬN HÀNH TRÊN TUYẾN	
PHỤ LỤC 3. CÁC GIAO DIỆN CHÍNH VÀ MÃ NGUỒN CỦA PHẦN MỀM ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG	

DANH MỤC KÝ HIỆU

STT	KÝ HIỆU	Ý NGHĨA
1	$f(t)$	Hàm mật độ phân bố thời gian làm việc tới hỏng
2	$Q(t)$	Hàm xác suất hỏng
3	$P(t)$	Hàm xác suất làm việc không hỏng (hàm tin cậy)
4	$\lambda(t)$	Hàm cường độ hỏng
5	$t_{\gamma\%}$	Thời hạn làm việc gamma phần trăm
6	a_t	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng của phần tử
7	a_τ	Thời gian phục hồi trung bình của phần tử
8	λ	Cường độ hỏng của phần tử
9	μ	Cường độ phục hồi của phần tử
10	$S(t)$	Hàm sẵn sàng của phần tử
11	S	Hệ số sẵn sàng của phần tử
12	$K(t)$	Hàm không sẵn sàng của phần tử
13	K	Hệ số không sẵn sàng của phần tử
14	$E(T_s)$	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng của hệ
15	$E(\tau_s)$	Thời gian phục hồi trung bình của hệ
16	λ_s	Cường độ hỏng của hệ
17	μ_s	Cường độ phục hồi của hệ
18	$S_s(t)$	Hàm sẵn sàng của hệ
19	S_s	Hệ số sẵn sàng của hệ
20	$K_s(t)$	Hàm không sẵn sàng của hệ
21	K_s	Hệ số không sẵn sàng của hệ
22	$a(c)$	Kỳ vọng toán học của cường độ hao mòn
23	$\sigma(c)$	Độ lệch chuẩn của cường độ hao mòn
24	$v(c)$	Hệ số biến động của cường độ hao mòn
25	$f(c)$	Hàm mật độ phân bố cường độ hao mòn

STT	KÝ HIỆU	Ý NGHĨA
26	P_1	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái làm việc
27	$P_3^{(1)}$	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái không làm việc do hư hỏng của Phân hệ 1
28	$P_5^{(2)}$	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái không làm việc do hư hỏng của Phân hệ 2
29	$P_7^{(3)}$	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái không làm việc do hư hỏng của Phân hệ 3
30	$P_9^{(4)}$	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái không làm việc do hư hỏng của Phân hệ 4
31	$P_{11}^{(5)}$	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái không làm việc do hư hỏng của Phân hệ 5
32	$P_{13}^{(6)}$	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái không làm việc do hư hỏng của Phân hệ 6

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

STT	CHỮ VIẾT TẮT	Ý NGHĨA
1	ATS	Automatic Train Supervision (Tự động giám sát vận hành đoàn tàu)
2	CBTC	Communication-Based Train Control (Điều khiển tàu dựa trên thông tin liên tục qua sóng vô tuyến)
3	CCA	Cause - Consequence Analysis (Phân tích nguyên nhân - hậu quả)
4	DC	Direct Current (Dòng điện một chiều)
5	ĐCĐK	Động cơ điện kéo
6	ĐSĐT	Đường sắt đô thị
7	FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (Phân tích hư hỏng và tác động của nó)
8	FMECA	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (Phân tích hư hỏng, tác động và mức độ nghiêm trọng)
9	FTA	Fault Tree Analysis (Phân tích cây hư hỏng)
10	HAZOP	Hazardous Operability Analysis (Phân tích nguy hiểm và khả năng vận hành)
11	MDBF	Mean Distance Between Failure (Quãng đường làm việc trung bình giữa các lần hỏng)
12	MDBM	Mean Distance Between Maintenance (Khoảng cách làm việc trung bình giữa các lần bảo dưỡng)
13	MDT	Mean Down Time (Thời gian ngừng hoạt động trung bình)
14	MDTF	Mean Distance To Failure (Quãng đường làm việc trung bình tới hỏng)

STT	CHỮ VIẾT TẮT	Ý NGHĨA
15	MMH	Mean Maintenance Hour (Số giờ bảo dưỡng trung bình)
16	MTBF	Mean Time Between Failure (Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng)
17	MTBM	Mean Time Between Maintenance (Thời gian làm việc trung bình giữa các lần bảo dưỡng)
18	MTTF	Mean Time To Failure (Thời gian làm việc trung bình tới hỏng)
19	MTTR	Mean Time To Repair (Thời gian phục hồi trung bình)
20	OCC	Operation Control Centre (Trung tâm điều khiển vận hành)
21	RAM	Reliability, Availability and Maintainability (Độ tin cậy, Tính sẵn sàng và Khả năng bảo dưỡng)
22	RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety (Độ tin cậy, Tính sẵn sàng, Khả năng bảo dưỡng và Độ an toàn)
23	RDBMS	Relational Database Management System (Hệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ)
24	SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Hệ thống điều khiển giám sát, thu thập và phân tích dữ liệu)

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1. Tổng hợp các thông số độ tin cậy theo tiêu chuẩn EN 50126-1:2017	24
Bảng 1.2. Tổng hợp các thông số về khả năng bảo dưỡng theo tiêu chuẩn EN 50126-1:2017	24
Bảng 1.3. Tổng hợp các thông số về tính sẵn sàng theo tiêu chuẩn EN 50126-1:2017	25
Bảng 1.4. Tổng hợp các thông số về nguồn lực cung ứng theo tiêu chuẩn EN 50126-1:2017	25
Bảng 1.5. Tổng hợp các thông số về độ an toàn theo tiêu chuẩn EN 50126-1:2017	25
Bảng 1.6. Tổng hợp một số thông số cơ bản của các tuyến đường sắt đô thị	33
Bảng 2.1. Phân chia đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông thành các phân hệ, các tiểu phân hệ và các phần tử	38
Bảng 2.2. Biểu thức các hàm $f(t)$, $Q(t)$, $P(t)$ tương ứng với các quy luật phân bố khác nhau	42
Bảng 2.3. Các tham số độ tin cậy của phần tử hư hỏng đột ngột có phục hồi tương ứng với quy luật phân bố mũ	45
Bảng 2.4. Xác suất hỏng của các dạng biểu hiện mòn khác nhau	48
Bảng 2.5. Các chỉ tiêu độ tin cậy của hệ các phần tử liên kết nối tiếp không phục hồi	49
Bảng 2.6. Các thông số độ tin cậy của hệ các phần tử liên kết nối tiếp có phục hồi	50
Bảng 2.7. Các thông số độ tin cậy của hệ liên kết song song không phục hồi	51
Bảng 2.8. Ma trận tổng quát cường độ chuyển tiếp trạng thái đầy đủ của hệ thống có n phân hệ hoặc phần tử với N trạng thái	54
Bảng 2.9. Ma trận tổng quát cường độ chuyển tiếp trạng thái giới hạn của hệ thống có n phân hệ hoặc phần tử với N trạng thái	55
Bảng 2.10. Ma trận trạng thái đầy đủ của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ	61
Bảng 2.11. Ma trận trạng thái giới hạn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ	62
Bảng 2.12. Tần suất xuất hiện của các tình huống nguy hiểm	64
Bảng 2.13. Mức độ nghiêm trọng của nguy hiểm	65
Bảng 2.14. Ma trận tần suất - hậu quả	65

Bảng 2.15. Phân loại rủi ro định tính.....	66
Bảng 2.16. Ma trận đánh giá và chấp nhận rủi ro	66
Bảng 4.1. Số liệu thống kê tổng quát.....	89
Bảng 4.2. Số liệu thống kê các sự cố của các phân hệ được sửa chữa đột xuất tại depot	89
Bảng 4.3. Số lượng sự cố trên các đoàn tàu được sửa chữa đột xuất tại depot.....	89
Bảng 4.4. Số lượng sự cố trên các toa xe được sửa chữa đột xuất tại depot	89
Bảng 4.5. Số lượng số liệu thống kê về hao mòn bánh xe trên đoàn tàu	89
Bảng 4.6. Số lượng sự cố của phân hệ thân xe trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	90
Bảng 4.7. Số lượng sự cố của phân hệ bộ phận chạy trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	90
Bảng 4.8. Số lượng sự cố của phân hệ truyền động trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	91
Bảng 4.9. Số lượng sự cố của phân hệ thiết bị hãm trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025.....	91
Bảng 4.10. Số lượng sự cố của phân hệ điều khiển trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025.....	92
Bảng 4.11. Số lượng sự cố của phân hệ thiết bị phụ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	92
Bảng 4.12. Số liệu thống kê về sự cố gây gián đoạn chạy tàu và thời gian phục hồi của các phần tử trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến từ 06/11/2021 đến 30/4/2025.....	94
Bảng 4.13. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng của Phân hệ thiết bị phụ trong quá trình vận hành trên tuyến giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (2 sự cố)	94
Bảng 4.14. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phần tử cửa hông khoang khách tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (145 sự cố)	96
Bảng 4.15. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ thân xe tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (172 sự cố).....	98
Bảng 4.16. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ truyền động tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (135 sự cố)	99

Bảng 4.17. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ thiết bị hãm tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (197 sự cố)	100
Bảng 4.18. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ điều khiển tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (135 sự cố).....	100
Bảng 4.19. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ thiết bị phụ tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (236 sự cố)	101
Bảng 4.20. Tổng hợp các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các phân hệ tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (744 sự cố).....	101
Bảng 4.21. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe Tc1 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (201 sự cố).....	105
Bảng 4.22. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe M0 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (171 sự cố).....	106
Bảng 4.23. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe M1 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (178 sự cố).....	106
Bảng 4.24. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe Tc2 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (201 sự cố).....	107
Bảng 4.25. Tổng hợp các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các loại toa xe tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (201 sự cố).....	107
Bảng 4.26. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của đoàn tàu HN001 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (70 sự cố).....	111
Bảng 4.27. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các đoàn tàu HN002 - HN004 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	111
Bảng 4.28. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của.....	112
Bảng 4.29. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của.....	112
Bảng 4.30. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của.....	113
Bảng 4.31. Tổng hợp chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các đoàn tàu giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	113
Bảng 4.32. Xếp hạng thứ tự độ tin cậy các đoàn tàu.....	115
Bảng 4.33. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (2 sự cố).....	116
Bảng 4.34. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (744 sự cố).....	118

Bảng 4.35. Các chỉ tiêu độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn	120
Bảng 4.36. Tổng hợp các thông số cường độ hao mòn mặt lăn bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu.....	122
Bảng 4.37. 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	123
Bảng 4.38. Tổng hợp các thông số cường độ hao mòn gờ bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu.....	125
Bảng 4.39. 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	126
Bảng 4.40. Tổng hợp các thông số cường độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe	128
Bảng 4.41. 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	129
Bảng 4.42. Tổng hợp các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn, gờ bánh và độ gia tăng chiều cao gờ bánh ở các mức tin cậy khác nhau	130
Bảng 4.43. Kết quả tính toán xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ và của phương tiện (đoàn tàu metro) trong quá trình vận hành trên tuyến	134
Bảng 4.44. Kết quả tính toán xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ và của phương tiện (đoàn tàu metro) tại depot.....	135
Bảng 4.45. Tần suất sự cố của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác (từ 06/11/2021 đến 30/4/2025).....	137
Bảng 4.46. Tần suất sự cố của các phần tử có số lượng sự cố lớn nhất trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác (từ 06/11/2021 đến 30/4/2025).....	137
Bảng 4.47. Số liệu thống kê giả định về an toàn và tai nạn của phân hệ thân xe.....	137

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Sơ đồ thành phần RAMS	23
Hình 1.2. Các yếu tố ảnh hưởng lên RAMS	24
Hình 1.3. Sơ đồ tổng thể hệ thống đường sắt đô thị Hà Nội	28
Hình 1.4. Sơ đồ tổng thể hệ thống đường sắt đô thị TP. Hồ Chí Minh.....	28
Hình 1.5. Sơ đồ tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông.....	29
Hình 1.6. Sơ đồ tuyến đường sắt đô thị Bến Thành - Suối Tiên	31
Hình 1.7. Sơ đồ tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Ga Hà Nội	32
Hình 1.8. Cấu hình đoàn tàu tuyến Cát Linh - Hà Đông.....	32
Hình 1.9. Cấu hình đoàn tàu tuyến Bến Thành - Suối Tiên	32
Hình 1.10. Cấu hình đoàn tàu tuyến Nhổn - Ga Hà Nội	33
Hình 2.1. Sơ đồ phân chia hệ thống đường sắt đô thị thành các phân hệ cấp 1, cấp 2	37
Hình 2.2. Sơ đồ phân chia hệ thống đường sắt đô thị thành các phân hệ cấp 3	38
Hình 2.3. Sơ đồ phân chia phương tiện đường sắt đô thị thành các phân hệ cấp 4.....	38
Hình 2.4. Quan hệ tổng quát giữa các hàm $f(t)$, $Q(t)$, $P(t)$ và $\lambda(t)$	42
Hình 2.5. Sơ đồ xác định thời hạn làm việc (tuổi thọ) gamma phần trăm	44
Hình 2.6. Sơ đồ các khoảng thời gian làm việc và khoảng thời gian phục hồi	45
Hình 2.7. Quá trình hao mòn ngẫu nhiên và các hàm mật độ phân bố $f(t)$, $f(I)$	46
Hình 2.8. Sơ đồ hệ thống các phần tử liên kết nối tiếp	49
Hình 2.9. Sơ đồ hệ thống các phần tử liên kết song song	51
Hình 2.10. Mô hình tổng quát cường độ chuyển tiếp trạng thái đầy đủ của hệ thống có n phân hệ hoặc phần tử với N trạng thái.....	53
Hình 2.11. Mô hình tổng quát cường độ chuyển tiếp trạng thái giới hạn của hệ thống có n phân hệ hoặc phần tử với N trạng thái.....	56
Hình 2.12. Mô hình trạng thái đầy đủ của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ	57
Hình 2.13. Mô hình trạng thái giới hạn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ	63
Hình 2.14. Sơ đồ các dạng hao mòn bánh xe	68
Hình 2.15. Các dụng cụ đo chuyên dùng đối với bánh xe.....	68

Hình 3.1. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phương tiện	75
Hình 3.2. Lưu đồ thuật toán tính toán trạng thái giới hạn của phương tiện	76
Hình 3.3. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phân hệ	77
Hình 3.4. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của tiểu phân hệ	78
Hình 3.5. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phần tử	79
Hình 3.6. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn bánh xe	80
Hình 3.7. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh xe	81
Hình 3.8. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe	82
Hình 3.9. Lưu đồ thuật toán xử lý số liệu thống kê	83
Hình 3.10. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phương tiện	84
Hình 3.11. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phân hệ	85
Hình 3.12. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của tiểu phân hệ	86
Hình 3.13. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phần tử	87
Hình 4.1. Giao diện tính toán và hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy của phân hệ thiết bị phụ trong quá trình vận hành trên tuyến	95
Hình 4.2. Giao diện hiển thị kết quả tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phần tử cửa không khoang khách (145 sự cố)	97
Hình 4.3. Giao diện tính toán và hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ thân xe tại depot	98
Hình 4.4. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc và thời gian phục hồi của các phân hệ	102
Hình 4.5. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của các phân hệ	102
Hình 4.6. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy của toa xe Tc1 và Tc2 trong quá trình vận hành trên tuyến	104

Hình 4.7. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe Tc1 tại depot.....	105
Hình 4.8. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc và thời gian phục hồi của các loại toa xe giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	108
Hình 4.9. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của các loại toa xe giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	108
Hình 4.10. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy của đoàn tàu HN007 và HN008 trong quá trình vận hành trên tuyến.....	110
Hình 4.11. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của đoàn tàu HN001	110
Hình 4.12. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc và thời gian phục hồi của 13 đoàn tàu giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025.....	114
Hình 4.13. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của 13 đoàn tàu giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	114
Hình 4.14. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của 13 đoàn tàu giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 xếp từ cao xuống thấp	115
Hình 4.15. Giao diện tính toán và hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến	117
Hình 4.16. Các giao diện tính toán và kết quả tính toán đánh giá tổng thể độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	118
Hình 4.17. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc, thời gian phục hồi và hệ số sẵn sàng của phương tiện giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025	119
Hình 4.18. Giao diện hiển thị quá trình tính toán, kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của tất cả các bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn.....	121
Hình 4.19. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn đối với một số nhóm toa xe khác nhau	121
Hình 4.20. Biểu đồ các thông số cường độ hao mòn mặt lăn bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu.....	122
Hình 4.21. 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.....	123

Hình 4.22. Giao diện hiển thị quá trình tính toán, kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của tất cả các bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh.....	124
Hình 4.23. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh đối với một số nhóm toa xe khác nhau	125
Hình 4.24. Biểu đồ các thông số cường độ hao mòn gờ bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu	125
Hình 4.25. 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.....	126
Hình 4.26. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh đối với tất cả các toa xe	127
Hình 4.27. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh đối với một số nhóm toa xe khác nhau	128
Hình 4.28. Biểu đồ các thông số cường độ gia tăng chiều cao gờ bánh đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu	128
Hình 4.29. 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.....	129
Hình 4.30. Biểu đồ thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn, gờ bánh và độ gia tăng chiều cao gờ bánh ở các mức tin cậy khác nhau.....	130
Hình 4.31. 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.....	132
Hình 4.32. 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.....	132
Hình 4.33. Các giao diện hiển thị quá trình tính toán và kết quả đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro trong quá trình vận hành trên tuyến	134
Hình 4.34. Các giao diện hiển thị quá trình tính toán và kết quả đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro tại depot.....	135
Hình 4.35. Các giao diện hiển thị quá trình tính toán các chỉ tiêu về an toàn.....	138

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Ở các nước tiên tiến có đường sắt phát triển, việc đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn (RAMS) của hệ thống đường sắt nói chung và đường sắt đô thị (ĐSĐT) nói riêng luôn được đặc biệt coi trọng và được thực hiện một cách bài bản thông qua các tiêu chuẩn, quy trình. Đánh giá RAMS luôn được coi trọng và là một phần bắt buộc tại các dự án ĐSĐT. Tuy nhiên, ở Việt Nam, các nghiên cứu về vấn đề này còn khá hạn chế và hầu như chưa được quan tâm một cách đúng mức. Mặt khác, hiện nay, chưa có một đơn vị nào trong nước đủ khả năng để thực hiện công tác đánh giá RAMS cho các dự án ĐSĐT đang triển khai mà hoàn toàn phải thuê các đơn vị nước ngoài. Đồng thời, việc đánh giá RAMS cũng mới chủ yếu được thực hiện trong quá trình đấu thầu, thiết kế, chế tạo mà chưa thực hiện được trong quá trình khai thác.

Hiện nay, tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông đã được đưa vào khai thác từ ngày 06/11/2021, tuyến Nhổn - Ga Hà Nội đã bắt đầu khai thác đoạn trên cao (Nhổn - Cầu Giấy) từ ngày 08/8/2024 và tuyến Bến Thành - Suối Tiên cũng mới được đưa vào khai thác từ ngày 22/12/2024. Tiếp sau đó một số tuyến khác sẽ được tiếp tục được đầu tư xây dựng. Vì vậy, vấn đề ***“Nghiên cứu đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác ở Việt Nam”*** là phù hợp với xu thế của thế giới, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong điều kiện Việt Nam. Đây cũng là tiền đề để mở rộng đánh giá RAMS cho các phân hệ kỹ thuật khác trong đường sắt đô thị, hướng tới xây dựng các bộ quy chuẩn, tiêu chuẩn đánh giá RAMS cho hệ thống đường sắt đô thị nói riêng và đường sắt Việt Nam nói chung.

2. Mục tiêu của đề tài

1. Thiết lập được cơ sở đánh giá RAMS của phân tử và hệ thống trong quá trình khai thác.
2. Xây dựng được quy trình và phần mềm đánh giá RAMS của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác
3. Đánh giá được RAMS của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác trên tuyến Cát Linh - Hà Đông

3. Đối tượng nghiên cứu

Các phương pháp và mô hình đánh giá RAMS của hệ thống kỹ thuật phức hợp nói chung và phương tiện đường sắt đô thị nói riêng.

Phương tiện đường sắt đô thị nói chung và phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông nói riêng.

4. Phạm vi nghiên cứu

Đánh giá các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và độ an toàn (RAMS) cho phương tiện đường sắt đô thị (đoàn tàu metro) trong quá trình khai thác ở Việt Nam, áp dụng cụ thể cho tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông.

Các chỉ tiêu nói trên được đánh giá trên cơ sở các sự cố gây trở ngại chạy tàu (gây chậm tàu so với biểu đồ chạy tàu theo kế hoạch) và gây sửa chữa đột xuất tại depot (chưa xét tới quá trình bảo dưỡng, sửa chữa định kỳ) do chính các phần tử của phương tiện gây ra. Khi đó phương tiện được coi là một hệ thống kỹ thuật phức hợp độc lập tương đối.

Đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông do hao mòn trong quá trình khai thác.

Một số giới hạn về nội dung nghiên cứu:

Chỉ đánh giá tác động tổng hợp ảnh hưởng của điều kiện khai thác đến độ tin cậy của phương tiện, chưa có điều kiện nghiên cứu ảnh hưởng riêng biệt của từng yếu tố đến độ tin cậy của phương tiện, trong đó có yếu tố của người vận hành. Chưa nghiên cứu ảnh hưởng của các sự cố của các hệ thống khác nói trên đến độ tin cậy và an toàn của phương tiện.

Chưa nghiên cứu đánh giá RAMS cho phương tiện của các tuyến khác như Nhổn - Ga Hà Nội và Bến Thành - Suối Tiên.

Chưa nghiên cứu đánh giá RAMS cho các phân hệ khác của tuyến Cát Linh - Hà Đông như: hệ thống cung cấp điện, cầu, đường ray, thông tin - tín hiệu, nhà ga, hệ thống điều hành vận tải v.v.

Về an toàn, chỉ xem xét một khía cạnh hẹp, đó là dựa trên ma trận đánh giá và chấp nhận rủi ro từ các sự cố do phương tiện gây ra dẫn đến thiệt hại về người và tài sản.

5. Phương pháp nghiên cứu

Kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết và khảo sát thực tế:

Nghiên cứu lý thuyết: ứng dụng lý thuyết độ tin cậy để thiết lập cơ sở đánh giá RAMS, xây dựng quy trình và phần mềm để giải quyết bài toán đặt ra.

Khảo sát thực tế: cập nhật các số liệu về thông số kỹ thuật của các tuyến đường sắt đô thị nói chung và phương tiện đường sắt đô thị nói riêng đã được đưa vào khai ở Việt Nam, các số liệu cụ thể liên quan đến các sự cố do phương tiện gây ra dẫn đến trở ngại chạy tàu trên tuyến, gây sửa chữa đột xuất tại depot và số liệu về hao mòn bánh xe

của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông phục vụ cho nội dung nghiên cứu.

6. Nội dung nghiên cứu

1. Tổng quan về đánh giá RAMS của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác.
2. Thiết lập các mô hình và quy trình đánh giá RAMS của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác.
3. Xây dựng phần mềm đánh giá RAMS của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác
4. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác trên tuyến Cát Linh - Hà Đông

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

7.1. Ý nghĩa khoa học

- Ứng dụng lý thuyết độ tin cậy, đã thiết lập được các mô hình đánh giá RAMS cho hệ thống kỹ thuật nói chung và phương tiện đường sắt đô thị nói riêng trong quá trình khai thác.

- Đã xây dựng được quy trình và phần mềm đánh giá RAMS của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác ở Việt Nam nói chung và tuyến Cát Linh - Hà Đông nói riêng.

7.2. Ý nghĩa thực tiễn

Đã đánh giá được các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác; đánh giá được độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe do hao mòn một cách có hệ thống, thường xuyên, liên tục, làm cơ sở cho các nhà quản lý và đơn vị khai thác kịp thời đưa ra các giải pháp nhằm duy trì, đảm bảo và nâng cao độ tin cậy của các phân hệ cũng như của toàn hệ thống, nâng cao hiệu quả khai thác và đảm bảo an toàn vận hành của hệ thống.

8. Đóng góp mới của luận án

8.1. Về mặt lý thuyết

- Ứng dụng lý thuyết độ tin cậy, đã thiết lập được mô hình đánh giá xác suất chuyển tiếp trạng thái của hệ thống kỹ thuật phức hợp gồm n phần tử và N trạng thái với số trạng thái đầy đủ và số trạng thái giới hạn.

- Đã thiết lập được mô hình đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông với tư cách là một hệ thống kỹ thuật độc lập gồm 6 phân hệ và 7 trạng thái cùng với 16 tiểu phân hệ và 89 phần tử.

- Đã xây dựng được quy trình đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện, độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe đoàn tàu metro khai thác ở Việt Nam nói chung và tuyến Cát Linh - Hà Đông nói riêng.

- Từ cơ sở lý thuyết và quy trình đã thiết lập, ứng dụng công nghệ thông tin với ngôn ngữ lập trình Java và hệ quản trị cơ sở dữ liệu SQLite, đã xây dựng được một công cụ tính toán hữu ích, đó là phần mềm đánh giá RAMS của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông.

8.2. Về mặt thực tiễn

- Đã thu thập được số lượng lớn số liệu thống kê bao gồm: 744 số liệu về sự cố dẫn đến sửa chữa đột xuất tại depot, 02 số liệu về sự cố gây trở ngại chạy tàu (chậm tàu), 416 số liệu về hao mòn mặt lăn bánh xe, 416 số liệu về hao mòn gờ bánh xe, 416 số liệu về độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe, trong khoảng thời gian khai thác đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 và sử dụng các số liệu đó cho mục đích nghiên cứu.

- Đã đánh giá được độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và độ an toàn (RAMS) cho đoàn tàu metro tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến và sửa chữa đột xuất tại depot, đánh giá được xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu trong khoảng thời gian khảo sát xác định.

- Đã đánh giá được độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe đoàn tàu metro theo hao mòn bánh xe trong khoảng thời gian khảo sát đã nêu.

- Phần mềm đã xây dựng bước đầu thể hiện được mức độ làm chủ công nghệ ở Việt Nam, có thể nhân rộng và hoàn thiện để có thể thoát ly khỏi sự phụ thuộc vào các phần mềm của nước ngoài nếu có.

- Đây là lần đầu tiên các nội dung trên được nghiên cứu và áp dụng cụ thể cho đường sắt đô thị khai thác ở Việt Nam, điều mà từ trước đến nay chưa có nghiên cứu nào thực hiện được.

9. Kết cấu của luận án

Luận án gồm phần mở đầu, bốn chương nội dung nghiên cứu, phần kết luận và kiến nghị và Phụ lục.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

1.1. TỔNG QUAN VỀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ Ở NƯỚC NGOÀI

Hệ thống ĐSDT, xét theo quan điểm độ tin cậy, là một hệ thống phức hợp được cấu thành từ các phân hệ cơ bản như: phân hệ cầu - hầm - đường ray, phân hệ đoàn tàu (phương tiện đầu máy - toa xe), phân hệ thiết bị cung cấp điện, phân hệ thông tin - tín hiệu, phân hệ nhà ga, phân hệ các thiết bị phụ trợ, phân hệ điều hành vận tải v.v. Độ tin cậy của hệ thống phụ thuộc vào độ tin cậy của các phần tử và phân hệ trong hệ thống đó. Vì vậy, trong quá trình khai thác, ngoài việc đánh giá các chỉ tiêu vận dụng thông thường như: tốc độ kỹ thuật, tốc độ lý hành, tốc độ thương mại của đoàn tàu; thời gian quay vòng đoàn tàu, quãng đường chạy trung bình ngày đêm, khối lượng vận chuyển trung bình ngày đêm của đoàn tàu v.v, còn phải quan tâm đến các chỉ tiêu liên quan đến độ tin cậy và an toàn của các phân hệ và của toàn hệ thống gây gián đoạn chạy tàu như: xác suất làm việc không hỏng (độ tin cậy), xác suất hỏng (độ rủi ro), hàm sẵn sàng, hệ số sẵn sàng, cường độ hỏng, cường độ phục hồi (khắc phục hư hỏng hoặc sự cố) v.v.

Ở các nước Châu Âu có đường sắt phát triển, việc đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của hệ thống đường sắt nói chung và đường sắt đô thị nói riêng được thực hiện thông qua tiêu chuẩn EN 50126 [77-80] hoặc tiêu chuẩn quốc tế (IEC 62278) [81]. Cần lưu ý rằng tiêu chuẩn châu Âu EN 50126-1:1999 (hiện tại, đã được thay thế bằng tiêu chuẩn EN 50126-1:2017) (Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Basic requirements and generic process) có thể được coi là tiêu chuẩn đầu tiên đưa ra khái niệm RAMS cho đường sắt, sau này được quốc tế hóa trở thành tiêu chuẩn IEC 62278:2002 (hiện tại, đã được thay thế bằng tiêu chuẩn IEC 62278-1:2025) (Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)). Do đó, việc đánh giá RAMS ở các nước ngoài châu

Âu cơ bản cũng đều căn cứ vào hai tiêu chuẩn này [84-88, 101-103]. Theo đó, RAMS bao gồm các thành phần sau:

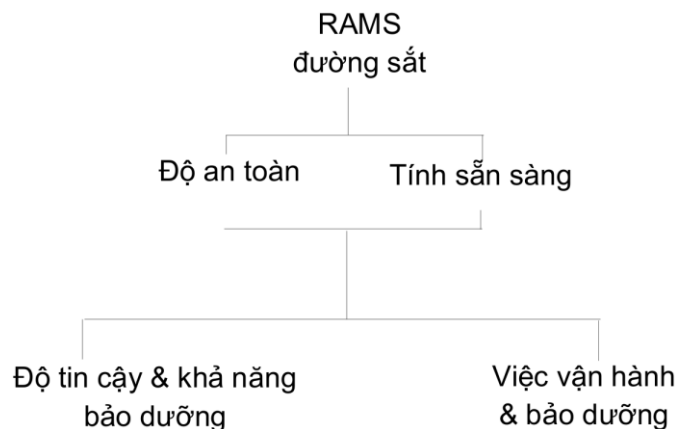
+ R - Reliability (Độ tin cậy): Xác suất để một sản phẩm hoặc thiết bị đảm bảo đáp ứng được chức năng cần thiết của nó, trong một điều kiện nhất định và trong một khoảng thời gian nhất định (t_1, t_2).

+ A - Availability (Tính sẵn sàng): Khả năng một sản phẩm, với hiện trạng nhất định, có thể đáp ứng được chức năng cần thiết của nó, trong một điều kiện nhất định và trong một khoảng thời gian nhất định (t_1, t_2), theo giả định rằng các nguồn hỗ trợ cần có bên ngoài đã ở trạng thái sẵn sàng.

+ M - Maintainability (Khả năng bảo dưỡng): Xác suất có thể hoàn thành nhiệm vụ bảo dưỡng tương ứng đối với một thành phần của sản phẩm trong một khoảng thời gian quy định, khi bảo dưỡng được thực hiện trong điều kiện quy định và các quy trình cũng như nguồn hỗ trợ cần có được xác định.

+ S - Safety (Độ an toàn): Không tồn tại các rủi ro gây tổn hại.

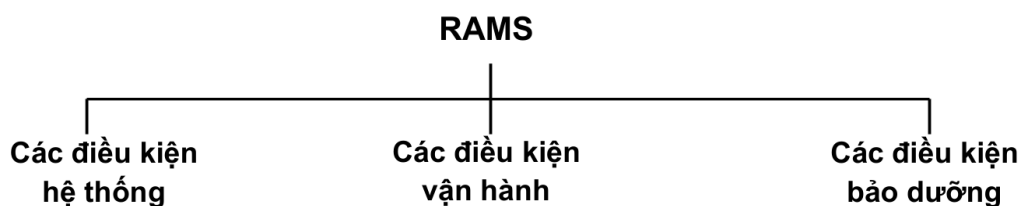
Sơ đồ thành phần RAMS của hệ thống được thể hiện trên Hình 1.1.



Hình 1.1. Sơ đồ thành phần RAMS

Để tiến hành đánh giá được RAMS của một hệ thống thì cần phải hiểu một cách kỹ lưỡng mô tả kỹ thuật của hệ thống đó. Trong đó, cần phải tìm ra các yếu tố có thể ảnh hưởng tới RAMS của hệ thống và lý do cần phải kiểm soát các ảnh hưởng này trong suốt vòng đời của hệ thống. RAMS của hệ thống đường sắt bị ảnh hưởng bởi ba nguồn gây hư hỏng: nguồn gây hư hỏng phát sinh từ bên trong hệ thống tại bất kì giai đoạn nào của vòng đời hệ thống (các điều kiện hệ thống); nguồn gây hư hỏng xuất hiện trong hệ thống khi vận hành (các điều kiện vận hành); và nguồn gây hư hỏng xuất hiện trong hệ thống khi tiến hành bảo dưỡng (các điều kiện bảo dưỡng). Những nguồn gây hư hỏng

này có thể tác động tương hỗ với nhau. Các yếu tố ảnh hưởng lên RAMS được thể hiện trên Hình 1.2.



Hình 1.2. Các yếu tố ảnh hưởng lên RAMS

Chính vì vậy, đánh giá RAMS được tiến hành ở hầu hết các giai đoạn vòng đời của hệ thống, từ giai đoạn thiết kế, chế tạo cho đến giai đoạn khai thác, bảo dưỡng [38-40].

Các thông số RAMS theo tiêu chuẩn EN 50126 được tổng hợp trong các Bảng 1.1 - 1.5.

Bảng 1.1. Tổng hợp các thông số độ tin cậy theo tiêu chuẩn EN 50126-1:2017

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị
Cường độ hư hỏng	$Z(t), \lambda$	Hư hỏng/thời gian, quãng đường, vòng đời hệ thống
Thời gian sử dụng trung bình	MUT	Thời gian, quãng đường, vòng đời hệ thống
Thời gian trung bình dẫn đến hư hỏng Quãng đường vận hành trung bình dẫn đến hư hỏng (đối với các hạng mục không thể sửa chữa)	MTTF MDTF	Thời gian, quãng đường, vòng đời hệ thống
Thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng	MTBF	Thời gian, quãng đường, vòng đời hệ thống
Quãng đường vận hành giữa các lần hư hỏng (Đối với các hạng mục sửa chữa được)	MDBF	
Xác suất hư hỏng	$F(t)$	Không có đơn vị
Độ tin cậy (xác suất không hỏng)	$R(t)$	Không có đơn vị

Bảng 1.2. Tổng hợp các thông số về khả năng bảo dưỡng

theo tiêu chuẩn EN 50126-1:2017

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị
Thời gian không sử dụng trung bình	MDT	Thời gian, quãng đường, vòng đời hệ thống
Thời gian/ Quãng đường trung bình giữa các lần bảo dưỡng	MTBM/MDBM	Thời gian, quãng đường, vòng đời hệ thống
MTBM/MDBM, sửa chữa hoặc	MTBM(c)/MDBM(c),	Thời gian, quãng

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị
phòng ngừa	MTBM(p)/MDBM(p)	đường, vòng đời hệ thống
Thời gian trung bình để bảo dưỡng	MTTM	Thời gian
MTTM, sửa chữa hoặc phòng ngừa	MTTM(c), MTTM(p)	Thời gian
Thời gian trung bình để khôi phục	MTTR	Thời gian
Tỷ lệ báo hỏng	FAR	Thời gian ⁻¹
Phạm vi hư hỏng	FC	Không có đơn vị
Phạm vi sửa chữa	RC	Không có đơn vị

Bảng 1.3. Tổng hợp các thông số về tính sẵn sàng
theo tiêu chuẩn EN 50126-1:2017

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị
Tính sẵn sàng	$A(.) = MUT/(MUT+MDT)$	Không có đơn vị
Vốn có	A i	
Đạt được	A a	
Sử dụng	A o	
Tính sẵn sàng của đoàn xe	FA (= các phương tiện sẵn sàng / đoàn xe)	Không có đơn vị
Khả năng duy trì kế hoạch	SA	Không có đơn vị

Bảng 1.4. Tổng hợp các thông số về nguồn lực cung ứng
theo tiêu chuẩn EN 50126-1:2017

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị
Chi phí vận hành và bảo dưỡng	O&MC	Tiền
Chi phí bảo dưỡng	MC	Tiền
Giờ công bảo dưỡng	MMH	Thời gian (giờ)
Độ trễ vật tư và quản lý	LAD	Thời gian
Thời gian sửa chữa sự cố		Thời gian
Thời gian sửa chữa		Thời gian
Hoạt động hỗ trợ bảo dưỡng		Không có đơn vị
Nhân lực cho việc thay thế	EFR	Không có đơn vị
Xác suất các phụ tùng thay thế trên thị trường khi cần	SPS	Không có đơn vị

Bảng 1.5. Tổng hợp các thông số về độ an toàn theo tiêu chuẩn EN 50126-1:2017

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị
Thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng nguy hiểm	MTBF(H)	Thời gian, quãng đường, vòng đời hệ thống
Thời gian trung bình giữa các lần “hư hỏng an toàn hệ thống”	MTBSF	Thời gian, quãng đường, vòng đời hệ thống
Tỷ lệ nguy hiểm	H(t)	Hư hỏng/thời gian, quãng đường, vòng đời hệ thống

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị
Xác suất hư hỏng liên quan tới an toàn	$F_s(t)$	Không có đơn vị
Xác suất an toàn chức năng	$S_s(t)$	Không có đơn vị
Thời gian để trở về trạng thái an toàn	TTRS	Thời gian

Trên thực tế, tùy thuộc vào điều kiện cụ thể của từng quốc gia, đánh giá RAMS có thể được tiến hành theo nhiều phương pháp và công cụ khác nhau [44-48, 50-57, 59-60, 82-83]. Một số phương pháp và công cụ có thể kể đến là FMEA (Failure Mode and Effects Analysis - Phân tích hư hỏng và tác động của nó), FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis - Phân tích hư hỏng, tác động và mức độ nghiêm trọng), FTA (Fault Tree Analysis - Phân tích cây hư hỏng), Failure Block Diagram Analysis (Phân tích sơ đồ khối hư hỏng), CCA (Cause - Consequence Analysis - Phân tích nguyên nhân - hậu quả), HAZOP (Hazardous Operability Analysis - Phân tích nguy hiểm và khả năng vận hành) v.v. Trong đó, mỗi phương pháp lại đòi hỏi phải có các thông số đầu vào cũng như phạm vi ứng dụng khác nhau. Do đó, cần phải nghiên cứu phương pháp đánh giá RAMS phù hợp với từng đối tượng, điều kiện cụ thể. Theo đó, một số công trình có liên quan đến đánh giá RAMS đường sắt có thể kể đến như:

- Mahboob, Zio E [61], Park [66], Profillidis [67] đã tập hợp các nghiên cứu nhằm cung cấp kiến thức toàn diện về RAMS trong lĩnh vực đường sắt hiện đại; Giới thiệu cách tiếp cận tích hợp giữa kỹ thuật đường sắt, mô hình hóa toán - thống kê, tiêu chuẩn kỹ thuật và cả yếu tố kinh tế trong quản lý hệ thống. Tuy nhiên, chưa có phương pháp cụ thể phục vụ đánh giá RAMS cho phương tiện đường sắt, đặc biệt là phương tiện đường sắt đô thị.

- Patra [65] cung cấp một khung tích hợp RAMS và Life Cycle Cost (LCC) - Chi phí vòng đời - rõ rệt cho quản lý bảo dưỡng hạ tầng đường sắt. Nghiên cứu giúp ra quyết định chiến lược bảo dưỡng hiệu quả chi phí trong khi đảm bảo mục tiêu chất lượng dịch vụ và an toàn.

- Tzanakakis [69] cung cấp kiến thức chuyên sâu về hành vi dài hạn của đường ray, mô tả chi tiết chức năng các thành phần đường ray, mối tương tác giữa chúng và tác động khi chịu tải từ phương tiện đường sắt. Trong đó, có sự tích hợp RAMS và phân tích LCC để lập kế hoạch bảo dưỡng tối ưu đối với đường ray.

- Nissen [64] nghiên cứu về RAMS đối với ghi đường sắt. Trong đó, phát triển mô hình LCC cho ghi đường sắt nhằm hỗ trợ quản lý và bảo dưỡng tối ưu.

- Hiraguri, Iwata, Watanabe [58] xây dựng phương pháp đánh giá an toàn và sẵn sàng cho hệ thống tín hiệu đường sắt theo tiêu chuẩn RAMS. Nghiên cứu nhấn mạnh việc cân bằng giữa độ an toàn và tính sẵn sàng hoạt động, bằng cách áp dụng các tiêu chuẩn RAMS quốc tế và phân tích rủi ro để đảm bảo đáp ứng mục tiêu vận hành.

- Teshome [68] mô hình hóa, phân tích độ tin cậy và tính sẵn sàng của phương tiện đường sắt có tính đến phương tiện dự phòng lạnh (dự phòng không tải) cho hệ thống đường sắt Quốc gia Hà Lan.

Như vậy, các công trình nghiên cứu về RAMS đối với phương tiện đường sắt còn rất hạn chế, đặc biệt là với phương tiện đường sắt đô thị. Chưa có nghiên cứu nào tích hợp đầy đủ RAMS cho phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác.

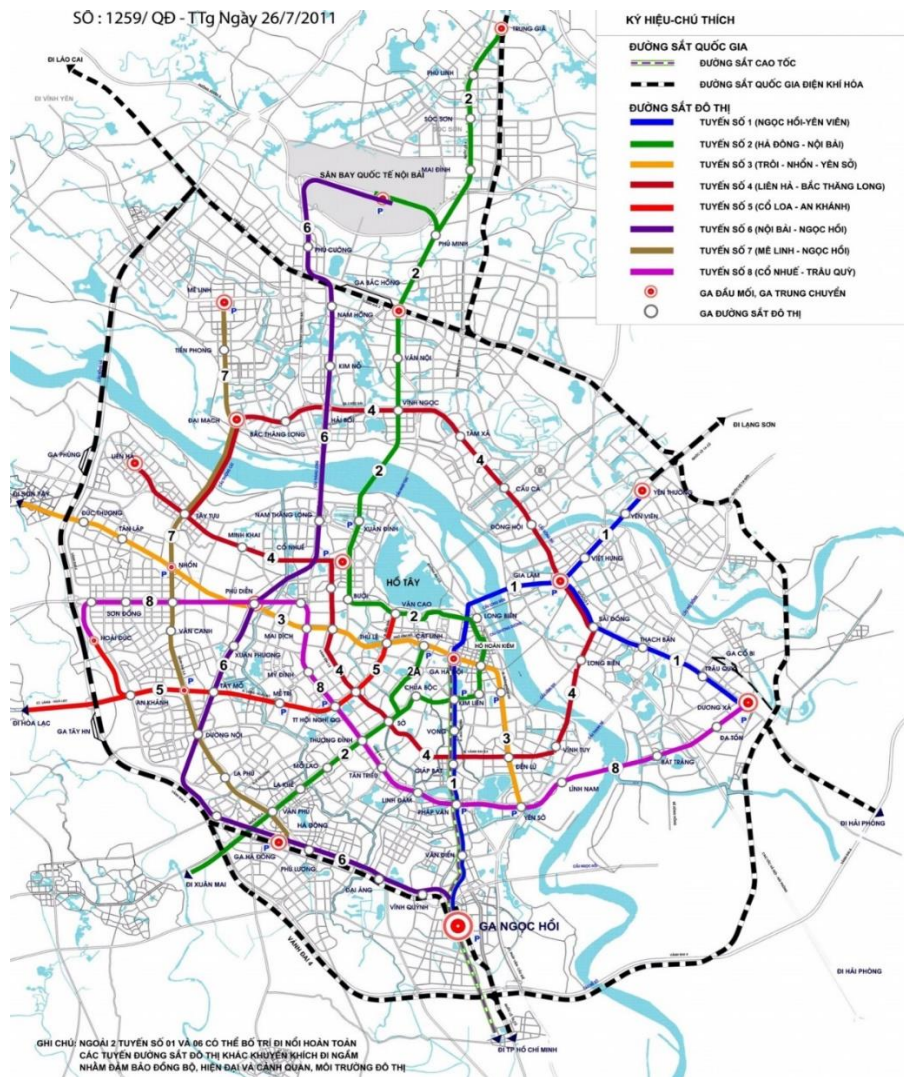
1.2. TỔNG QUAN VỀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ Ở TRONG NƯỚC

1.2.1. Giới thiệu tổng quát về hệ thống đường sắt đô thị ở Việt Nam

Đường sắt đô thị ở Việt Nam đang trong quá trình phát triển, với trọng tâm là Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh. Cả hai thành phố đều có các tuyến đường sắt đô thị đang được xây dựng và quy hoạch.

Hệ thống giao thông đô thị TP. Hà Nội gồm 8 tuyến, trong đó có 2 tuyến đã và đang được xây dựng là tuyến số 2A Cát Linh - Hà Đông và tuyến số 3 Nhổn - Ga Hà Nội. Sơ đồ tổng thể hệ thống đường sắt đô thị Hà Nội được thể hiện trên Hình 1.3 [24].

Hệ thống giao thông đô thị TP. Hồ Chí Minh bao gồm 8 tuyến, trong đó tuyến số 1 Bến Thành - Suối Tiên mới được đưa vào khai thác từ ngày 22/12/2024. Sơ đồ tổng thể hệ thống đường sắt đô thị TP. Hồ Chí Minh thể hiện trên Hình 1.4 [24].



Hình 1.3. Sơ đồ tổng thể hệ thống đường sắt đô thị Hà Nội

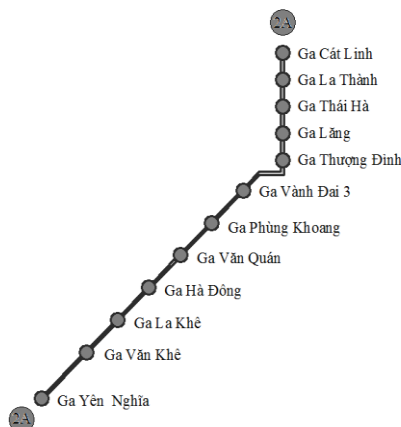


Hình 1.4. Sơ đồ tổng thể hệ thống đường sắt đô thị TP. Hồ Chí Minh

1.2.2. Giới thiệu tổng quát về các tuyến đường sắt đô thị đã và đang xây dựng

1.2.2.1. 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 và ga cuối là ga Yên Nghĩa, Hà Đông [24]. Tuyến đã được đưa vào khai thác từ tháng 11 năm 2021. Một số thông số cơ bản của tuyến được tổng hợp trong Bảng 1.6. Sơ đồ tuyến thể hiện trên Hình 1.5.



Hình 1.5. Sơ đồ tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông

Để hình dung tổng thể hơn về tuyến, dưới đây là tổng quan giới thiệu về các hệ thống kỹ thuật hạ tầng tuyến Cát Linh - Hà Đông [24, 32-35].

a. Hệ thống cung cấp điện kéo

Hệ thống cung cấp điện kéo tuyến Cát Linh - Hà Đông được thiết kế hiện đại, tuân thủ tiêu chuẩn đô thị hóa: cấp điện 750 V DC bằng ray thứ 3, 7 trạm điện kéo với chỉnh lưu 24 xung giảm hài, cấp nguồn kép 22 kV bảo đảm dự phòng, cùng SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition - Hệ thống điều khiển giám sát, thu thập và phân tích dữ liệu). Công nghệ này đủ năng lực cho khai thác 10 đoàn tàu/giờ và sẵn sàng mở rộng (lắp siêu tụ hoặc pin) để nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong tương lai.

b. Hệ thống cầu cạn, đường ray

Tuyến có chiều dài 13,05 km (tính từ ga Cát Linh đến Depot Phú Lương) với Depot Phú Lương có diện tích 19 ha. Nhìn chung, tuyến Cát Linh - Hà Đông có địa hình dọc phức tạp, với nhiều đoạn dốc từ 12‰ đến 35‰, đặc biệt là các đoạn tiếp cận nhà ga và cầu vượt đường giao thông lớn. Việc sử dụng tàu điện kéo hiện đại với lực bám cao,

điều khiển tự động giúp đảm bảo an toàn và hiệu quả chạy tàu ngay cả trên các đoạn dốc lớn.

Hệ thống hạ tầng tuyến Cát Linh - Hà Đông được thiết kế hiện đại, đồng bộ và áp dụng nhiều giải pháp tiên tiến về kỹ thuật kết cấu, chống rung, chống ồn và bền vững lâu dài. Việc lựa chọn cầu cạn liên tục, ray không ballast và ray hàn dài giúp nâng cao chất lượng chạy tàu, giảm chi phí bảo dưỡng, phù hợp với yêu cầu đô thị hóa cao của Thủ đô Hà Nội.

c. Hệ thống thông tin và tín hiệu

Hệ thống thông tin - tín hiệu (Signalling & Communication) là bộ phận then chốt trong vận hành an toàn, tự động và hiệu quả cho tuyến. Nhiệm vụ chính gồm: Điều khiển, giám sát và đảm bảo an toàn chạy tàu. Hỗ trợ thông tin liên lạc giữa trung tâm điều độ, đoàn tàu và hành khách. Cho phép vận hành tàu tự động mức độ cao.

Hệ thống thông tin - tín hiệu của tuyến Cát Linh - Hà Đông ứng dụng công nghệ CBTC (Communication-Based Train Control - Điều khiển tàu dựa trên thông tin liên tục qua sóng vô tuyến) hiện đại, đạt chuẩn an toàn cao nhất, bảo đảm kiểm soát chặt chẽ hoạt động chạy tàu trong môi trường đô thị. Hệ thống ATS (Automatic Train Supervision - Tự động giám sát vận hành đoàn tàu) có thể tự động điều chỉnh lịch tàu chạy theo lưu lượng hành khách, tránh tình trạng quá tải. Cho phép chạy tàu dồn khối linh hoạt và rút ngắn thời gian giãn cách.

d. Hệ thống nhà ga

Tuyến có 12 nhà ga trên cao (elevated stations), không có ga ngầm. Tổng số ga: 12 ga trên cao, có mái che (trừ depot). Mỗi ga có 2 ke ga bên, chiều dài ke: 110 m, phục vụ đoàn tàu 4 toa. Mặt bằng ga gồm: tầng ke ga (platform), tầng bán vé (concourse), mái che thép lợp tôn nhôm. Các ga đều được liên kết trực tiếp với cầu cạn bằng khung giằng bê tông - thép, thi công theo kết cấu tích hợp cầu - nhà ga.

Hệ thống nhà ga tuyến Cát Linh - Hà Đông được thiết kế hiện đại, đồng bộ, tối ưu hóa không gian đô thị, đảm bảo lưu thông hành khách thuận tiện, an toàn và thân thiện với môi trường. Sự tích hợp giữa kiến trúc truyền thống và công nghệ hiện đại là điểm nhấn trong thiết kế hệ thống ga của tuyến đô thị đầu tiên tại Việt Nam.

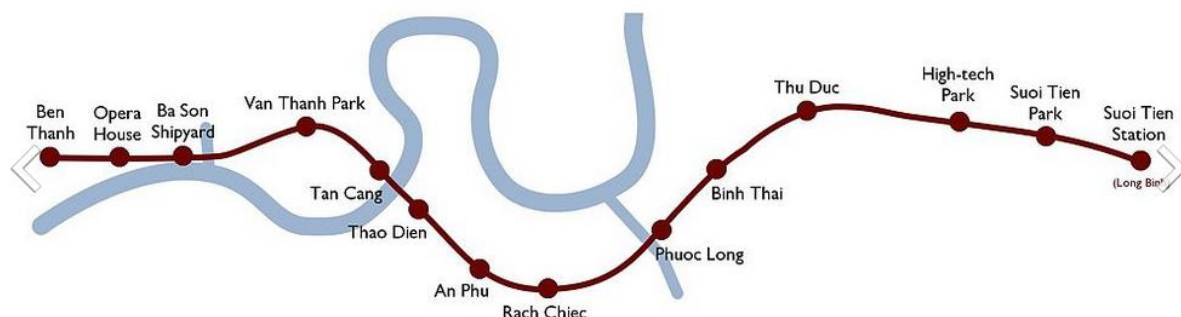
e. Trung tâm điều khiển vận hành

Trung tâm điều khiển vận hành OCC (Operation Control Centre) là trung tâm điều khiển tập trung, được đặt tại Depot Phú Lương. Ở đây tập trung toàn bộ hệ thống

máy chủ điều hành tàu, gồm các bộ phận: Điều hành chạy tàu (Train Dispatch), Điều hành tín hiệu & SCADA, Điều hành thông tin hành khách. Hệ thống có khả năng mô phỏng toàn bộ vị trí tàu, kiểm soát từng đoàn tàu theo thời gian thực. Đây là nơi tiếp nhận, theo dõi và xử lý tín hiệu tự động từ toàn bộ tuyến: tàu, thiết bị tín hiệu, đường ray, cầu, trạm rửa tàu tự động, hệ thống quản lý tín hiệu ... Hệ thống tự động rửa tàu, camera giám sát, cảm biến liên tục gửi tín hiệu về OCC để kiểm soát chất lượng và vận hành hiệu quả.

1.2.2.2. 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) [24]. Tuyến đường sắt đô thị Bến Thành - Suối Tiên mới được đưa vào khai thác từ ngày 22/12/2024. Một số thông số cơ bản của tuyến được tổng hợp trong Bảng 1.6. Sơ đồ tuyến đường sắt đô thị Bến Thành - Suối Tiên thể hiện trên Hình 1.6.

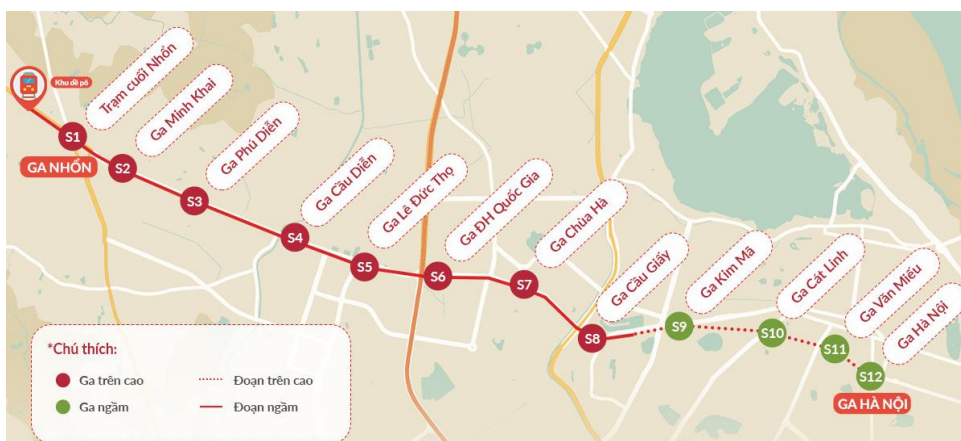


Hình 1.6. Sơ đồ tuyến đường sắt đô thị Bến Thành - Suối Tiên

1.2.2.3. Tuyến đường sắt đô thị Nhỏn - Ga Hà Nội

Tuyến đường sắt đô thị Nhỏn - 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 Nhỏn đến Cầu Giấy và 4,5 km đi ngầm từ Cầu Giấy đến ga Hà Nội. Toàn tuyến có 12 ga, trong đó có 8 ga đi trên cao từ ga Nhỏn đến ga Cầu Giấy và 4 ga đi ngầm từ ga Kim Mã đến ga Hà Nội [24]. Đoạn trên cao đã bắt đầu được khai thác từ ngày 08/8/2024. Đoạn đi ngầm từ ga số 9 đến ga số 12 (Kim Mã - Ga Hà Nội) sẽ được thi công và dự kiến đưa vào khai thác cuối năm 2025. Một số thông số cơ bản của tuyến

được tổng hợp trong Bảng 1.6. Sơ đồ tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Ga Hà Nội thể hiện trên Hình 1.7.

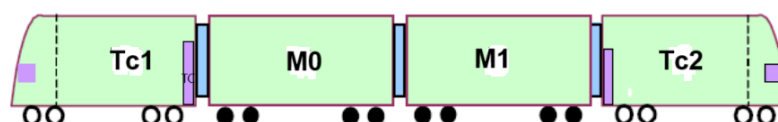


Hình 1.7. Sơ đồ tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Ga Hà Nội

1.2.3. Giới thiệu tổng quát về phương tiện trên các tuyến đường sắt đô thị đã và đang xây dựng

1.2.3.1. Phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông

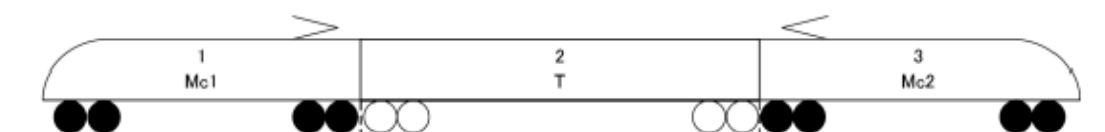
Cấu hình đoàn tàu tuyến Cát Linh - Hà Đông gồm 4 toa xe, trong đó có 2 toa động lực 2 toa xe kéo theo được bố trí như sau: Tc - M + M - Tc (trong đó Tc: là toa xe kéo theo có buồng lái, M: là toa xe động lực). Số lượng đoàn tàu là 13 đoàn với tổng số 52 toa xe, trong đó có 26 toa động lực và 26 toa kéo theo. Một số thông số cơ bản của đoàn tàu được tổng hợp trong Bảng 1.6. Cấu hình đoàn tàu được thể hiện trên Hình 1.8 [24].



Hình 1.8. Cấu hình đoàn tàu tuyến Cát Linh - Hà Đông

1.2.3.2. Phương tiện đường sắt đô thị tuyến Bến Thành - Suối Tiên

Đoàn tàu gồm 3 toa xe có cấu hình như sau: Mc - T - Mc. Số lượng đoàn tàu là 17 đoàn với tổng số 51 toa xe, trong đó có 34 toa động lực và 17 toa kéo theo. Tốc độ khai thác tối đa của đoàn tàu là 80 km/h trong đường hầm và 110 km/h trên cao. Một số thông số cơ bản của đoàn tàu được tổng hợp trong Bảng 1.6. Cấu hình đoàn tàu tuyến Bến Thành - Suối Tiên được thể hiện trên Hình 1.9.



Hình 1.9. Cấu hình đoàn tàu tuyến Bến Thành - Suối Tiên

1.2.3.3. Phương tiện đường sắt đô thị tuyến Nhổn - Ga Hà Nội

Đoàn tàu gồm 4 toa xe có cấu hình như sau: + Mc - M - T - Mc + (Hình 1.10). Trong đó ký hiệu:

+ Đầu đấm móc nối tự động;

- Đầu đấm móc nối bán vĩnh cửu;

Mc: Toa xe động lực có cabin;

M: Toa xe động lực không có cabin;

T: Toa xe kéo theo.

Trong giai đoạn đầu, số lượng đoàn tàu là 10 đoàn với tổng số 40 toa xe, trong đó có 30 toa động lực và 10 toa kéo theo. Trong giai đoạn tiếp theo, khi lưu lượng giao thông tăng sẽ sử dụng đoàn tàu 6 toa. Tốc độ đoàn tàu: tốc độ tối đa 80 km/h, tốc độ trung bình 35 ~ 40 km/h. Một số thông số cơ bản của đoàn tàu được tổng hợp trong Bảng 1.6.



Hình 1.10. Cấu hình đoàn tàu tuyến Nhổn - Ga Hà Nội

Bảng 1.6. Tổng hợp một số thông số cơ bản của các tuyến đường sắt đô thị đã và đang xây dựng ở Việt Nam

TT	Thông số	Cát Linh - Hà Đông	Nhổn - Ga Hà Nội	Bến Thành - Suối Tiên
1	Nước xây dựng	Trung Quốc	Pháp	Nhật Bản
2	Khổ đường, mm	1.435	1.435	1.435
3	Chiều dài tuyến, km	13,1	13,0	19,7
3.1	Trên cao	13,1	8,5	47,1
3.2	Ngầm	0	4,5	2,6
4	Số lượng ga	12	12	14
4.1	Trên cao	12	8	11
4.2	Ngầm	0	4	3
5	Phương thức cấp điện	Ray thứ ba	Ray thứ ba	Trên cao
6	Cấu hình đoàn tàu	Tc-M-M-Tc	Mc-M-T-Mc	Mc-T-Mc
7	Công thức trục toa xe động lực	B ₀ - B ₀	B ₀ - B ₀	B ₀ - B ₀
8	Tải trọng trục, tấn/trục	14	14,5	14
9	Tốc độ thiết kế, km/h	80	80	110/80
10	Chiều dài đoàn tàu, mm	79.800	78.270	60.000
11	Chế độ vận chuyển lớn nhất, hk/đoàn tàu	1358	1314	930

TT	Thông số	Cát Linh - Hà Đông	Nhôn - Ga Hà Nội	Bến Thành - Suối Tiên
12	Giá chuyển hướng	Lò xo không khí	Lò xo không khí	Lò xo không khí
13	Động cơ điện kéo (ĐCĐK)	Không đồng bộ 3 pha	Không đồng bộ 3 pha	Không đồng bộ 3 pha
14	Công suất ĐCĐK, kW/động cơ	190	200	165

1.2.4. Tổng quan về đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị ở Việt Nam

Như đã trình bày ở trên ở các nước tiên tiến có đường sắt phát triển, việc đánh giá RAMS của hệ thống đường sắt nói chung và đường sắt đô thị nói riêng luôn được đặc biệt coi trọng và được thực hiện một cách bài bản thông qua các tiêu chuẩn, quy trình. Đánh giá RAMS luôn được coi trọng và là một phần bắt buộc tại các dự án ĐSDT. Ở Việt Nam, các nghiên cứu về vấn đề này còn khá hạn chế và hầu như chưa được quan tâm một cách đúng mức, mặc dù cũng đã có một số văn bản quy định [29-30, 36-37]. Tuy nhiên, hiện nay, chưa có một đơn vị nào trong nước đủ khả năng để thực hiện công tác đánh giá RAMS cho các dự án ĐSDT đang triển khai mà hoàn toàn phải thuê các đơn vị nước ngoài. Mặt khác, việc đánh giá RAMS cũng mới chủ yếu được thực hiện trong quá trình đấu thầu, thiết kế, chế tạo mà chưa thực hiện được trong quá trình khai thác.

Về mặt pháp lý, Luật đường sắt số 95/2025/QH15 được Quốc hội ban hành ngày 27 tháng 6 năm 2025, có hiệu lực từ ngày 01/01/2026 [36]. Luật có 4 chương. Trong điều 52 “Quản lý an toàn đường sắt”, mục 6 “Quản lý an toàn hệ thống đường sắt” ghi rõ:

a) Đường sắt tốc độ cao, đường sắt cấp I, đường sắt đô thị xây dựng mới hoặc nâng cấp trước khi đưa vào khai thác phải được đánh giá, chứng nhận an toàn hệ thống. Chủ đầu tư dự án phải lựa chọn đơn vị tư vấn độc lập với các đơn vị tư vấn dự án, nhà thầu thi công xây dựng, cung cấp thiết bị của dự án để tổ chức đánh giá, chứng nhận an toàn hệ thống;

b) Đường sắt tốc độ cao thuộc đối tượng được bảo vệ như công trình quan trọng liên quan đến an ninh quốc gia, phải có quy trình vận hành, bảo dưỡng hệ thống quản lý an toàn nghiêm ngặt do cơ quan quản lý, vận hành xây dựng, trình Bộ Xây dựng quyết định;

c) Tổ chức, doanh nghiệp quản lý, vận hành, khai thác đường sắt phải xây dựng, công bố công khai và duy trì hệ thống quản lý an toàn vận hành.

Về mặt tiêu chuẩn, hiện nay ở Việt Nam mới có duy nhất một tiêu chuẩn sau đây (được dịch từ Tiêu chuẩn châu Âu). TCVN 10935-1:2015, Ứng dụng đường sắt - Quy định và chứng minh độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và độ an toàn (RAMS) - Phần 1: Các yêu cầu cơ bản và quy trình chung, Tiêu chuẩn Quốc gia [37]. Tiêu chuẩn này hoàn toàn tương đương với tiêu chuẩn EN 50126-1:1999 (tuy nhiên, hiện tại, tiêu chuẩn EN 50126-1:1999 đã được thay thế bằng tiêu chuẩn EN 50126-1:2017 như đã trình bày tại Mục 1.1). Mặc dù vậy, các tiêu chuẩn chỉ đưa ra các khái niệm, chỉ dẫn chung mà không có các phương pháp và quy trình cụ thể để thực hiện đánh giá RAMS cho ĐSDT.

Về mặt khoa học, lý thuyết độ tin cậy là môn khoa học được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau [2-4, 6-8, 25-27, 42-43, 61-76, 89-100], trong lĩnh vực kỹ thuật, lý thuyết độ tin cậy nói chung và RAMS nói riêng được ứng dụng cho hai giai đoạn: Giai đoạn thiết kế và chế tạo sản phẩm; Giai đoạn khai thác sản phẩm.

Đối với phương tiện đường sắt đô thị (đoàn tàu metro), việc đánh giá RAMS đã được các nhà thầu thực hiện xong, được tư vấn độc lập thẩm định và cho phép đưa vào khai thác. Khi phương tiện được đưa vào khai thác, đơn vị sử dụng cần tiếp tục đánh giá RAMS trong suốt quá trình khai thác (cho đến hết vòng đời của sản phẩm) một cách thường xuyên liên tục. Việc đánh giá RAMS trong quá trình thiết kế chế tạo sản phẩm và trong quá trình khai thác là hai giai đoạn khác nhau, do đó không thể kế thừa RAMS trong quá trình thiết kế cho quá trình khai thác (dữ liệu quá khứ sẽ chỉ mang tính chất tham khảo).

Ở mỗi quốc gia vấn đề này được tiến hành theo các phương pháp và cách tiếp cận khác nhau. Ở Việt Nam đây là vấn đề hoàn toàn mới mẻ, vì vậy cần nghiên cứu để xây dựng được phương pháp và quy trình cho các đối tượng cụ thể, khai thác trong các điều kiện cụ thể. Mặc dù vậy, vẫn có một số công trình nghiên cứu trong nước là cơ sở để đánh giá RAMS cho hệ thống ĐSDT nói chung và phương tiện ĐSDT nói riêng như:

- ***Đối với đánh giá độ tin cậy và an toàn cho đường sắt Quốc gia:***

+ Tác giả Đỗ Đức Tuấn cùng cộng sự đã có các nghiên cứu về đánh giá độ tin cậy của đầu máy trong quá trình khai thác trên đường sắt Việt Nam. Trong đó, đã phân tích, đánh giá độ tin cậy của nhiều chủng loại đầu máy từ dữ liệu khai thác thực tế [12-

15, 22, 28]; đánh giá độ tin cậy của đầu máy tư cách là một hệ thống kỹ thuật phức hợp [16-19, 21]; đánh giá hao mòn và độ tin cậy của các chi tiết và kết cấu trên đầu máy [20].

+ Các tác giả Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn đã xây dựng phần mềm đánh giá các chỉ tiêu độ tin cậy của phân tử và hệ thống đầu máy, toa xe trên cơ sở ngôn ngữ lập trình matlab [11].

+ Các tác giả Trần Văn Hiếu, Đỗ Đức Tuấn đã có những khảo sát, phân tích sự cố và tai nạn giao thông đường sắt ở Việt Nam [5]. Trong đó, đã tiến hành thu thập và xử lý số liệu thống kê về sự cố và tai nạn giao thông đường sắt trong những năm gần đây, từ đó xác định được các chỉ tiêu cụ thể về trở ngại chạy tàu và tai nạn giao thông đường sắt.

- ***Đối với đánh giá độ tin cậy của đối tượng nói chung trong quá trình khai thác:***

+ Tác giả Đỗ Đức Tuấn chủ yếu ứng dụng lý thuyết độ tin cậy trong quá trình khai thác sản phẩm. Cụ thể là để đánh giá độ tin cậy và tuổi bền của chi tiết máy, máy và phương tiện trong quá trình khai thác [23-25].

+ Tác giả Phan Văn Khôi cung cấp khung lý thuyết nền tảng cho đánh giá độ tin cậy của các hệ thống kỹ thuật, đặc biệt trong nền tảng kỹ thuật cơ khí [6].

+ Tác giả Nguyễn Hữu Lộc chủ yếu ứng dụng lý thuyết độ tin cậy trong quá trình thiết kế sản phẩm. Cụ thể là để thiết kế và phân tích hệ thống cơ khí theo độ tin cậy [8].

Như vậy, vẫn chưa có một công trình trong nước nào nghiên cứu đánh giá RAMS cho hệ thống ĐSDT nói chung cũng như cho phương tiện ĐSDT nói riêng.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 1

1. Ở các nước Châu Âu việc đánh giá RAMS của hệ thống đường sắt nói chung và đường sắt đô thị nói riêng được thực hiện thông qua tiêu chuẩn EN 50126 hoặc tiêu chuẩn quốc tế (IEC 62278). Mặt khác, việc đánh giá RAMS ở các nước ngoài châu Âu cơ bản cũng đều căn cứ vào hai tiêu chuẩn này.

2. Ở Việt Nam, mặc dù đã có các cơ sở pháp lý bước đầu về vấn đề đánh giá RAMS cho đường sắt đô thị như Luật đường sắt 2025 và Tiêu chuẩn TCVN 10935-1:2015, nhưng do hệ thống đường sắt đô thị mới được đưa vào khai thác nên chưa có một ứng dụng nào trong thực tế đối với phương tiện, đặc biệt là trong quá trình khai thác.

3. Cho đến nay, các công trình nghiên cứu về đánh giá RAMS cho hệ thống ĐSDT nói chung cũng như cho phương tiện ĐSDT nói riêng còn rất hạn chế. Vì vậy, cần thiết phải thiết lập phương pháp, xây dựng quy trình và phần mềm phục vụ cho việc giá RAMS của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác.

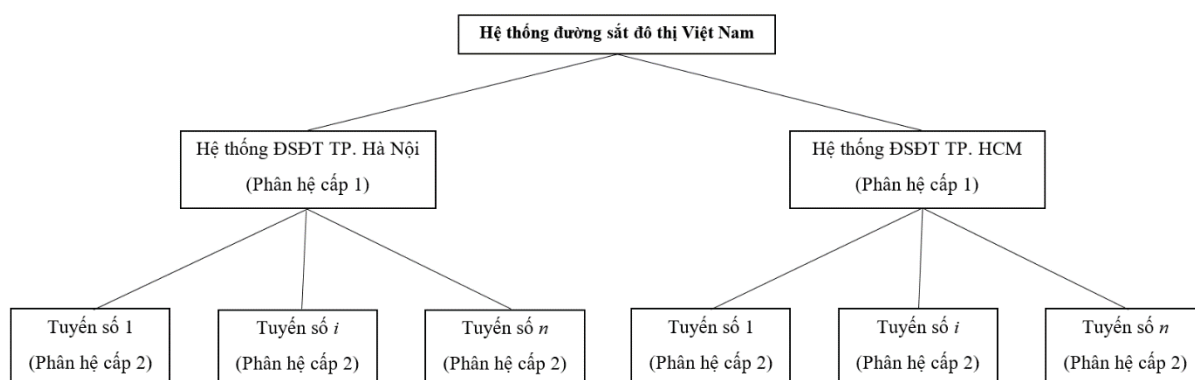
CHƯƠNG 2

CƠ SỞ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

2.1. CƠ SỞ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ

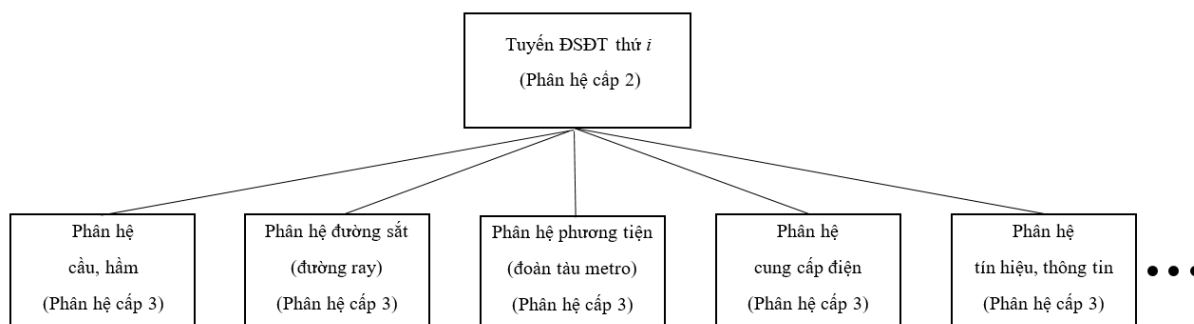
2.1.1. Phân chia hệ thống đường sắt đô thị thành các phân hệ

Lý thuyết độ tin cậy và thống kê toán học là khoa học tổng quát, có thể ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Trong lĩnh vực cơ khí nói chung và phương tiện đường sắt nói riêng, lý thuyết này được ứng dụng để đánh giá độ tin cậy đối với phần tử và hệ thống một cách cụ thể, tùy thuộc vào mục tiêu nghiên cứu. Theo đó, nếu coi toàn bộ hệ thống đường sắt đô thị nói chung và ở Việt Nam nói riêng là một hệ thống kỹ thuật phức hợp, thì có thể phân chia nó thành các phân hệ cấp 1, cấp 2, cấp 3, v.v. Sơ đồ phân chia thành các phân hệ cấp 1 và cấp 2 được thể hiện trên Hình 2.1.



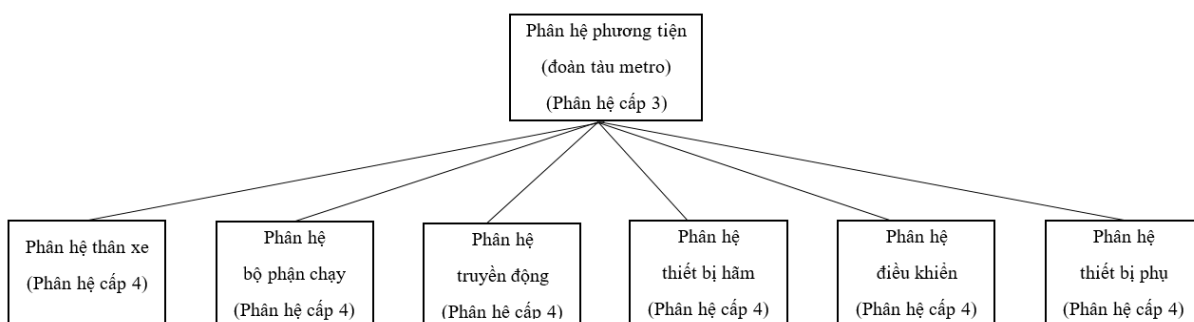
Hình 2.1. Sơ đồ phân chia hệ thống đường sắt đô thị thành các phân hệ cấp 1, cấp 2

Nếu xét riêng một tuyến đường sắt đô thị, nằm giữa hai ga đầu và cuối, thì nó được coi là một hệ thống phức hợp đơn chức năng hoạt động liên tục theo thời gian và rời rạc trong không gian. Khi đó, một cách tương đối, nó có thể được phân chia thành các phân hệ sau đây: 1. Phân hệ cầu, hầm; 2. Phân hệ đường sắt; 3. Phân hệ phương tiện (đoàn tàu metro); 4. Phân hệ cung cấp điện; 5. Phân hệ tín hiệu, thông tin; 6. Phân hệ nhà ga, v.v. Sơ đồ phân chia thành các phân hệ cấp 3 được thể hiện trên Hình 2.2.



Hình 2.2. Sơ đồ phân chia hệ thống đường sắt đô thị thành các phân hệ cấp 3

Việc phân một hệ thống thành các các phân hệ hoàn toàn có tính chất tương đối, nó phụ thuộc vào mục đích nghiên cứu cụ thể do bài toán ban đầu đặt ra. Đối với phương tiện đường sắt đô thị (đoàn tàu metro) có thể được phân chia thành 6 phân hệ như sau: 1. Phân hệ thân xe; 2. Phân hệ bộ phận chạy; 3. Phân hệ truyền động; 4. Phân hệ thiết bị hãm; 5. Phân hệ điều khiển; 6. Phân hệ thiết bị phụ. Sơ đồ phân chia phương tiện đường sắt đô thị (đoàn tàu metro) thành các phân hệ cấp 4 được thể hiện Hình 2.3.



Hình 2.3. Sơ đồ phân chia phương tiện đường sắt đô thị thành các phân hệ cấp 4

2.1.2. Phân chia phương tiện đường sắt đô thị thành các phân hệ, tiểu phân hệ và phần tử

Theo hồ sơ kỹ thuật, phương tiện đường sắt đô thị (đoàn tàu metro) tuyến Cát Linh - Hà Đông bao gồm 16 hệ thống. Để thuận tiện cho quá trình nghiên cứu, đã rút gọn thành thành 6 phân hệ, từ đó phân chia thành 16 tiểu phân hệ và 89 phần tử. Sơ đồ rút gọn thể hiện trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Phân chia đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông thành các phân hệ, các tiểu phân hệ và các phần tử

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử
PH1	Phân hệ thân xe				
		TPH1.1	Thân tàu và trang trí nội thất		
				PT1.1.1	Thân tàu
				PT1.1.2	Trang trí nội thất
		TPH1.2	Thiết bị đường xuyên suốt		

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử
				PT1.2.1	Thiết bị đường xuyên suốt
		TPH1.3	Thiết bị móc tàu và giảm xóc		
				PT1.3.1	Thiết bị móc nổi bán tự động
				PT1.3.2	Thiết bị móc nổi bán vĩnh cửu kèm ống lồng
				PT1.3.3	Thiết bị móc nổi bán vĩnh cửu kèm bộ giảm xóc
				PT1.3.4	Thiết bị móc nổi bán tự động trung gian
		TPH1.4	Hệ thống cửa thoát hiểm khẩn cấp		
				PT1.4.1	Cửa thoát hiểm khẩn cấp
				PT1.4.2	Thang thoát hiểm
		TPH1.5	Hệ thống cửa hông khoang khách		
				PT1.5.1	Hệ thống cửa hông khoang khách
		TPH1.6	Hệ thống cửa hông buồng lái		
				PT1.6.1	Hệ thống cửa hông buồng lái
PH2	Phân hệ bộ phận chạy				
		TPH2.1	Giá chuyển hướng		
				PT2.1.1	Khung giá
				PT2.1.2	Cấp bánh xe
				PT2.1.3	Tổ hợp đầu trục
				PT2.1.4	Hệ lò xo hộp trục
				PT2.1.5	Hệ lò xo trung ương
				PT2.1.6	Thiết bị kéo dẫn
				PT2.1.7	Linh kiện hãm cơ bản
				PT2.1.8	Hộp bánh răng
				PT2.1.9	Khớp nối trục
				PT2.1.10	Ăng ten bộ phát đáp và bộ phận gạt bỏ chướng ngại vật
				PT2.1.11	Đề lắp đặt bộ lấy điện và phụ kiện
				PT2.1.12	Cáp, quang an toàn
				PT2.1.13	Cảm biến tốc độ
PH3	Phân hệ truyền động				
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện		
				PT3.1.1	Tủ điện cao áp loại TPQ86L
				PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H
				PT3.1.3	Hộp điện trở phanh loại TR8074
				PT3.1.4	Bộ điện kháng lọc sóng loại LKDG-2×420A-5mH-A
				PT3.1.5	Tủ cầu chì thanh cái loại TPK79F
				PT3.1.6	Tủ máy cắt nhanh thanh cái TDG3C
				PT3.1.7	Bộ điều khiển lái tàu loại S353CC.028
				PT3.1.8	Bộ gom dòng
				PT3.1.9	Động cơ kéo dẫn không đồng bộ loại YQ-190-21
				PT3.1.10	Thiết bị tiếp đất
PH4	Phân hệ thiết bị hãm				
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí		

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử
				PT4.1.1	Hệ thống cấp khí
				PT4.1.2	Bộ lọc kèm thoát nước 3/4"
				PT4.1.3	Bộ phận điều khiển hãm
				PT4.1.4	Kết cấu mô đun hãm
				PT4.1.5	Van xả gió chống trượt
				PT4.1.6	Bộ cảm biến tốc độ (chống trượt)
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao
				PT4.1.8	Van chênh lệch áp suất
				PT4.1.9	Bộ phận hãm guốc
				PT4.1.10	Khóa van thoát khí kiểu tiếp điểm điện
				PT4.1.11	Đầu cuối bảo vệ hệ thống hãm, ống mềm
				PT4.1.12	Van nhà hãm
				PT4.1.13	Đồng hồ đo áp suất kim đôi
				PT4.1.14	Lò xo không khí
				PT4.1.15	Bộ lọc bụi
PH5	Phân hệ điều khiển				
		TPH5.1	Điều khiển và giám sát		
				PT5.1.1	Bộ hiển thị HMI
				PT5.1.2	Module lập tin hiệu REP
				PT5.1.3	Module điều khiển tàu VCMe
				PT5.1.4	Module ra/vào Digital DXMe1,2
				PT5.1.5	Module vào Digital DIMe1,2
				PT5.1.6	Module ghi nhớ EDRM
				PT5.1.7	Module vào/ra Analog AXMe
				PT5.1.8	Bộ hiển thị MMI
				PT5.1.9	Nút ấn tín hiệu
				PT5.1.10	Module tín hiệu
PH6	Phân hệ thiết bị phụ				
		TPH6.1	Hệ thống nguồn điện phụ trợ		
				PT6.1.1	Nguồn điện phụ trợ (SIV)
				PT6.1.2	Tủ cao áp phụ trợ
				PT6.1.3	Tủ cấp điện mở rộng
				PT6.1.4	Tủ cầu dao tiếp đất
				PT6.1.5	Ắc quy
				PT6.1.6	Bộ nghịch lưu thông gió khẩn cấp
		TPH6.2	Hệ thống điều hòa		
				PT6.2.1	Tổ máy điều hòa toa khách
				PT6.2.2	Bộ thông gió buồng lái
				PT6.2.3	Quạt gió hướng tâm
				PT6.2.4	Thiết bị bảo vệ an toàn
		TPH6.3	Hệ thống điện buồng lái		
				PT6.3.1	Bàn lái tàu
				PT6.3.1	Tủ điều khiển
				PT6.3.1	Tủ tổng hợp
				PT6.3.1	Màn hình bên trái

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử
				PT6.3.1	Màn hình bên phải
				PT6.3.1	Đèn chiếu trước
				PT6.3.1	Bộ gạt nước
	TPH6.4		Hệ thống điện khoang khách		
				PT6.4.1	Chiếu sáng khoang khách
				PT6.4.2	Thiết bị hệ thống phát thanh toa xe
				PT6.4.3	Đèn báo phía ngoài toa xe
				PT6.4.4	Thiết bị đầu nối điều hòa
				PT6.4.5	Tủ điều khiển điện
				PT6.4.6	Tủ điều khiển điều hòa
	TPH6.5		Hệ thống phát thanh đoàn tàu		
				PT6.5.1	Tổ hợp thiết bị hệ thống
				PT6.5.2	Đầu nối điện
	TPH6.6		Thiết bị thông tin vô tuyến		
				PT6.6.1	Giới thiệu MDT-300
				PT6.6.2	Kết cấu cơ bản
				PT6.6.3	Máy chính
				PT6.6.4	Hộp điều khiển
				PT6.6.5	Ăng ten

Tùy theo cấu trúc và chức năng của hệ thống sẽ có các phương pháp đánh giá độ tin cậy khác nhau. Dưới đây trình bày cơ sở đánh giá độ tin cậy của các loại phần tử và hệ thống.

2.1.3. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của phần tử

2.1.3.1. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của phần tử hư hỏng đột ngột

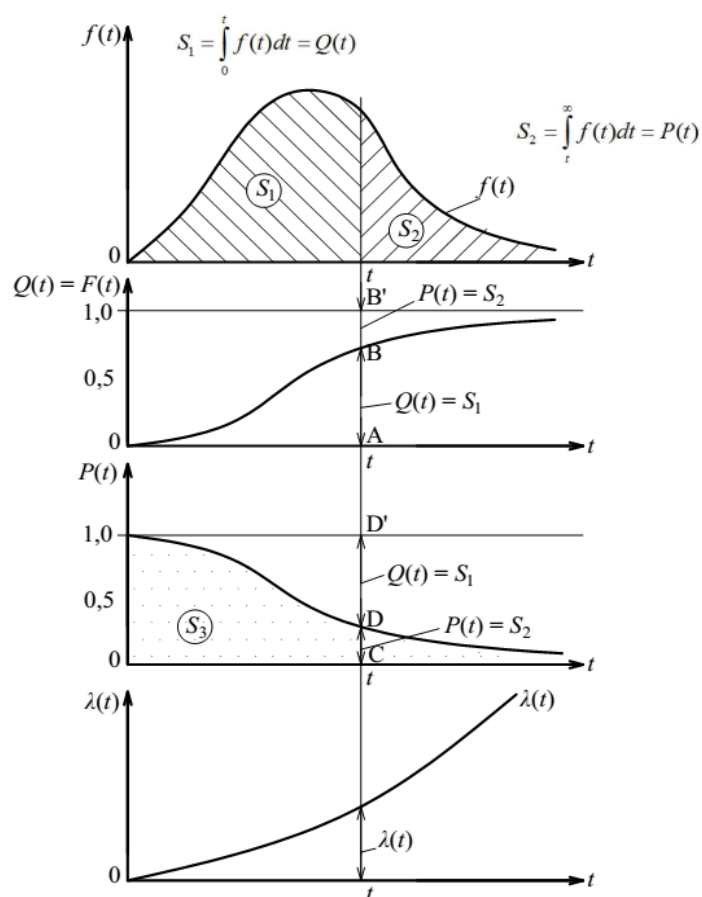
a. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của phần tử hư hỏng đột ngột không phục hồi

Độ tin cậy của phần tử hư hỏng đột ngột không phục hồi được đặc trưng bởi các hàm: $f(t)$ - hàm mật độ phân bố thời gian làm việc tới hỏng; $Q(t)$ - hàm xác suất hỏng; $P(t)$ - hàm xác suất làm việc không hỏng (hàm tin cậy); $\lambda(t)$ - hàm cường độ hỏng.

Đồ thị biểu diễn mối quan hệ tổng quát giữa các hàm nói trên được thể hiện trên Hình 2.4 [6, 25, 95, 98].

Hàm mật độ phân bố xác suất thời gian làm việc đến khi hỏng (tuổi thọ) của phần tử có thể tuân theo nhiều quy luật phân bố khác nhau, các phân bố thường được sử dụng nhất bao gồm: Phân bố chuẩn, Phân bố logarit chuẩn, Phân bố mũ, Phân bố gamma, Phân bố Weibull, Phân bố Rayleigh và Phân bố Maxwell.

Biểu thức các hàm $f(t)$, $Q(t)$, $P(t)$ tương ứng với các quy luật phân bố khác nhau được cho trong Bảng 2.2 [6, 25].



Hình 2.4. Quan hệ tổng quát giữa các hàm $f(t)$, $Q(t)$, $P(t)$ và $\lambda(t)$

Bảng 2.2. Biểu thức các hàm $f(t)$, $Q(t)$, $P(t)$ tương ứng với các quy luật phân bố khác nhau

TT	Thông số	Biểu thức
1	Phân bố chuẩn	
1.1	Hàm mật độ phân bố xác suất	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right]; -\infty < t < \infty$
1.2	Hàm phân bố xác suất (Hàm xác suất hỏng)	$Q(t) = F(t) = \Phi\left(\frac{t-a}{\sigma}\right)$
1.3	Hàm xác suất làm việc không hỏng (Hàm tin cậy)	$P(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-a}{\sigma}\right)$
2	Phân bố logarit chuẩn	
2.1	Hàm mật độ phân bố	$f(t) = \frac{1}{x\sigma_{\ln t}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \ln t_0)^2}{2\sigma_{\ln t}^2}\right],$ $t > 0$
2.2	Hàm phân bố xác suất	$Q(t) = F(t) = \Phi\left(\frac{\ln t - \ln t_0}{\sigma_{\ln t}}\right)$
2.3	Hàm tin cậy	$P(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln t - \ln t_0}{\sigma_{\ln t}}\right)$

TT	Thông số	Biểu thức
3	Phân bố mũ	
3.1	Hàm mật độ phân bố	$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), t \geq 0$
3.2	Hàm phân bố xác suất	$Q(t) = F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$
3.3	Hàm tin cậy	$P(t) = \exp(-\lambda t)$
4	Phân bố gamma	
4.1	Hàm mật độ phân bố	$f(t) = \frac{\lambda^\eta}{\Gamma(\eta)} x^{\eta-1} e^{-\lambda t}$, với $x \geq 0; \lambda > 0;$ $\eta > 0,$
4.2	Hàm phân bố xác suất	$Q(t) = F(t) = \int_0^t \frac{\lambda^\eta}{\Gamma(\eta)} t^{\eta-1} e^{-\lambda t} dt$
4.3	Hàm tin cậy	$P(t) = 1 - \int_0^t \frac{\lambda^\eta}{\Gamma(\eta)} x^{\eta-1} e^{-\lambda t} dt$
5	Phân bố Weibull	
5.1	Hàm mật độ phân bố	$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} (t - t_{\min})^{\alpha-1} \exp\left[-\frac{(t - t_{\min})^\alpha}{\beta}\right]$ $t_{\min} \geq 0; x > t_{\min}; \alpha > 0; \beta > 0$
5.2	Hàm phân bố xác suất	$Q(t) = F(t) = 1 - \exp\left[-\frac{(t - t_{\min})^\alpha}{\beta}\right]$
5.3	Hàm tin cậy	$P(t) = \exp\left[-\frac{(t - t_{\min})^\alpha}{\beta}\right]$
6	Phân bố Rayleigh	
6.1	Hàm mật độ phân bố	$f(t) = \frac{t}{\sigma_r^2} \exp\left[-\frac{t^2}{2\sigma_r^2}\right], t > 0; \sigma_r > 0$
6.2	Hàm phân bố xác suất	$Q(t) = F(t) = 1 - \exp\left[-\frac{t^2}{2\sigma_r^2}\right]; t \geq 0$
6.3	Hàm tin cậy	$P(t) = \exp\left[-\frac{t^2}{2\sigma_r^2}\right]$
7	Phân bố Maxwell	
7.1	Hàm mật độ phân bố	$f(t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{t^2}{\sigma_c^3} \exp\left[-\frac{t^2}{2\sigma_c^2}\right], t > 0$
7.2	Hàm phân bố xác suất	$Q(t) = F(t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{\sigma_c^3} \int_0^t t^2 \exp\left[-\frac{t^2}{2\sigma_c^2}\right] dt$
7.3	Hàm tin cậy	$P(t) = 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{\sigma_c^3} \int_0^t t^2 \exp\left[-\frac{t^2}{2\sigma_c^2}\right] dt$

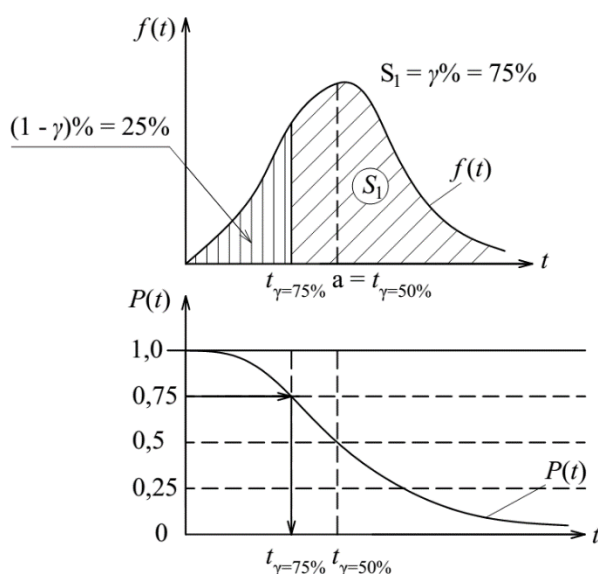
Thời hạn làm việc gamma phần trăm

Thời hạn làm việc không hỏng (tuổi thọ, tuổi bền) gamma phần trăm là khoảng thời gian làm việc mà ở đó phần tử chưa bị hỏng với một xác suất cho trước là gamma

(γ), tính bằng phần trăm (%), được ký hiệu là $t_{\gamma\%}$ và được xác định từ biểu thức [6, 25, 91, 94].

$$t_{\gamma\%} = \int_{t_{\gamma}}^{\infty} f(t) = \gamma\% \quad (2.1)$$

Chú ý rằng $\gamma = 1 - F(t_{\gamma})$, trong đó t_{γ} là phân vị cấp γ của hàm phân bố tuổi thọ. Thời hạn làm việc trung bình đến khi hỏng chính là tuổi thọ gamma 50%. Sơ đồ xác định thời hạn làm việc (tuổi thọ) gamma phần trăm thể hiện trên Hình 2.5 [6, 25, 91, 94].



Hình 2.5. Sơ đồ xác định thời hạn làm việc (tuổi thọ) gamma phần trăm

b. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của phần tử hư hỏng đột ngột có phục hồi

Sơ đồ biểu diễn quá trình làm việc và quá trình phục hồi của các phần tử được thể hiện trên Hình 2.6 [6, 25, 91, 94].

Các khoảng thời gian làm việc của các phần tử tương ứng là:

Phần tử thứ 1: $t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1j}, \dots$

Phần tử thứ 2: $t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2j}, \dots$

.....

Phần tử thứ i : $t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ij}, \dots$

.....

Phần tử thứ n : $t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}, \dots$

Tương tự như vậy các khoảng thời gian phục hồi của các phần tử tương ứng là:

Phần tử thứ 1: $\tau_{11}, \tau_{12}, \dots, \tau_{1j}, \dots$

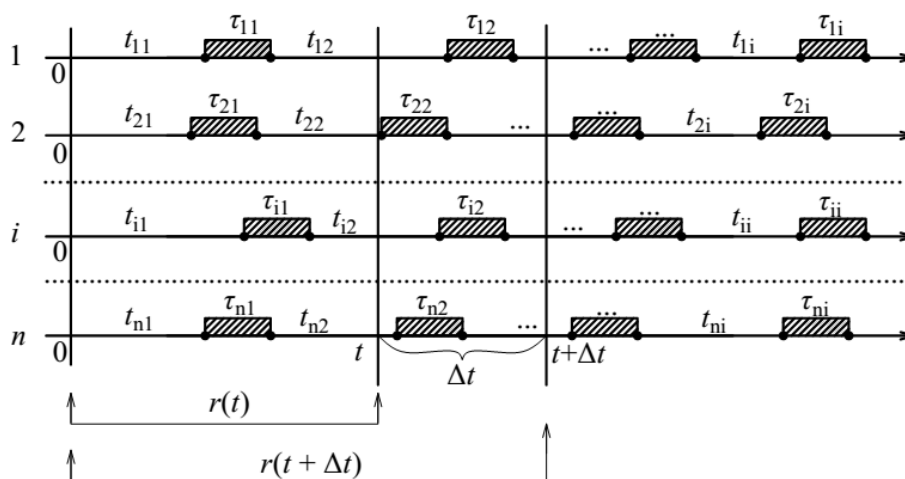
Phần tử thứ 2: $\tau_{21}, \tau_{22}, \dots, \tau_{2j}, \dots$

.....

Phần tử thứ i : $\tau_{i1}, \tau_{i2}, \dots, \tau_{ij}, \dots$

.....

Phần tử thứ n : $\tau_{n1}, \tau_{n2}, \dots, \tau_{nj}, \dots$



Hình 2.6. Sơ đồ các khoảng thời gian làm việc và khoảng thời gian phục hồi trong đó:

$r(t)$ - số lượng phần tử bị hỏng trước thời điểm t ;

$r(t + \Delta t)$ - số lượng phần tử bị hỏng trước thời điểm $(t + \Delta t)$.

Các tham số độ tin cậy của phần tử hư hỏng đột ngột có phục hồi tương ứng với quy luật phân bố mũ thể hiện trong Bảng 2.3 [6, 25, 91, 94].

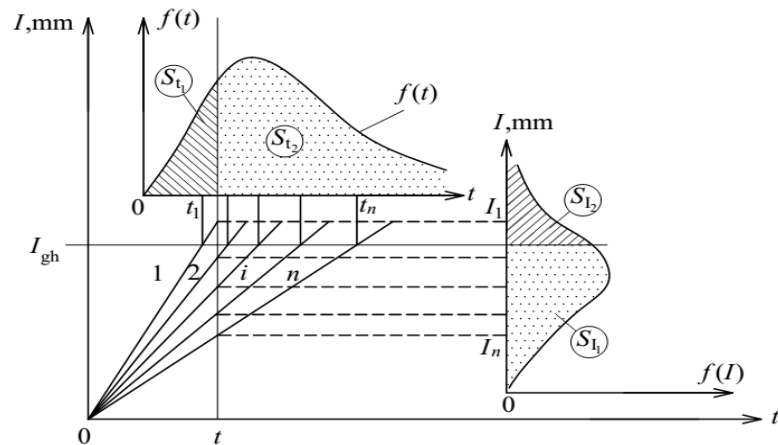
Bảng 2.3. Các tham số độ tin cậy của phần tử hư hỏng đột ngột có phục hồi tương ứng với quy luật phân bố mũ

TT	Thông số	Biểu thức
1	Hàm mật độ phân bố thời gian làm việc giữa các lần hỏng	$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$
2	Kỳ vọng toán học thời gian làm việc giữa các lần hỏng	a_t
3	Phương sai thời gian làm việc giữa các lần hỏng	σ_t^2
4	Độ lệch chuẩn thời gian làm việc giữa các lần hỏng	σ_t
5	Hệ số biến động thời gian làm việc giữa các lần hỏng	ν_t
6	Cường độ hỏng	$\lambda = \frac{1}{a(t)}$
7	Hàm mật độ phân bố thời gian phục hồi	$f(\tau) = \lambda \exp(-\lambda \tau)$
8	Kỳ vọng toán học thời gian phục hồi	a_τ

TT	Thông số	Biểu thức
9	Phương sai thời gian phục hồi	σ_{τ}^2
10	Độ lệch chuẩn thời gian phục hồi	σ_{τ}
11	Hệ số biến động thời gian phục hồi	ν_{τ}
12	Cường độ phục hồi	$\mu = \frac{1}{a(\tau)}$
13	Hệ số sẵn sàng	$S = \frac{a(t)}{a(t) + a(\tau)}$
14	Hệ số không sẵn sàng	$K = 1 - S$
15	Hàm sẵn sàng	$S(t) = S + K \exp[-(\lambda + \mu)t]$
16	Hàm không sẵn sàng	$K(t) = 1 - S(t)$

2.1.3.2. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của phần tử hư hỏng tiệm tiến (dần dần, do hao mòn)

Quá trình hao mòn ngẫu nhiên được thể hiện trên Hình 2.7 [6, 25, 91, 94].



Hình 2.7. Quá trình hao mòn ngẫu nhiên và các hàm mật độ phân bố $f(t)$, $f(I)$

Chú thích:

n - số phần tử cùng kiểu loại, làm việc ở chế độ ma sát trong cùng một điều kiện như nhau.

$t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n$ - thời hạn làm việc của các phần tử khi độ mòn của chúng đã đạt tới giá trị giới hạn I_{gh} .

$f(t)$ - hàm mật độ phân bố thời hạn làm việc của các phần tử khi độ mòn của chúng đã đạt tới giá trị giới hạn I_{gh} .

a. Đánh giá độ tin cậy theo thời gian hỏng do mòn

Xác suất hỏng:

$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt = S_{t_1} \quad (2.2)$$

Xác suất làm việc không hỏng (hàm tin cậy):

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = S_{t_2} \quad (2.3)$$

Sau khi đã xác định được quy luật phân bố thời hạn hỏng mà cụ thể là hàm $f(t)$, hoàn toàn xác định được các chỉ tiêu độ tin cậy của cặp chi tiết tương tự như phân tử hư hỏng đột ngột không phục hồi.

b. Đánh giá độ tin cậy theo cường độ hao mòn

$I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n$ - độ mòn của các phần tử tại thời điểm t ;

$c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_n$ - cường độ hao mòn của các phần tử tại thời điểm t , với $c_i = \frac{I_i}{t}$;

$f(I)$ - hàm mật độ phân bố độ mòn tại thời điểm t của các phần tử.

Xác suất làm việc không hỏng (hàm tin cậy):

$$P(t) = \int_0^{I_{gh}} f(I)dI = S_{I_1} \quad (2.4)$$

Xác suất hỏng:

$$Q(t) = \int_{I_{gh}}^{\infty} f(I)dI = S_{I_2} \quad (2.5)$$

Hàm tin cậy $P(t)$ và hàm xác suất hỏng $Q(t)$ được xác định như sau [6, 25, 91, 94].

$$P(t) = \Phi \left\{ \frac{I_{gh} - E(I_r) - E(c)t}{\left[D(I_r) + D(c)t^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (2.6)$$

$$Q(t) = \Phi \left\{ \frac{E(I_r) - E(c)t - I_{gh}}{\left[D(I_r) + D(c)t^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (2.7)$$

trong đó:

$\Phi(*)$ - hàm phân bố chuẩn chuẩn hoá được lấy giá trị bằng cách tra bảng;

$E(I_r)$ - kỳ vọng toán học độ mòn sau khi chạy rà thứ cấp;

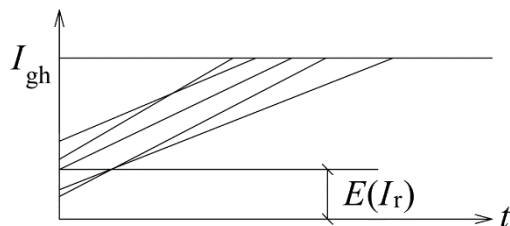
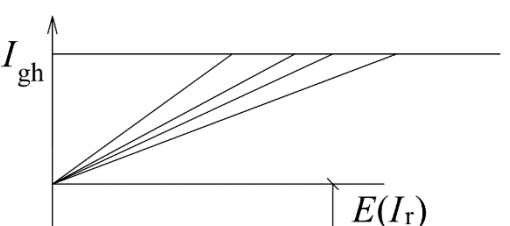
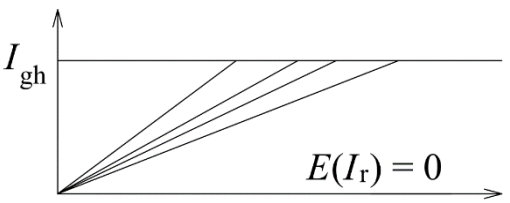
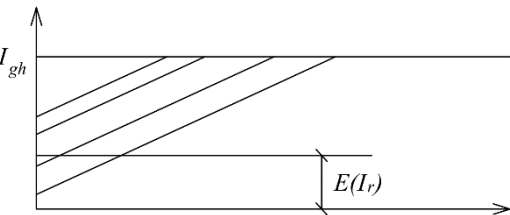
$D(I_r)$ - phương sai độ mòn sau khi chạy rà thứ cấp;

$E(c)$ - kỳ vọng toán học cường độ hao mòn tại thời điểm t ;

$D(c)$ - phương sai độ mòn tại thời điểm t .

Các biểu thức độ tin cậy của cặp chi tiết ứng với các dạng biểu hiện mòn khác nhau được thể hiện trong Bảng 2.4. Trong thực tế thường gặp các mô hình 1 và 3, còn các mô hình 2 và 4 là các trường hợp đặc biệt [6, 25, 91, 94].

Bảng 2.4. Xác suất hỏng của các dạng biểu hiện mòn khác nhau

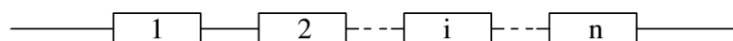
Mô hình	Biểu đồ của các quy luật hao mòn	Các thông số về độ tin cậy
1		$E[I(t)] = E(I_r) + E(c)t$ $D[I(t)] = D(I_r) + D(c)t^2$ $Q(t) = \Phi \left\{ \frac{E(I_r) + E(c)t - I_{gh}}{\sqrt{D(I_r) + D(c)t^2}} \right\}$ $P(t) = \Phi \left\{ \frac{I_{gh} - E(I_r) - E(c)t}{\sqrt{D(I_r) + D(c)t^2}} \right\}$
2		$E[I(t)] = E(I_r) + E(c)t;$ $E(I_r) = I_r = \text{const}$ $D[I(t)] = D(c)t^2; D(I_r) = 0$ $Q(t) = \Phi \left\{ \frac{E(c)t - I_{gh}}{\sqrt{D(c)t^2}} \right\}$ $P(t) = \Phi \left\{ \frac{I_{gh} - E(c)t}{\sqrt{D(c)t^2}} \right\}$
3		$E[I(t)] = E(c)t; E(I_r) = 0$ $D[I(t)] = D(c)t^2; D(I_r) = 0$ $Q(t) = \Phi \left\{ \frac{E(c)t - I_{gh}}{\sqrt{D(c)t^2}} \right\}$ $P(t) = \Phi \left\{ \frac{I_{gh} - E(c)t}{\sqrt{D(c)t^2}} \right\}$
4		$E[I(t)] = E(I_r) + ct;$ $E(c) = c = \text{const}$ $D[I(t)] = D(I_r); D(c) = 0$ $Q(t) = \Phi \left\{ \frac{E(I_r) + ct - I_{gh}}{\sqrt{D(I_r)}} \right\}$ $P(t) = \Phi \left\{ \frac{I_{gh} - E(I_r)}{\sqrt{D(I_r)}} \right\}$

2.1.4. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của hệ thống

2.1.4.1. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của hệ thống các phần tử liên kết nối tiếp

a. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của hệ thống các phần tử liên kết nối tiếp không phục hồi

Sơ đồ hệ thống các phần tử liên kết nối tiếp thể hiện trên Hình 2.8. Các chỉ tiêu độ tin cậy của hệ các phần tử liên kết nối tiếp không phục hồi thể hiện trong Bảng 2.5 [6, 23].



Hình 2.8. Sơ đồ hệ thống các phần tử liên kết nối tiếp

Bảng 2.5. Các chỉ tiêu độ tin cậy của hệ các phần tử liên kết nối tiếp không phục hồi

TT	Thông số	Biểu thức
1	Phân bố chuẩn	
1.1	Hàm mật độ phân bố tuổi thọ của hệ	$f_s(t) = \frac{n}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{\left[1 - \Phi\left(\frac{t-a}{\sigma}\right)\right]^{n-1}}{\Phi^n\left(\frac{a}{\sigma}\right)} \exp\left[-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right]$ a, σ - các tham số phân bố tuổi thọ (kỳ vọng toán học và sai lệch bình phương trung bình) của hệ; $\Phi(*)$ - hàm phân bố chuẩn chuẩn hóa; n - số phần tử của hệ.
1.2	Hàm tin cậy của hệ	$P_s(t) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{1 - \Phi(t - a_i)}{\Phi\left(\frac{a_i}{\sigma_i}\right)} \right]$ a_i, σ_i - các tham số phân bố tuổi thọ (kỳ vọng toán học và sai lệch bình phương trung bình) của phần tử thứ i; $\Phi(*)$ - hàm phân bố chuẩn chuẩn hóa; n - số phần tử của hệ.
1.3	Kỳ vọng thời gian làm việc không hỏng của hệ	$E(T_s) = \sigma \int_{-\infty}^{a/\sigma} \left[\frac{\Phi\left(\frac{t-a}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{a}{\sigma}\right)} \right]^n dz; \quad z = \frac{t-a}{\sigma}$
2	Phân bố mũ	
2.1	Hàm tin cậy của hệ	$P_s(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$ $P_i(t)$ - hàm tin cậy của phần tử thứ i; n - số phần tử của hệ.

TT	Thông số	Biểu thức
2.2	Hàm xác suất hỏng của hệ	$Q_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - Q_i(t)]$ $Q_i(t) - \text{xác suất hỏng của phần tử thứ } i$
2.3	Hàm cường độ hỏng của hệ	$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$ $\lambda_i(t) - \text{cường độ hỏng của phần tử thứ } i$
2.4	Kỳ vọng tuổi thọ của hệ	$E(T_s) = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E(T_i)}}$ $E(T_i) - \text{kỳ vọng toán học của phần tử thứ } i$
2.5	Phương sai tuổi thọ của hệ	$D(T_s) = \sigma^2(T_s) = \frac{1}{\lambda_s^2}$

b. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của hệ thống các phần tử liên kết nối tiếp có phục hồi

Các thông số độ tin cậy của hệ các phần tử liên kết nối tiếp có phục hồi được tập hợp trong Bảng 2.6 [6, 25, 91, 94].

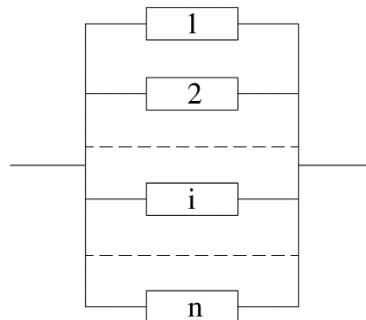
Bảng 2.6. Các thông số độ tin cậy của hệ các phần tử liên kết nối tiếp có phục hồi

TT	Thông số	Biểu thức
1	Hàm sẵn sàng (hàm tin cậy) (Xác suất để ở thời điểm t hệ đang nằm ở trạng thái làm việc)	Ở thời điểm ban đầu, hệ đang ở trạng thái sẵn sàng làm việc
		$S_s(t) = 1 - K_s(t) = \frac{\mu_s}{\lambda_s + \mu_s} \left\{ 1 + \frac{\lambda_s}{\mu_s} \exp[-(\lambda_s + \mu_s)t] \right\}$ $\lambda_s, \mu_s - \text{cường độ hỏng và cường độ phục hồi của hệ.}$
		Ở thời điểm ban đầu, hệ đang ở trạng thái sửa chữa
		$S_s(t) = \frac{\mu_s}{\lambda_s + \mu_s} \left\{ 1 - \exp[-(\lambda_s + \mu_s)t] \right\}$
2	Hàm không sẵn sàng (hàm xác suất hỏng) (Xác suất để ở thời điểm t hệ nằm ở trạng thái đang phục hồi hay trạng thái không sẵn sàng làm việc)	Ở thời điểm ban đầu, hệ đang ở trạng thái sẵn sàng làm việc
		$K_s(t) = \frac{\lambda_s}{\lambda_s + \mu_s} \left\{ 1 - \exp[-(\lambda_s + \mu_s)t] \right\}$
		Ở thời điểm ban đầu, hệ đang ở trạng thái sửa chữa
		$K_s(t) = 1 - S_s(t) = \frac{\lambda_s}{\lambda_s + \mu_s} \left\{ 1 + \frac{\mu_s}{\lambda_s} \exp[-(\lambda_s + \mu_s)t] \right\}$
3	Hệ số không sẵn sàng của hệ	$K_s = \frac{\lambda_s}{\lambda_s + \mu_s}$
4	Hệ số sẵn sàng của hệ	$S_s = \frac{\mu_s}{\lambda_s + \mu_s}$

TT	Thông số	Biểu thức
5	Cường độ hỏng của hệ	$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ $\lambda_i - \text{cường độ hỏng của phần tử.}$
6	Cường độ phục hồi của hệ	$\mu_s = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \gamma_i}, \quad \gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ $\mu_i - \text{cường độ phục hồi của phần tử.}$
7	Kỳ vọng thời gian làm việc không hỏng của hệ	$E(T_s) = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$
8	Kỳ vọng thời gian phục hồi của hệ	$E(\tau_s) = \frac{1}{\mu_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$

2.1.4.2. Cơ sở đánh giá độ tin cậy của hệ thống các phần tử liên kết song song không phục hồi

Sơ đồ hệ thống các phần tử liên kết song song thể hiện trên Hình 2.9.



Hình 2.9. Sơ đồ hệ thống các phần tử liên kết song song

Các thông số độ tin cậy của hệ liên kết song song không phục hồi thể hiện trong Bảng 2.7 [6, 25, 91, 94].

Bảng 2.7. Các thông số độ tin cậy của hệ liên kết song song không phục hồi

TT	Phân bố	Hàm tin cậy (Xác suất làm việc không hỏng)
1	Phân bố mũ	$P_s(t) = 1 - [1 - \exp(-\lambda_s t)]^n$ Khi các phần tử cùng loại có cường độ hỏng giống nhau $\lambda_i = \lambda$
2	Phân bố Weibull	$P_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta_i} \right)^{\alpha_i} \right] \right\}$ α_i, β_i - các tham số của phân bố Weibull đối với từng phần tử; n - số phần tử của hệ.

TT	Phân bố	Hàm tin cậy (Xác suất làm việc không hỏng)
3	Phân bố chuẩn	$P_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n \frac{\Phi\left(\frac{t-a_i}{\sigma_i}\right) + \Phi\left(\frac{a_i}{\sigma_i}\right) - 1}{\Phi\left(\frac{a_i}{\sigma_i}\right)}$ a_i - kỳ vọng toán học tuổi bền (tuổi thọ) của phần tử thứ i; σ_i - sai lệch bình phương trung bình tuổi bền (tuổi thọ) của phần tử thứ i; $\Phi(*)$ - hàm phân bố chuẩn chuẩn hóa; n - số phần tử của hệ.

2.1.5. Cơ sở đánh giá xác suất chuyển tiếp trạng thái của hệ thống kỹ thuật phức hợp

2.1.5.1. Thiết lập mô hình tổng quát trạng thái đầy đủ của hệ thống

Mô hình tổng quát của một hệ thống có n phần tử hay phân hệ với N trạng thái đầy đủ được thể hiện trên Hình 2.10 [89-90, 92-94, 98-100].

Xét một phần tử hay phân hệ thứ i , với $i = 1 \div n$

$\lambda_{1 \rightarrow (k-1)}^{PH(i)} = \lambda_{1 \rightarrow (k-1)}^{(i)}$ - cường độ hỏng của phân hệ thứ i chuyển tiếp từ trạng thái 1

(LV) sang trạng thái $(k-1)$ (H_{mp});

$\lambda_{(k-1) \rightarrow k}^{PH(i)} = \lambda_{(k-1) \rightarrow k}^{(i)}$ - cường độ hỏng của phân hệ thứ i chuyển tiếp từ trạng thái $(k-$

1) (H_{mp}) sang trạng thái k (H_{ht});

$\lambda_{1 \rightarrow k}^{PH(i)} = \lambda_{1 \rightarrow k}^{(i)}$ - cường độ hỏng của phân hệ thứ i chuyển tiếp từ trạng thái 1 (LV)

sang trạng thái k (H_{ht});

$\mu_{k \rightarrow (k-1)}^{PH(i)} = \mu_{k \rightarrow (k-1)}^{(i)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ thứ i chuyển tiếp từ trạng thái

k (H_{ht}) sang trạng thái $(k-1)$ (H_{mp});

$\mu_{(k-1) \rightarrow 1}^{PH(i)} = \mu_{(k-1) \rightarrow 1}^{(i)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ thứ i chuyển tiếp từ trạng thái

$(k-1)$ (H_{mp}) sang trạng thái 1 (LV);

$\mu_{k \rightarrow 1}^{PH(i)} = \mu_{k \rightarrow 1}^{(i)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ thứ i chuyển tiếp từ trạng thái k

(H_{ht}) sang trạng thái 1 (LV).

trong đó:

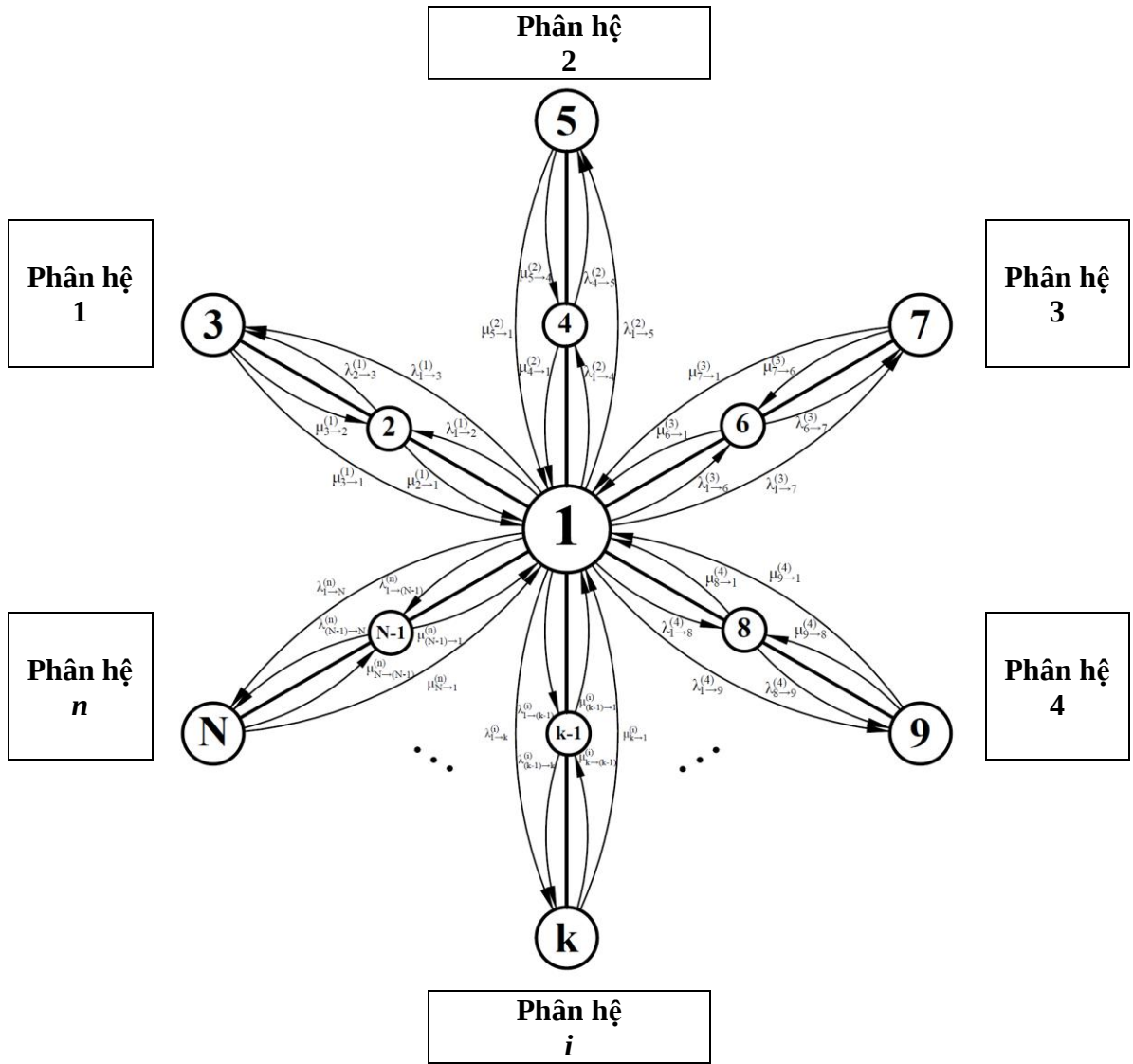
Số lượng phần tử hoặc phân hệ: $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots, n$

Số lượng trạng thái $N = 1, 2, 3, \dots, (k-1), k, \dots, (N-1), N$

Trạng thái làm việc (LV), trạng thái 1: trạng thái hoàn hảo, hoàn toàn tin cậy

Trạng thái hỏng một phần (H_{mp}): mang số hiệu chẵn $N_j = 2, 4, 6, \dots, N-1$ chẵn

Trạng thái hỏng hoàn toàn (H_{ht}): mang số hiệu lẻ $N_i = 3, 5, 7, \dots, N$ lẻ



Hình 2.10. Mô hình tổng quát cường độ chuyển tiếp trạng thái đầy đủ của hệ thống có n phân hệ hoặc phần tử với N trạng thái

Ma trận tổng quát cường độ chuyển tiếp trạng thái đầy đủ của hệ thống có n phân hệ hoặc phần tử với N trạng thái được thể hiện trong Bảng 2.8.

Bảng 2.8. Ma trận tổng quát cường độ chuyển tiếp trạng thái đầy đủ của hệ thống có n phân hệ hoặc phân tử với N trạng thái

$-\sum_{\substack{1 \leq i \leq N \\ 2 \leq j \leq N}} \lambda_{i \rightarrow j}$	$\lambda_{1 \rightarrow 2}^{(1)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 3}^{(1)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 4}^{(2)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 5}^{(2)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 6}^{(3)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 7}^{(3)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 8}^{(4)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 9}^{(4)}$	...	$\lambda_{1 \rightarrow (k-1)}^{(i)}$	$\lambda_{1 \rightarrow k}^{(i)}$	...	$\lambda_{1 \rightarrow (N-1)}^{(n)}$	$\lambda_{1 \rightarrow N}^{(n)}$
$\mu_{2 \rightarrow 1}^{(1)}$	$-(\mu_{2 \rightarrow 1}^{(1)} + \lambda_{2 \rightarrow 3}^{(1)})$	$\lambda_{2 \rightarrow 3}^{(1)}$	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	0	0
$\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)}$	0	$-(\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)} + \mu_{3 \rightarrow 2}^{(1)})$	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	0	0
$\mu_{4 \rightarrow 1}^{(2)}$	0	0	$-(\mu_{4 \rightarrow 1}^{(2)} + \lambda_{4 \rightarrow 5}^{(2)})$	$\lambda_{4 \rightarrow 5}^{(2)}$	0	0	0	0	...	0	0	...	0	0
$\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)}$	0	0	0	$-(\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)} + \mu_{5 \rightarrow 4}^{(2)})$	0	0	0	0	...	0	0	...	0	0
$\mu_{6 \rightarrow 1}^{(3)}$	0	0	0	0	$-(\mu_{6 \rightarrow 1}^{(3)} + \lambda_{6 \rightarrow 7}^{(3)})$	$\lambda_{6 \rightarrow 7}^{(3)}$	0	0	...	0	0	...	0	0
$\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)}$	0	0	0	0	0	$-(\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)} + \mu_{7 \rightarrow 6}^{(3)})$	0	0	...	0	0	...	0	0
$\mu_{8 \rightarrow 1}^{(4)}$	0	0	0	0	0	0	$-(\mu_{8 \rightarrow 1}^{(4)} + \lambda_{8 \rightarrow 9}^{(4)})$	$\lambda_{8 \rightarrow 9}^{(4)}$	...	0	0	...	0	0
$\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)}$	0	0	0	0	0	0	0	$-(\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)} + \mu_{9 \rightarrow 8}^{(4)})$	...	0	0	...	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\mu_{(k-1) \rightarrow 1}^{(i)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	...	$-(\mu_{(k-1) \rightarrow 1}^{(i)} + \lambda_{(k-1) \rightarrow k}^{(i)})$	$\lambda_{(k-1) \rightarrow k}^{(i)}$	...	0	0
$\mu_{k \rightarrow 1}^{(i)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	$-(\mu_{k \rightarrow 1}^{(i)} + \mu_{k \rightarrow (k-1)}^{(i)})$	...	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\mu_{(N-1) \rightarrow 1}^{(n)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	$-(\mu_{(N-1) \rightarrow 1}^{(n)} + \lambda_{(N-1) \rightarrow N}^{(n)})$	$\lambda_{(N-1) \rightarrow N}^{(n)}$
$\mu_{N \rightarrow 1}^{(n)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	0	$-(\mu_{N \rightarrow 1}^{(n)} + \mu_{N \rightarrow (N-1)}^{(n)})$

Hệ phương trình tổng quát xác suất chuyển tiếp trạng thái đầy đủ của hệ thống có n phân hệ hoặc phân tử với N trạng thái được thể hiện trong công thức (2.8) [89-90, 92-94, 98-100].

$$\left. \begin{aligned}
& - \left(\sum_{\substack{1 \leq i \leq N \\ 2 \leq j \leq N}} \lambda_{i \rightarrow j} \right) P_1 + \mu_{2 \rightarrow 1}^{(1)} P_2^{(1)} + \mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)} P_3^{(1)} + \mu_{4 \rightarrow 1}^{(2)} P_4^{(2)} + \mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)} P_5^{(2)} + \mu_{6 \rightarrow 1}^{(3)} P_6^{(3)} + \\
& + \mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)} P_7^{(3)} + \mu_{8 \rightarrow 1}^{(4)} P_8^{(4)} + \mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)} P_9^{(4)} + \dots + \mu_{(k-1) \rightarrow 1}^{(i)} P_{k-1}^{(i)} + \mu_{k \rightarrow 1}^{(i)} P_k^{(i)} + \dots + \mu_{(N-1) \rightarrow 1}^{(n)} P_{N-1}^{(n)} + \mu_{N \rightarrow 1}^{(n)} P_N^{(n)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 2}^{(1)} P_1 - (\mu_{2 \rightarrow 1}^{(1)} + \lambda_{2 \rightarrow 3}^{(1)}) P_2^{(1)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 3}^{(1)} P_1 + \lambda_{2 \rightarrow 3}^{(1)} P_2^{(1)} - (\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)} + \mu_{3 \rightarrow 2}^{(1)}) P_3^{(1)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 4}^{(2)} P_1 - (\mu_{4 \rightarrow 1}^{(2)} + \lambda_{4 \rightarrow 5}^{(2)}) P_4^{(2)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 5}^{(2)} P_1 + \lambda_{4 \rightarrow 5}^{(2)} P_4^{(2)} - (\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)} + \mu_{5 \rightarrow 4}^{(2)}) P_5^{(2)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 6}^{(3)} P_1 - (\mu_{6 \rightarrow 1}^{(3)} + \lambda_{6 \rightarrow 7}^{(3)}) P_6^{(3)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 7}^{(3)} P_1 + \lambda_{6 \rightarrow 7}^{(3)} P_6^{(3)} - (\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)} + \mu_{7 \rightarrow 6}^{(3)}) P_7^{(3)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 8}^{(4)} P_1 - (\mu_{8 \rightarrow 1}^{(4)} + \lambda_{8 \rightarrow 9}^{(4)}) P_8^{(4)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 9}^{(4)} P_1 + \lambda_{8 \rightarrow 9}^{(4)} P_8^{(4)} - (\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)} + \mu_{9 \rightarrow 8}^{(4)}) P_9^{(4)} = 0 \\
& \dots \\
& \lambda_{1 \rightarrow (k-1)}^{(i)} P_1 - (\mu_{(k-1) \rightarrow 1}^{(i)} + \lambda_{(k-1) \rightarrow k}^{(i)}) P_{k-1}^{(i)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow k}^{(i)} P_1 + \lambda_{(k-1) \rightarrow k}^{(i)} P_{k-1}^{(i)} - (\mu_{k \rightarrow 1}^{(i)} + \mu_{k \rightarrow (k-1)}^{(i)}) P_k^{(i)} = 0 \\
& \dots \\
& \lambda_{1 \rightarrow (N-1)}^{(n)} P_1 - (\mu_{(N-1) \rightarrow 1}^{(n)} + \lambda_{(N-1) \rightarrow N}^{(n)}) P_{N-1}^{(n)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow N}^{(n)} P_1 + \lambda_{(N-1) \rightarrow N}^{(n)} P_{N-1}^{(n)} - (\mu_{N \rightarrow 1}^{(n)} + \mu_{N \rightarrow (N-1)}^{(n)}) P_N^{(n)} = 0
\end{aligned} \right\} (2.8)$$

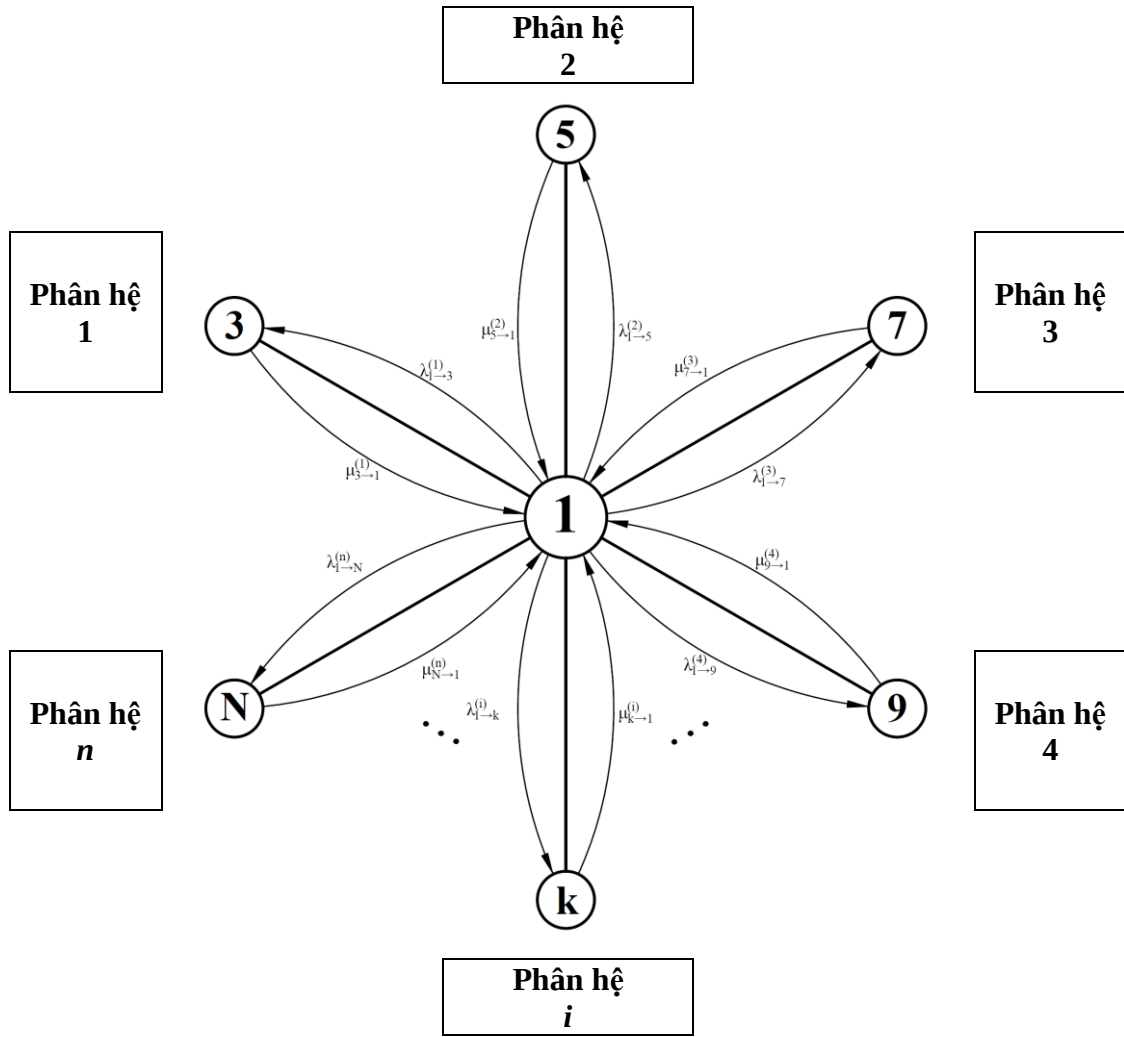
2.1.5.2. Thiết lập mô hình tổng quát trạng thái giới hạn của hệ thống

Nếu không xét đến trạng thái hỏng một phần H_{mp} , tức là các trạng thái thứ 2, 4, 6,..., 8,..., $N-1$ (mang số hiệu chẵn), thì mô hình này được gọi là mô hình trạng thái giới hạn (Hình 2.11).

Ma trận tổng quát cường độ chuyển tiếp trạng thái giới hạn của hệ thống có n phân hệ hoặc phần tử với N trạng thái được thể hiện trong Bảng 2.9.

Bảng 2.9. Ma trận tổng quát cường độ chuyển tiếp trạng thái giới hạn của hệ thống có n phân hệ hoặc phần tử với N trạng thái

$-\sum_{j=3,5,\dots,N} \lambda_{1 \rightarrow j}$	$\lambda_{1 \rightarrow 3}^{(1)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 5}^{(2)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 7}^{(3)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 9}^{(4)}$	...	$\lambda_{1 \rightarrow k}^{(i)}$	...	$\lambda_{1 \rightarrow N}^{(n)}$
$\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)}$	$-\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)}$	0	0	0	...	0	...	0
$\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)}$	0	$-\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)}$	0	0	...	0	...	0
$\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)}$	0	0	$-\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)}$	0	...	0	...	0
$\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)}$	0	0	0	$-\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)}$	...	0	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\mu_{k \rightarrow 1}^{(i)}$	0	0	0	0	...	$-\mu_{k \rightarrow 1}^{(i)}$	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\mu_{N \rightarrow 1}^{(n)}$	0	0	0	0	...	0	...	$-\mu_{N \rightarrow 1}^{(n)}$



Hình 2.11. Mô hình tổng quát cường độ chuyển tiếp trạng thái giới hạn của hệ thống có n phân hệ hoặc phần tử với N trạng thái

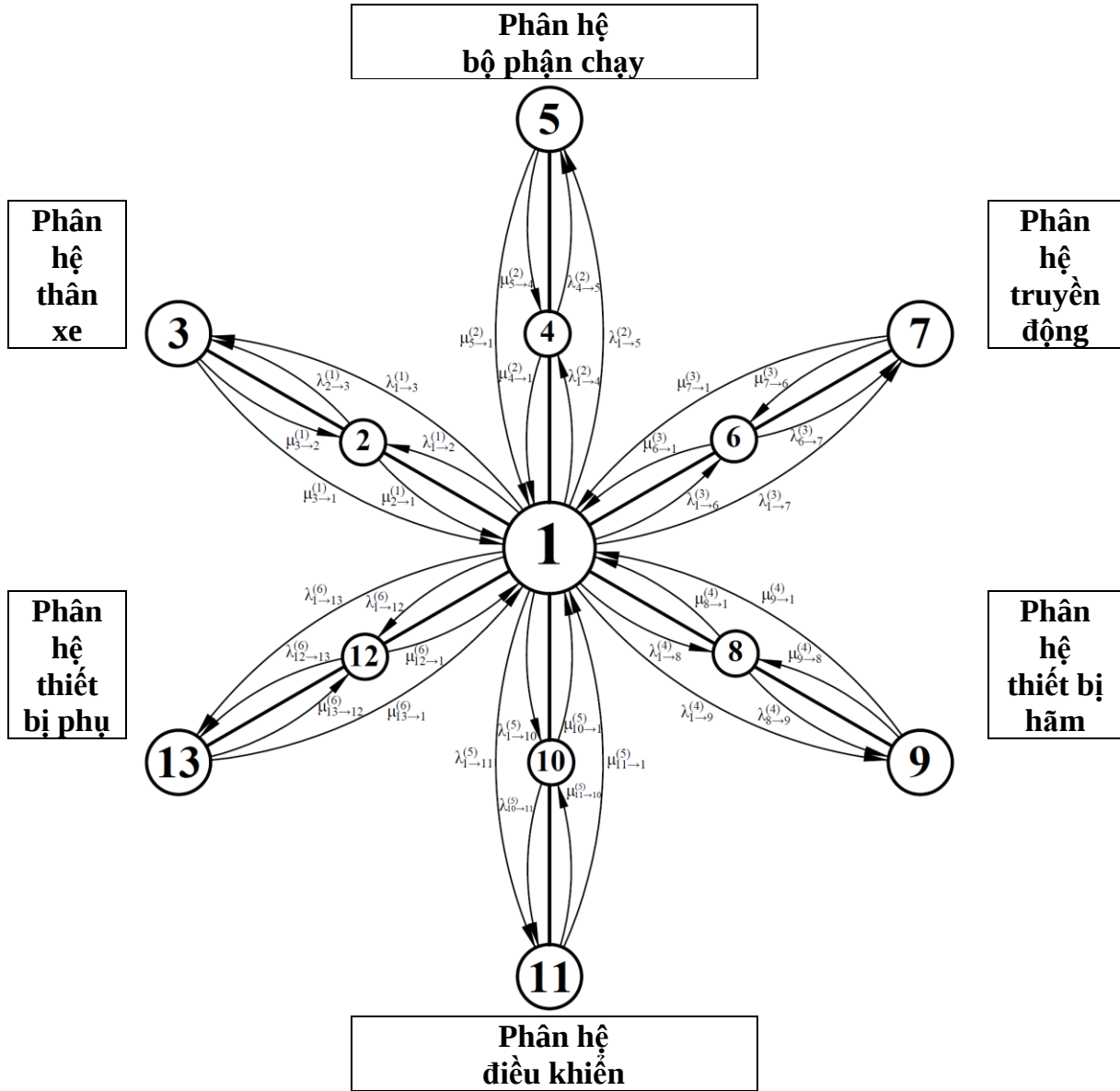
Hệ phương trình tổng quát xác suất chuyển tiếp trạng thái giới hạn của hệ thống có n phân hệ hoặc phần tử với N trạng thái được thể hiện trong công thức (2.9).

$$\left. \begin{aligned} & -(\sum_{j=3,5,\dots,N} \lambda_{1 \rightarrow j})P_1 + \mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)}P_3^{(1)} + \mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)}P_5^{(2)} + \mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)}P_7^{(3)} + \mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)}P_9^{(4)} + \dots + \mu_{k \rightarrow 1}^{(i)}P_k^{(i)} + \dots + \mu_{N \rightarrow 1}^{(n)}P_N^{(n)} = 0 \\ & \lambda_{1 \rightarrow 3}^{(1)}P_1 - \mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)}P_3^{(1)} = 0 \\ & \lambda_{1 \rightarrow 5}^{(2)}P_1 - \mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)}P_5^{(2)} = 0 \\ & \lambda_{1 \rightarrow 7}^{(3)}P_1 - \mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)}P_7^{(3)} = 0 \\ & \lambda_{1 \rightarrow 9}^{(4)}P_1 - \mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)}P_9^{(4)} = 0 \\ & \dots \\ & \lambda_{1 \rightarrow k}^{(i)}P_1 - \mu_{k \rightarrow 1}^{(i)}P_k^{(i)} = 0 \\ & \dots \\ & \lambda_{1 \rightarrow N}^{(n)}P_1 - \mu_{N \rightarrow 1}^{(n)}P_N^{(n)} = 0 \end{aligned} \right\} (2.9)$$

Giải hệ phương trình tuyến tính (2.9) với các ẩn số P_i , $i = 1, 3, 5, \dots, N$ với điều kiện $\sum_{i=1}^N P_i = 1$ và sau khi thay vào vị trí $\lambda_{i \rightarrow j}^{(k)}$ và $\mu_{j \rightarrow i}^{(k)}$ các giá trị của chúng, sẽ xác định được các xác suất giới hạn hay độ tin cậy của hệ thống.

2.1.5.3. Thiết lập mô hình trạng thái đầy đủ của phương tiện đường sắt tuyến Cát Linh - Hà Đông

Từ mô hình tổng quát với n phân hệ và N trạng thái nêu trên, tiến hành xây dựng mô hình trạng thái đầy đủ của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ và 13 trạng thái, thể hiện trên Hình 2.12.



Hình 2.12. Mô hình trạng thái đầy đủ của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ

Trong quá trình hoạt động, các phân hệ có các chuyển tiếp trạng thái tương ứng với cường độ hỏng và cường độ phục hồi sau đây.

1. Đối với phân hệ 1 (thân xe):

$\lambda_{1 \rightarrow 2}^{PH1} = \lambda_{1 \rightarrow 2}^{(1)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 1 (thân xe) chuyển tiếp từ trạng thái 1 (LV) sang trạng thái 2 (Hmp);

$\lambda_{2 \rightarrow 3}^{PH1} = \lambda_{2 \rightarrow 3}^{(1)}$ - cường độ hồng của phân hệ 1 (thân xe) chuyển tiếp từ trạng thái 2 (Hmp) sang trạng thái 3 (Hht);

$\lambda_{1 \rightarrow 3}^{PH1} = \lambda_{1 \rightarrow 3}^{(1)}$ - cường độ hồng của phân hệ 1 (thân xe) chuyển tiếp từ trạng thái 1 (LV) sang trạng thái 3 (Hht);

$\mu_{2 \rightarrow 1}^{PH1} = \mu_{2 \rightarrow 1}^{(1)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 1 (thân xe) chuyển tiếp từ trạng thái 2 (Hmp) sang trạng thái 1 (LV);

$\mu_{3 \rightarrow 2}^{PH1} = \mu_{3 \rightarrow 2}^{(1)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 1 (thân xe) chuyển tiếp từ trạng thái 3 (Hht) sang trạng thái 2 (Hmp);

$\mu_{3 \rightarrow 1}^{PH1} = \mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 1 (thân xe) chuyển tiếp từ trạng thái 3 (Hht) sang trạng thái 1 (LV).

2. Đối với phân hệ 2 (bộ phận chạy):

$\lambda_{1 \rightarrow 4}^{PH2} = \lambda_{1 \rightarrow 4}^{(2)}$ - cường độ hồng của phân hệ 2 (bộ phận chạy) chuyển tiếp từ trạng thái 1 (LV) sang trạng thái 4 (Hmp);

$\lambda_{4 \rightarrow 5}^{PH2} = \lambda_{4 \rightarrow 5}^{(2)}$ - cường độ hồng của phân hệ 2 (bộ phận chạy) chuyển tiếp từ trạng thái 4 (Hmp) sang trạng thái 5 (Hht);

$\lambda_{1 \rightarrow 5}^{PH2} = \lambda_{1 \rightarrow 5}^{(2)}$ - cường độ hồng của phân hệ 2 (bộ phận chạy) chuyển tiếp từ trạng thái 1 (LV) sang trạng thái 5 (Hht);

$\mu_{4 \rightarrow 1}^{PH2} = \mu_{4 \rightarrow 1}^{(2)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 2 (bộ phận chạy) chuyển tiếp từ trạng thái 4 (Hmp) sang trạng thái 1 (LV);

$\mu_{5 \rightarrow 4}^{PH2} = \mu_{5 \rightarrow 4}^{(2)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 2 (bộ phận chạy) chuyển tiếp từ trạng thái 5 (Hht) sang trạng thái 4 (Hmp);

$\mu_{5 \rightarrow 1}^{PH2} = \mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 2 (bộ phận chạy) chuyển tiếp từ trạng thái 5 (Hht) sang trạng thái 1 (LV).

3. Đối với phân hệ 3 (truyền động):

$\lambda_{1 \rightarrow 6}^{PH3} = \lambda_{1 \rightarrow 6}^{(3)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 3 (truyền động) chuyển tiếp từ trạng thái

1 (LV) sang trạng thái 6 (Hmp);

$\lambda_{6 \rightarrow 7}^{PH3} = \lambda_{6 \rightarrow 7}^{(3)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 3 (truyền động) chuyển tiếp từ trạng thái

6 (Hmp) sang trạng thái 7 (Hht);

$\lambda_{1 \rightarrow 7}^{PH3} = \lambda_{1 \rightarrow 7}^{(3)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 3 (truyền động) chuyển tiếp từ trạng thái

1(LV) sang trạng thái 7 (Hht);

$\mu_{6 \rightarrow 1}^{PH3} = \mu_{6 \rightarrow 1}^{(3)}$ - cường độ phục hồi của của phân hệ 3 (truyền động) chuyển tiếp từ

trạng thái 6 (Hmp) sang trạng thái 1 (LV);

$\mu_{7 \rightarrow 6}^{PH3} = \mu_{7 \rightarrow 6}^{(3)}$ - cường độ phục hồi của của phân hệ 3 (truyền động) chuyển tiếp từ

trạng thái 7 (Hht) sang trạng thái 6 (Hmp);

$\mu_{7 \rightarrow 1}^{PH3} = \mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)}$ - cường độ phục hồi của của phân hệ 3 (truyền động) chuyển tiếp từ

trạng thái 7 (Hht) sang trạng thái 1 (LV).

4. Đối với phân hệ 4 (thiết bị hãm):

$\lambda_{1 \rightarrow 8}^{PH4} = \lambda_{1 \rightarrow 8}^{(4)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 4 (thiết bị hãm) chuyển tiếp từ trạng thái

1 (LV) sang trạng thái 8 (Hmp);

$\lambda_{8 \rightarrow 9}^{PH4} = \lambda_{8 \rightarrow 9}^{(4)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 4 (thiết bị hãm) chuyển tiếp từ trạng

thái 8 (Hmp) sang trạng thái 9 (Hht);

$\lambda_{1 \rightarrow 9}^{PH4} = \lambda_{1 \rightarrow 9}^{(4)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 4 (thiết bị hãm) chuyển tiếp từ trạng thái

1 (LV) sang trạng thái 9 (Hht);

$\mu_{8 \rightarrow 1}^{PH4} = \mu_{8 \rightarrow 1}^{(4)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 4 (thiết bị hãm) chuyển tiếp từ trạng

thái 8 (Hmp) sang trạng thái 1 (LV);

$\mu_{9 \rightarrow 8}^{PH4} = \mu_{9 \rightarrow 8}^{(4)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 4 (thiết bị hãm) chuyển tiếp từ trạng

thái 9 (Hht) sang trạng thái 8 (Hmp);

$\mu_{9 \rightarrow 1}^{PH4} = \mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 4 (thiết bị hãm) chuyển tiếp từ trạng

thái 9 (Hht) sang trạng thái 1 (LV);

5. Đối với phân hệ 5 (điều khiển):

$\lambda_{1 \rightarrow 10}^{PH5} = \lambda_{1 \rightarrow 10}^{(5)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 5 (điều khiển) chuyển tiếp từ trạng thái 1 (LV) sang trạng thái 10 (Hmp);

$\lambda_{10 \rightarrow 11}^{PH5} = \lambda_{10 \rightarrow 11}^{(5)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 5 (điều khiển) chuyển tiếp từ trạng thái 10 (Hmp) sang trạng thái 11 (Hht);

$\lambda_{1 \rightarrow 11}^{PH5} = \lambda_{1 \rightarrow 11}^{(5)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 5 (điều khiển) chuyển tiếp từ trạng thái 1 (LV) sang trạng thái 11 (Hht);

$\mu_{10 \rightarrow 1}^{PH5} = \mu_{10 \rightarrow 1}^{(5)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 5 (điều khiển) chuyển tiếp từ trạng thái 10 (Hmp) sang trạng thái 1 (LV);

$\mu_{10 \rightarrow 11}^{PH5} = \mu_{10 \rightarrow 11}^{(5)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 5 (điều khiển) chuyển tiếp từ trạng thái 11 (Hht) sang trạng thái 10 (Hmp);

$\mu_{11 \rightarrow 1}^{PH5} = \mu_{11 \rightarrow 1}^{(5)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 5 (điều khiển) chuyển tiếp từ trạng thái 11 (Hht) sang trạng thái 1 (LV);

5. Đối với phân hệ 6 (thiết bị phụ):

$\lambda_{1 \rightarrow 12}^{PH6} = \lambda_{1 \rightarrow 12}^{(6)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 6 (thiết bị phụ) chuyển tiếp từ trạng thái 1 (LV) sang trạng thái 12 (Hmp);

$\lambda_{12 \rightarrow 13}^{PH6} = \lambda_{12 \rightarrow 13}^{(12)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 6 (thiết bị phụ) chuyển tiếp từ trạng thái 12 (Hmp) sang trạng thái 13 (Hht);

$\lambda_{1 \rightarrow 13}^{PH6} = \lambda_{1 \rightarrow 13}^{(6)}$ - cường độ hỏng của phân hệ 6 (thiết bị phụ) chuyển tiếp từ trạng thái 1 (LV) sang trạng thái 13 (Hht);

$\mu_{12 \rightarrow 1}^{PH6} = \mu_{12 \rightarrow 1}^{(6)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 6 (thiết bị phụ) chuyển tiếp từ trạng thái 12 (Hmp) sang trạng thái 1 (LV);

$\mu_{13 \rightarrow 12}^{PH6} = \mu_{13 \rightarrow 12}^{(6)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 6 (thiết bị phụ) chuyển tiếp từ trạng thái 13 (Hht) sang trạng thái 12 (Hmp);

$\mu_{13 \rightarrow 1}^{PH6} = \mu_{13 \rightarrow 1}^{(6)}$ - cường độ phục hồi của phân hệ 6 (thiết bị phụ) chuyển tiếp từ trạng thái 13 (Hht) sang trạng thái 1 (LV).

Ma trận trạng thái đầy đủ của phương tiện đường sắt đô thị với 6 phân hệ thể hiện trong Bảng 2.10.

Bảng 2.10. Ma trận trạng thái đầy đủ của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ

$\sum_{\substack{1 \leq i \leq 13 \\ 2 \leq j \leq 13}} \lambda_{i \rightarrow j}$	$\lambda_{1 \rightarrow 2}^{(1)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 3}^{(1)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 4}^{(2)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 5}^{(2)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 6}^{(3)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 7}^{(3)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 8}^{(4)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 9}^{(4)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 10}^{(5)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 11}^{(5)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 12}^{(6)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 13}^{(6)}$
$\mu_{2 \rightarrow 1}^{(1)}$	$-\left(\mu_{2 \rightarrow 1}^{(1)} + \lambda_{2 \rightarrow 3}^{(1)}\right)$	$\lambda_{2 \rightarrow 3}^{(1)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)}$	0	$-\left(\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)} + \mu_{3 \rightarrow 2}^{(1)}\right)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\mu_{4 \rightarrow 1}^{(2)}$	0	0	$-\left(\mu_{4 \rightarrow 1}^{(2)} + \lambda_{4 \rightarrow 5}^{(2)}\right)$	$\lambda_{4 \rightarrow 5}^{(2)}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)}$	0	0	0	$-\left(\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)} + \mu_{5 \rightarrow 4}^{(2)}\right)$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\mu_{6 \rightarrow 1}^{(3)}$	0	0	0	0	$-\left(\mu_{6 \rightarrow 1}^{(3)} + \lambda_{6 \rightarrow 7}^{(3)}\right)$	$\lambda_{6 \rightarrow 7}^{(3)}$	0	0	0	0	0	0
$\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)}$	0	0	0	0	0	$-\left(\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)} + \mu_{7 \rightarrow 6}^{(3)}\right)$	0	0	0	0	0	0
$\mu_{8 \rightarrow 1}^{(4)}$	0	0	0	0	0	0	$-\left(\mu_{8 \rightarrow 1}^{(4)} + \lambda_{8 \rightarrow 9}^{(4)}\right)$	$\lambda_{8 \rightarrow 9}^{(4)}$	0	0	0	0
$\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)}$	0	0	0	0	0	0	0	$-\left(\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)} + \mu_{9 \rightarrow 8}^{(4)}\right)$	0	0	0	0
$\mu_{10 \rightarrow 1}^{(5)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	$-\left(\mu_{10 \rightarrow 1}^{(5)} + \lambda_{10 \rightarrow 11}^{(5)}\right)$	$\lambda_{10 \rightarrow 11}^{(5)}$	0	0
$\mu_{11 \rightarrow 1}^{(5)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-\left(\mu_{11 \rightarrow 1}^{(5)} + \mu_{11 \rightarrow 10}^{(5)}\right)$	0	0
$\mu_{12 \rightarrow 1}^{(6)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-\left(\mu_{12 \rightarrow 1}^{(6)} + \lambda_{12 \rightarrow 13}^{(6)}\right)$	$\lambda_{12 \rightarrow 13}^{(6)}$
$\mu_{13 \rightarrow 1}^{(6)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-\left(\mu_{13 \rightarrow 1}^{(6)} + \mu_{13 \rightarrow 12}^{(6)}\right)$

Hệ phương trình trạng thái đầy đủ của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ thể hiện trong công thức (2.10):

$$\left. \begin{aligned}
& - \left(\sum_{\substack{1 \leq i \leq 13 \\ 2 \leq j \leq 13}} \lambda_{i \rightarrow j} \right) P_1 + \mu_{2 \rightarrow 1}^{(1)} P_2^{(1)} + \mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)} P_3^{(1)} + \mu_{4 \rightarrow 1}^{(2)} P_4^{(2)} + \mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)} P_5^{(2)} + \mu_{6 \rightarrow 1}^{(3)} P_6^{(3)} + \\
& + \mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)} P_7^{(3)} + \mu_{8 \rightarrow 1}^{(4)} P_8^{(4)} + \mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)} P_9^{(4)} + \mu_{10 \rightarrow 1}^{(5)} P_{10}^{(5)} + \mu_{11 \rightarrow 1}^{(5)} P_{11}^{(5)} + \mu_{12 \rightarrow 1}^{(6)} P_{12}^{(6)} + \mu_{13 \rightarrow 1}^{(6)} P_{13}^{(6)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 2}^{(1)} P_1 - \left(\mu_{2 \rightarrow 1}^{(1)} + \lambda_{2 \rightarrow 3}^{(1)} \right) P_2^{(1)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 3}^{(1)} P_1 + \lambda_{2 \rightarrow 3}^{(1)} P_2^{(1)} - \left(\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)} + \mu_{3 \rightarrow 2}^{(1)} \right) P_3^{(1)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 4}^{(2)} P_1 - \left(\mu_{4 \rightarrow 1}^{(2)} + \lambda_{4 \rightarrow 5}^{(2)} \right) P_4^{(2)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 5}^{(2)} P_1 + \lambda_{4 \rightarrow 5}^{(2)} P_4^{(2)} - \left(\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)} + \mu_{5 \rightarrow 4}^{(2)} \right) P_5^{(2)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 6}^{(3)} P_1 - \left(\mu_{6 \rightarrow 1}^{(3)} + \lambda_{6 \rightarrow 7}^{(3)} \right) P_6^{(3)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 7}^{(3)} P_1 + \lambda_{6 \rightarrow 7}^{(3)} P_6^{(3)} - \left(\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)} + \mu_{7 \rightarrow 6}^{(3)} \right) P_7^{(3)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 8}^{(4)} P_1 - \left(\mu_{8 \rightarrow 1}^{(4)} + \lambda_{8 \rightarrow 9}^{(4)} \right) P_8^{(4)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 9}^{(4)} P_1 + \lambda_{8 \rightarrow 9}^{(4)} P_8^{(4)} - \left(\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)} + \mu_{9 \rightarrow 8}^{(4)} \right) P_9^{(4)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 10}^{(5)} P_1 - \left(\mu_{10 \rightarrow 1}^{(5)} + \lambda_{10 \rightarrow 11}^{(5)} \right) P_{10}^{(5)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 11}^{(5)} P_1 + \lambda_{10 \rightarrow 11}^{(5)} P_{10}^{(5)} - \left(\mu_{11 \rightarrow 1}^{(5)} + \mu_{11 \rightarrow 10}^{(5)} \right) P_{11}^{(5)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 12}^{(6)} P_1 - \left(\mu_{12 \rightarrow 1}^{(6)} + \lambda_{12 \rightarrow 13}^{(6)} \right) P_{12}^{(6)} = 0 \\
& \lambda_{1 \rightarrow 13}^{(6)} P_1 + \lambda_{12 \rightarrow 13}^{(6)} P_{12}^{(6)} - \left(\mu_{13 \rightarrow 1}^{(6)} + \mu_{13 \rightarrow 12}^{(6)} \right) P_{13}^{(6)} = 0
\end{aligned} \right\} (2.10)$$

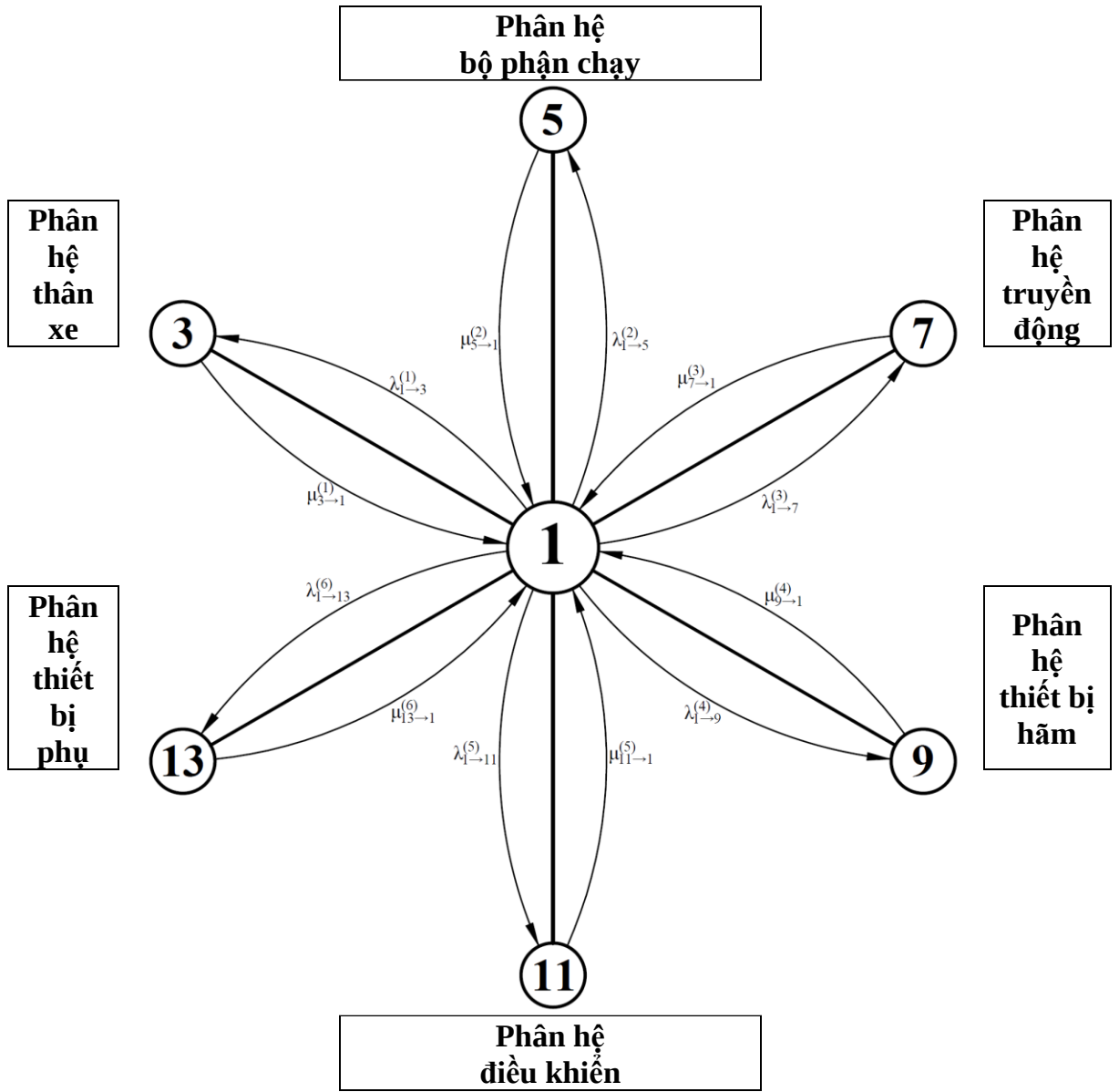
2.1.5.4. Thiết lập mô hình trạng thái giới hạn của phương tiện đường sắt tuyến Cát Linh - Hà Đông

Nếu không xét đến trạng thái thứ 2, 4, 6, 8, 10, 12, tức là trạng thái hỏng một phần Hmp, thì mô hình này được gọi là mô hình trạng thái giới hạn (Hình 2.13).

Ma trận trạng thái giới hạn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ thể hiện trong Bảng 2.11.

Bảng 2.11. Ma trận trạng thái giới hạn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ

$-\sum_{j=3,5,\dots,13} \lambda_{1 \rightarrow j}$	$\lambda_{1 \rightarrow 3}^{(1)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 5}^{(2)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 7}^{(3)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 9}^{(4)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 11}^{(5)}$	$\lambda_{1 \rightarrow 13}^{(6)}$
$\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)}$	$-\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)}$	0	0	0	0	0
$\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)}$	0	$-\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)}$	0	0	0	0
$\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)}$	0	0	$-\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)}$	0	0	0
$\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)}$	0	0	0	$-\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)}$	0	0
$\mu_{11 \rightarrow 1}^{(5)}$	0	0	0	0	$-\mu_{11 \rightarrow 1}^{(5)}$	0
$\mu_{13 \rightarrow 1}^{(6)}$	0	0	0	0	0	$-\mu_{13 \rightarrow 1}^{(6)}$



Hình 2.13. Mô hình trạng thái giới hạn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ

Hệ phương trình trạng thái giới hạn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông với 6 phân hệ với 6 phân hệ thể hiện trong công thức (2.11):

$$\left. \begin{aligned}
 & - \left(\sum_{j=3,5,\dots,13} \lambda_{1 \rightarrow j} \right) P_1 + \mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)} P_3^{(1)} + \mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)} P_5^{(2)} + \mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)} P_7^{(3)} + \mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)} P_9^{(4)} + \mu_{11 \rightarrow 1}^{(5)} P_{11}^{(5)} + \mu_{13 \rightarrow 1}^{(6)} P_{13}^{(6)} = 0 \\
 & \lambda_{1 \rightarrow 3}^{(1)} P_1 - \mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)} P_3^{(1)} = 0 \\
 & \lambda_{1 \rightarrow 5}^{(2)} P_1 - \mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)} P_5^{(2)} = 0 \\
 & \lambda_{1 \rightarrow 7}^{(3)} P_1 - \mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)} P_7^{(3)} = 0 \\
 & \lambda_{1 \rightarrow 9}^{(4)} P_1 - \mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)} P_9^{(4)} = 0 \\
 & \lambda_{1 \rightarrow 11}^{(5)} P_1 - \mu_{11 \rightarrow 1}^{(5)} P_{11}^{(5)} = 0 \\
 & \lambda_{1 \rightarrow 13}^{(6)} P_1 - \mu_{13 \rightarrow 1}^{(6)} P_{13}^{(6)} = 0
 \end{aligned} \right\} (2.11)$$

trong đó:

P_1 - xác suất phương tiện nằm ở trạng thái 1, trạng thái làm việc (độ tin cậy của toàn hệ thống - phương tiện);

$P_3^{(1)}$ - xác suất phương tiện nằm ở trạng thái 3, trạng thái không làm việc do hư hỏng của phân hệ 1 - thân xe;

$P_5^{(2)}$ - xác suất phương tiện nằm ở trạng thái 5, trạng thái không làm việc do hư hỏng của phân hệ 2 - bộ phận chạy;

$P_7^{(3)}$ - xác suất phương tiện nằm ở trạng thái 7, trạng thái không làm việc do hư hỏng của phân hệ 3 - truyền động;

$P_9^{(4)}$ - xác suất phương tiện nằm ở trạng thái 9, trạng thái không làm việc do hư hỏng của phân hệ 4 - thiết bị hãm;

$P_{11}^{(5)}$ - xác suất phương tiện nằm ở trạng thái 11, trạng thái không làm việc do hư hỏng của phân hệ 5 - điều khiển.

$P_{13}^{(6)}$ - xác suất phương tiện nằm ở trạng thái 13, trạng thái không làm việc do hư hỏng của phân hệ 6 - thiết bị phụ.

Giải hệ phương trình tuyến tính (2.11) với các ẩn số P_i , $i = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13$ với điều kiện $\sum_{i=1}^{13} P_i = 1$ sau khi thay vào vị trí $\lambda_{i \rightarrow j}^{(k)}$ và $\mu_{j \rightarrow i}^{(k)}$ các giá trị của chúng, sẽ được các xác suất giới hạn hay độ tin cậy của hệ thống.

2.2. CƠ SỞ ĐÁNH GIÁ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ

Phương pháp đánh giá độ an toàn của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình vận hành trên tuyến dựa trên ma trận đánh giá và chấp nhận rủi ro thể hiện trong Bảng 2.14 [29-31, 77-81]. Theo đó, cần xây dựng bảng tần suất xuất hiện của các tình huống nguy hiểm (Bảng 2.12) và bảng mức độ nghiêm trọng của nguy hiểm (Bảng 2.13) [78].

Bảng 2.12. Tần suất xuất hiện của các tình huống nguy hiểm

(Theo Tiêu chuẩn EN 50126-1:2017)

Phân loại		Tần suất (1/h)	Mô tả
A	Thường xuyên	$F \geq 10^{-3}$	Có khả năng xảy ra thường xuyên. Mỗi nguy hiểm như gặp phải liên tục.
B	Rất có thể xảy ra	$10^{-4} \leq F < 10^{-3}$	Xảy ra vài lần. Mỗi nguy hiểm dự kiến có thể xảy ra thường xuyên.
C	Thỉnh thoảng	$10^{-5} \leq F < 10^{-4}$	Có khả năng xảy ra vài lần. Mỗi nguy hiểm dự kiến có thể xảy ra vài lần.
D	Ít có khả năng	$10^{-7} \leq F < 10^{-5}$	Đôi khi có khả năng xảy ra trong vòng đời của hệ thống. Mỗi nguy hiểm có thể dự kiến đôi khi xảy ra trong vòng đời của hệ thống.

Phân loại		Tần suất (1/h)	Mô tả
E	Xác suất nhỏ	$10^{-9} \leq F < 10^{-7}$	Khó có khả năng xảy ra tuy nhiên có thể xảy ra. Có thể giả định rằng trong trường hợp ngoại lệ mỗi nguy có thể xảy ra trong vòng đời của hệ thống.
F	Khó có thể xảy ra	$F < 10^{-9}$	Rất khó có khả năng xảy ra. Có thể giả định rằng mỗi nguy không thể xảy ra trong toàn bộ vòng đời của hệ thống.

Bảng 2.13. Mức độ nghiêm trọng của nguy hiểm

(Theo Thông tư Số 29/2013/TT-BGTVT của Bộ Giao thông vận tải)

Mức độ nghiêm trọng		Mô tả
1	Đặc biệt nghiêm trọng	Có từ 3 người chết trở lên hoặc có từ 11 người bị thương trở lên hoặc gây thiệt hại về tài sản có giá trị từ một tỷ năm trăm triệu đồng trở lên.
2	Rất nghiêm trọng	Có 2 người chết hoặc có từ 9 đến 10 người bị thương hoặc gây thiệt hại về tài sản có giá trị từ năm trăm triệu đồng đến dưới một tỷ năm trăm triệu đồng.
3	Nghiêm trọng	Có 1 người chết hoặc có từ 6 đến 8 người bị thương hoặc gây thiệt hại về tài sản có giá trị từ năm mươi triệu đồng đến dưới năm trăm triệu đồng.
4	Ít nghiêm trọng	Có từ 1 đến 5 người bị thương hoặc gây thiệt hại về tài sản có giá trị từ năm triệu đồng đến dưới năm mươi triệu đồng.
5	Không nghiêm trọng	Dưới mức “Ít nghiêm trọng”.

Việc đánh giá rủi ro phải được thực hiện bằng việc kết hợp tần suất xuất hiện của tình huống có tính nguy hiểm tương ứng với mức độ nghiêm trọng của nó để thiết lập mức độ rủi ro cho tình huống nguy hiểm. Một ma trận “tần suất - hậu quả” được thể hiện trong Bảng 2.14.

Bảng 2.14. Ma trận tần suất - hậu quả

Tần suất xuất hiện của tình huống nguy hiểm	Mức độ rủi ro				
Thường xuyên					
Rất có thể xảy ra					
Thỉnh thoảng					
Ít có khả năng					
Xác suất nhỏ					
Khó có thể xảy ra					
	Không nghiêm trọng	Ít nghiêm trọng	Nghiêm trọng	Rất nghiêm trọng	Đặc biệt nghiêm trọng
	Mức độ nghiêm trọng của hậu quả nguy hiểm				

Việc chấp nhận rủi ro phải dựa trên một nguyên tắc chấp nhận chung. Doanh nghiệp đường sắt phải chịu trách nhiệm cho việc xác định nguyên tắc sử dụng phù hợp, mức độ rủi ro chấp nhận được và các mức độ nằm trong các phân loại rủi ro khác nhau. Căn cứ theo Tiêu chuẩn EN 50126-1:2017, có thể sử dụng một số nguyên tắc sẵn có dưới đây (Bảng 2.15) [79].

Bảng 2.15. Phân loại rủi ro định tính

Mức rủi ro		Các hoạt động được áp dụng theo các mức
R1	Không chấp nhận được	Phải bị loại bỏ
R2	Không mong muốn	Chỉ được chấp nhận khi việc giảm rủi ro không thể thực hiện được thêm nữa và có sự đồng ý của Doanh nghiệp đường sắt hoặc cơ quan quản lý về an toàn, nếu phù hợp
R3	Chấp nhận được	Có thể chấp nhận được với các kiểm soát đầy đủ và có sự đồng ý của Doanh nghiệp đường sắt
R4	Có thể bỏ qua	Chấp nhận được mà có/không cần có sự đồng ý của Doanh nghiệp đường sắt

Từ đó, doanh nghiệp đường sắt có thể đánh giá rủi ro và giảm bớt hoặc kiểm soát rủi ro để chấp nhận rủi ro trên cơ sở xây dựng ma trận đánh giá và chấp nhận rủi ro, ví dụ như dạng Bảng 2.16.

Bảng 2.16. Ma trận đánh giá và chấp nhận rủi ro

Tần suất xuất hiện của tình huống nguy hiểm		Mức độ rủi ro				
		5	4	3	2	1
A	Thường xuyên	R2	R1	R1	R1	R1
B	Rất có thể xảy ra	R3	R2	R1	R1	R1
C	Thỉnh thoảng	R3	R2	R2	R1	R1
D	Ít có khả năng	R4	R3	R2	R2	R1
E	Xác suất nhỏ	R4	R4	R3	R2	R2
F	Khó có thể xảy ra	R4	R4	R4	R4	R4
		Không nghiêm trọng	Ít nghiêm trọng	Nghiêm trọng	Rất nghiêm trọng	Đặc biệt nghiêm trọng
		Mức độ nghiêm trọng của hậu quả nguy hiểm				

2.3. XÂY DỰNG QUY TRÌNH ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ

2.3.1. Quy trình đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình vận hành trên tuyến liên quan đến gián đoạn chạy tàu

1. Thu thập các sự cố và hư hỏng của phương tiện gây gián đoạn chạy tàu trên tuyến (gây chậm tàu), bao gồm các thông tin sau đây:

- + Ngày/tháng/năm xảy ra sự cố trên tuyến
- + Phần tử bị sự cố trên tuyến
- + Biện pháp khắc phục sự cố trên tuyến
- + Quãng đường chạy (km) và thời gian làm việc của phần tử (h) kể từ khi bắt đầu khai thác đến khi xảy ra sự cố hoặc thời gian giữa các lần xảy ra sự cố trên tuyến.
- + Thời gian khắc phục sự cố (h) trên tuyến

Việc thu thập số liệu được thực hiện thông qua các biểu mẫu thống kê được trình bày trong Phụ lục 1.

2. Nhập số liệu thống kê vào phần mềm: Từ các số liệu đã thu thập được, tiến hành nhập số liệu vào Phần mềm đánh giá độ tin cậy và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông (nội dung về phần mềm sẽ được trình bày trong Chương 3 và Phụ lục 3).

3. Tính toán xác định các thông số: Từ số liệu đã nhập, phần mềm sẽ tính toán các thông số độ tin cậy và tính sẵn sàng cho từng phần tử, từng tiểu phân hệ, từng phân hệ, từ đó tổng hợp cho toàn bộ phương tiện. Đồng thời, phần mềm cũng tính toán xác định được xác suất chuyển tiếp trạng thái giới hạn của phương tiện.

2.3.2. Quy trình đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

1. Thu thập các sự cố và hư hỏng của phương tiện dẫn đến phải khắc phục (sửa chữa) đột xuất tại depot, bao gồm các thông tin sau đây:

- + Ngày/tháng/năm xảy ra sự cố trên tuyến cần khắc phục tại depot
- + Phần tử bị sự cố trên tuyến cần khắc phục tại depot
- + Biện pháp khắc phục sự cố tại depot
- + Quãng đường chạy (km) và thời gian làm việc của phần tử (h) kể từ khi bắt đầu khai thác đến khi xảy ra sự cố hoặc thời gian giữa các lần xảy ra sự cố trên tuyến cần khắc phục tại depot
- + Thời gian khắc phục sự cố (h) tại depot

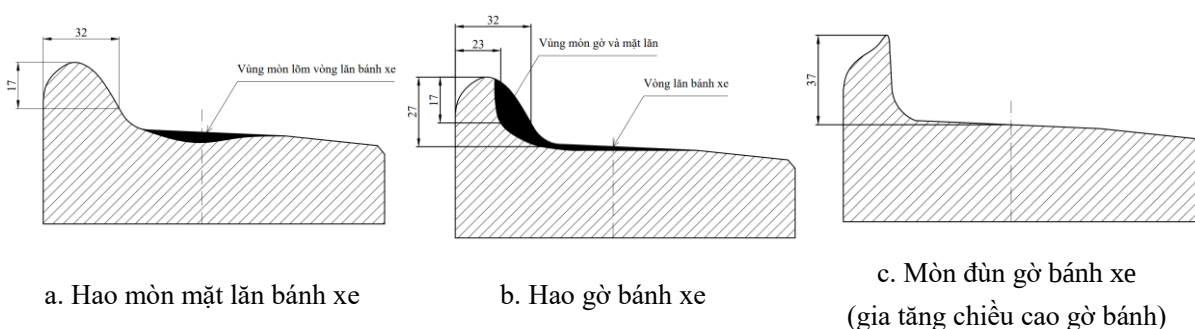
Việc thu thập số liệu được thực hiện thông qua các biểu mẫu thống kê được trình bày trong Phụ lục 1.

2. Nhập số liệu thống kê vào phần mềm: Từ các số liệu đã thu thập được, tiến hành nhập số liệu vào phần mềm.

3. Tính toán xác định các thông số: Từ số liệu đã nhập, phần mềm sẽ tính toán các thông số độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng cho từng phần tử, từng tiểu phân hệ, từng phân hệ, từ đó tổng hợp cho toàn bộ phương tiện.

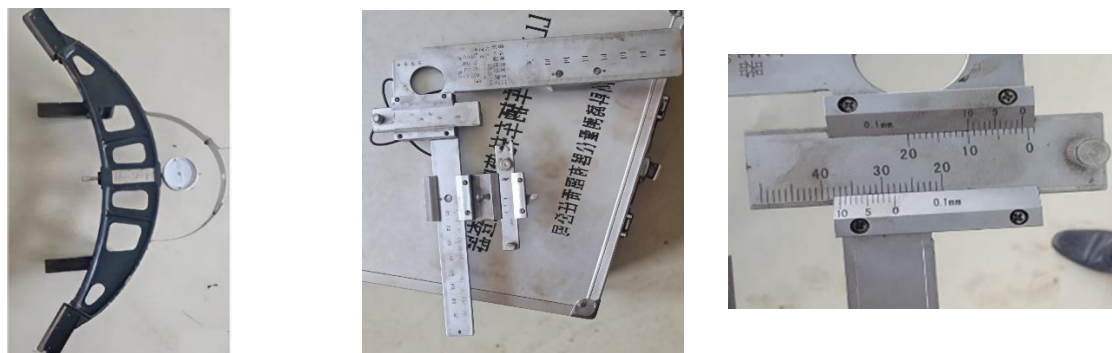
2.3.3. Quy trình đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe trên phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình vận hành trên tuyến

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 độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe. Sơ đồ hao mòn bánh xe thể hiện trên Hình 2.14.



Hình 2.14. Sơ đồ các dạng hao mòn bánh xe

Để đo được các dạng hao mòn này, sử dụng các dụng cụ đo chuyên dùng như trên Hình 2.15.



Hình 2.15. Các dụng cụ đo chuyên dùng đối với bánh xe

2.3.3.1. Quy trình đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn

1. 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 (chính bị), tại đây tiến hành đo đạc các thông số sau đây:

+ Đo đường kính vòng lăn bánh xe, với tối thiểu ở hai mặt cắt vuông góc với nhau.

+ Số liệu đo được ghi vào biểu mẫu quy định.

+ Dụng cụ đo đường kính vòng lăn thể hiện trên Hình 2.15a.

+ 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.

+ Ghi số liệu về độ mòn mặt lăn bánh xe vào biểu mẫu quy định.

+ 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 số liệu cường độ hao mòn mặt lăn bánh xe vào biểu mẫu quy định.

Các biểu mẫu được trình bày trong Phụ lục 2.

2. Nhập số liệu thống kê vào phần mềm: Từ các số liệu đã thu thập được, tiến hành nhập số liệu vào phần mềm.

3. Tính toán xác định các thông số: Từ số liệu đã nhập, phần mềm sẽ tính toán các đặc trưng hao mòn, các thông số độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn.

2.3.3.2. Quy trình đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh

1. 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 (chính bị), tại đây tiến hành đo đạc các thông số sau đây:

+ Đo chiều dày gờ bánh xe bánh xe, với tối thiểu ở hai mặt cắt vuông góc với nhau.

+ Dụng cụ đo chiều dày gờ bánh xe thể hiện trên Hình 2.15b.

+ Số liệu đo được ghi vào biểu mẫu quy định.

+ 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.

+ Ghi số liệu về độ mòn gờ bánh xe vào biểu mẫu quy định.

+ 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 số liệu cường độ hao mòn gờ bánh xe vào biểu mẫu quy định.

Các biểu mẫu được trình bày trong Phụ lục 2.

2. Nhập số liệu thống kê vào phần mềm: Từ các số liệu đã thu thập được, tiến hành nhập số liệu vào phần mềm.

3. Tính toán xác định các thông số: Từ số liệu đã nhập, phần mềm sẽ tính toán các đặc trưng hao mòn, các thông số độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh.

2.3.3.3. Quy trình đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh

1. 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:

+ Đo chiều cao gờ bánh xe, với tối thiểu ở hai mặt cắt vuông góc với nhau.

+ Dụng cụ đo chiều cao gờ bánh xe thể hiện trên Hình 2.15c.

+ Số liệu đo được ghi vào biểu mẫu quy định.

+ 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 gờ bánh xe vừa đo được.

+ Ghi số liệu về độ mòn gờ bánh xe vào biểu mẫu quy định.

+ 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 số liệu cường độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe vào biểu mẫu quy định.

Các biểu mẫu được trình bày trong Phụ lục 2.

2. Nhập số liệu thống kê vào phần mềm: Từ các số liệu đã thu thập được, tiến hành nhập số liệu vào phần mềm.

3. Tính toán xác định các thông số: Từ số liệu đã nhập, phần mềm sẽ tính toán các đặc trưng hao mòn, các thông số độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh.

2.4. XÂY DỰNG QUY TRÌNH ĐÁNH GIÁ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ

1. Thu thập các sự cố và hư hỏng của phương tiện gây tai nạn chạy tàu trên tuyến, bao gồm các thông tin sau đây:

- + Ngày/tháng/năm xảy ra sự cố trên tuyến
- + Phần tử bị sự cố trên tuyến gây tai nạn
- + Biện pháp khắc phục tai nạn
- + Quãng đường chạy (km) và thời gian làm việc của phần tử (h) kể từ khi bắt đầu khai thác đến khi xảy ra sự cố gây tai nạn hoặc thời gian giữa các lần xảy ra tai nạn sự cố trên tuyến.

- + Thời gian khắc phục sự cố (h) gây tai nạn trên tuyến
- + Số người chết, số người bị thương (nặng, nhẹ) do tai nạn gây ra
- + Thiệt hại về tài sản (triệu đồng) do tai nạn gây ra
- + Mức độ nghiêm trọng của tai nạn (dựa theo quy định)

Việc thu thập số liệu được thực hiện thông qua các biểu mẫu thống kê được trình bày trong Phụ lục 1.

2. Nhập số liệu thống kê vào phần mềm: Từ các số liệu đã thu thập được, tiến hành nhập số liệu vào phần mềm.

3. Tính toán xác định các thông số: Từ số liệu đã nhập, phần mềm sẽ tính toán các thông số độ an toàn cho từng phần tử, từng tiểu phân hệ, từng phân hệ, từ đó tổng hợp cho toàn bộ phương tiện.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

Trên cơ sở tổng hợp, phân tích và kế thừa các nghiên cứu về đánh giá độ tin cậy ở trong và ngoài nước:

1. Đã thiết lập được cơ sở và xây dựng được quy trình đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng (RAM) cho các phần tử, tiểu phân hệ, phân hệ và toàn bộ phương tiện (đoàn tàu metro) trong quá trình khai thác, bao gồm vận hành trên tuyến và sửa chữa đột xuất tại depot (chưa xét đến bảo dưỡng sửa chữa định kỳ).

2. Đã thiết lập được cơ sở và xây dựng được quy trình đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe do hao mòn trong quá trình khai thác.

3. Đã thiết lập được mô hình tổng quát đánh giá xác suất chuyển tiếp trạng thái của hệ gồm n phần tử và N trạng thái dưới dạng các trạng thái đầy đủ và các trạng thái giới hạn. Từ đó, thiết lập được mô hình đánh giá xác suất chuyển tiếp trạng thái của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông gồm 6 phần tử và 13 trạng thái dưới dạng các trạng thái đầy đủ và các trạng thái giới hạn.

4. Đã thiết lập được cơ sở và quy trình đánh giá định lượng một số chỉ tiêu về an toàn (S - SAFETY) do phương tiện gây ra trong quá trình khai thác.

Các nội dung nêu trên là cơ sở để xây dựng phần mềm đánh giá độ tin cậy và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác nói chung và tuyến Cát Linh - Hà Đông nói riêng.

CHƯƠNG 3

XÂY DỰNG PHẦN MỀM ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

Phần mềm đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác (Cụ thể cho tuyến Cát Linh - Hà Đông) được phát triển nhằm luôn cập nhật được một cách chính xác, kịp thời các thông số về độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện trong quá trình khai thác. Từ đó, giúp người sử dụng hình dung được mức tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của toàn bộ phương tiện cũng như các bộ phận, chi tiết của phương tiện, đồng thời, giúp cho đơn vị quản lý 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 độ tin cậy, tính sẵn sàng và hiệu quả khai thác của phương tiện.

Về mặt công nghệ, phần mềm được phát triển trên cơ sở ngôn ngữ lập trình Java và hệ quản trị cơ sở dữ liệu SQLite, cả hai đều là mã nguồn mở, miễn phí, đa nền tảng, được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau [1, 9-10, 41, 49, 73].

Java là một ngôn ngữ lập trình phổ biến và mạnh mẽ, được phát triển bởi Sun Microsystems (nay là một phần của Oracle Corporation) với một số đặc điểm nổi bật: Đa nền tảng (Platform-independent); Được sử dụng rộng rãi; Cú pháp đơn giản và dễ hiểu; Hỗ trợ đa luồng (Multithreading); Bảo mật cao; Thư viện phong phú (Rich library); Hỗ trợ mã nguồn mở; Tính nhất quán và bảo trì dễ dàng.

SQLite là một hệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ nhẹ (RDBMS - Relational Database Management System) mã nguồn mở, được phát triển bởi Dwayne Richard Hipp vào năm 2000 với một số đặc điểm nổi bật: Mã nguồn mở và miễn phí; Không cần máy chủ; Nhẹ và nhanh; Khả năng di động; Hỗ trợ chuẩn SQL; Dễ triển khai.

3.1. CÁC CHỨC NĂNG CƠ BẢN CỦA PHẦN MỀM

Phần mềm có giao diện thuần Việt, thân thiện, dễ sử dụng với nhiều chức năng tùy biến cho phép đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của các phần tử, các tiểu phân hệ, các phân hệ và của toàn bộ phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác một cách thuận lợi, nhanh chóng và

chính xác. Các giao diện chính của phần mềm được trình bày trong Phụ lục 3. Dưới đây là các chức năng cơ bản và lưu đồ thuật toán của phần mềm.

3.1.1. Đánh giá độ tin cậy và tính sẵn sàng của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình vận hành trên tuyến

- Nhập số liệu đầu vào về trở ngại chạy tàu (thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố và thời gian gián đoạn chạy tàu hay thời gian phục hồi tương ứng) cho từng phần tử và hiển thị số liệu.

- Tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy và tính sẵn sàng của từng phần tử và hiển thị kết quả.

- Tích hợp số liệu của từng phần tử vào tiểu phân hệ và hiển thị số liệu.

- Tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy và tính sẵn sàng của tiểu phân hệ và hiển thị kết quả.

- Tích hợp số liệu của từng tiểu phân hệ vào phân hệ và hiển thị số liệu.

- Tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy và tính sẵn sàng của phân hệ và hiển thị kết quả.

- Hiển thị số liệu và kết quả tính toán bao gồm các loại đồ thị, các hàm và bảng kết quả.

3.1.2. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

- Nhập số liệu đầu vào về bảo dưỡng, sửa chữa (thời gian làm việc giữa các lần hỏng, thời gian phục hồi) cho từng phần tử và hiển thị số liệu.

- Tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của từng phần tử và hiển thị kết quả.

- Tích hợp số liệu của từng phần tử vào tiểu phân hệ và hiển thị số liệu.

- Tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của tiểu phân hệ và hiển thị kết quả.

- Tích hợp số liệu của từng tiểu phân hệ vào phân hệ và hiển thị số liệu.

- Tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phân hệ và hiển thị kết quả.

- Hiển thị số liệu và kết quả tính toán bao gồm các loại đồ thị, các hàm và bảng kết quả.

3.1.3. Đánh giá an toàn của phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình vận hành trên tuyến

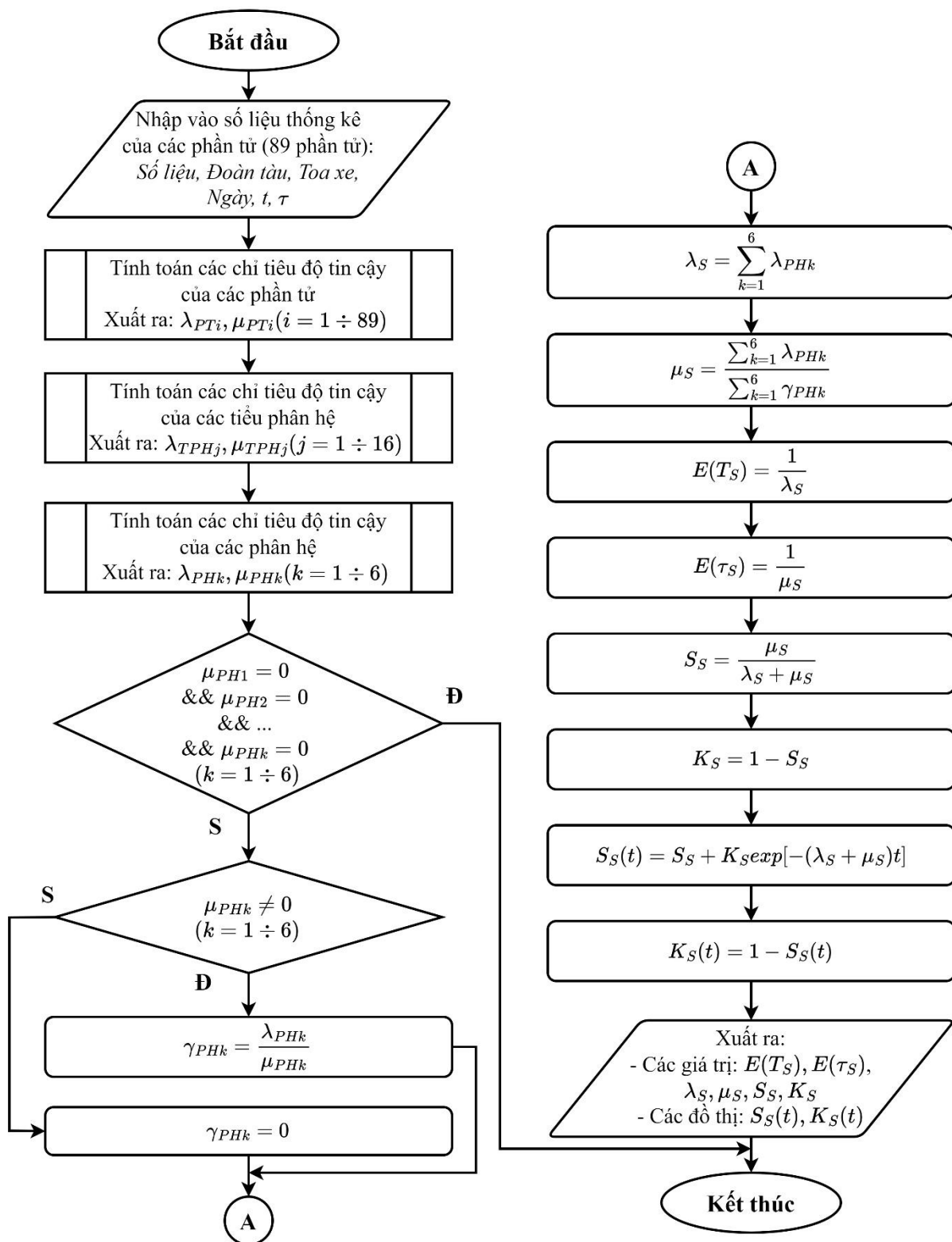
- Nhập số liệu đầu vào về an toàn và tải nạn cho từng phần tử và hiển thị số liệu.
- Hiển thị các chỉ tiêu về an toàn của từng phần tử.
- Tích hợp số liệu của từng phần tử vào tiểu phân hệ và hiển thị số liệu.
- Tính các chỉ tiêu về an toàn cho từng tiểu phân hệ và hiển thị kết quả.
- Tích hợp số liệu của từng tiểu phân hệ vào phân hệ và hiển thị số liệu.
- Tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phân hệ và hiển thị kết quả.
- Hiển thị số liệu và kết quả tính toán bao gồm các bảng kết quả.

3.1.4. Các chức năng khác

- Tính toán trạng thái giới hạn của phương tiện và hiển thị kết quả
- Nhập số liệu và tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn bánh xe và hiển thị số liệu, kết quả.
 - Nhập số liệu và tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh xe và hiển thị số liệu, kết quả.
 - Nhập số liệu và tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe và hiển thị số liệu, kết quả.

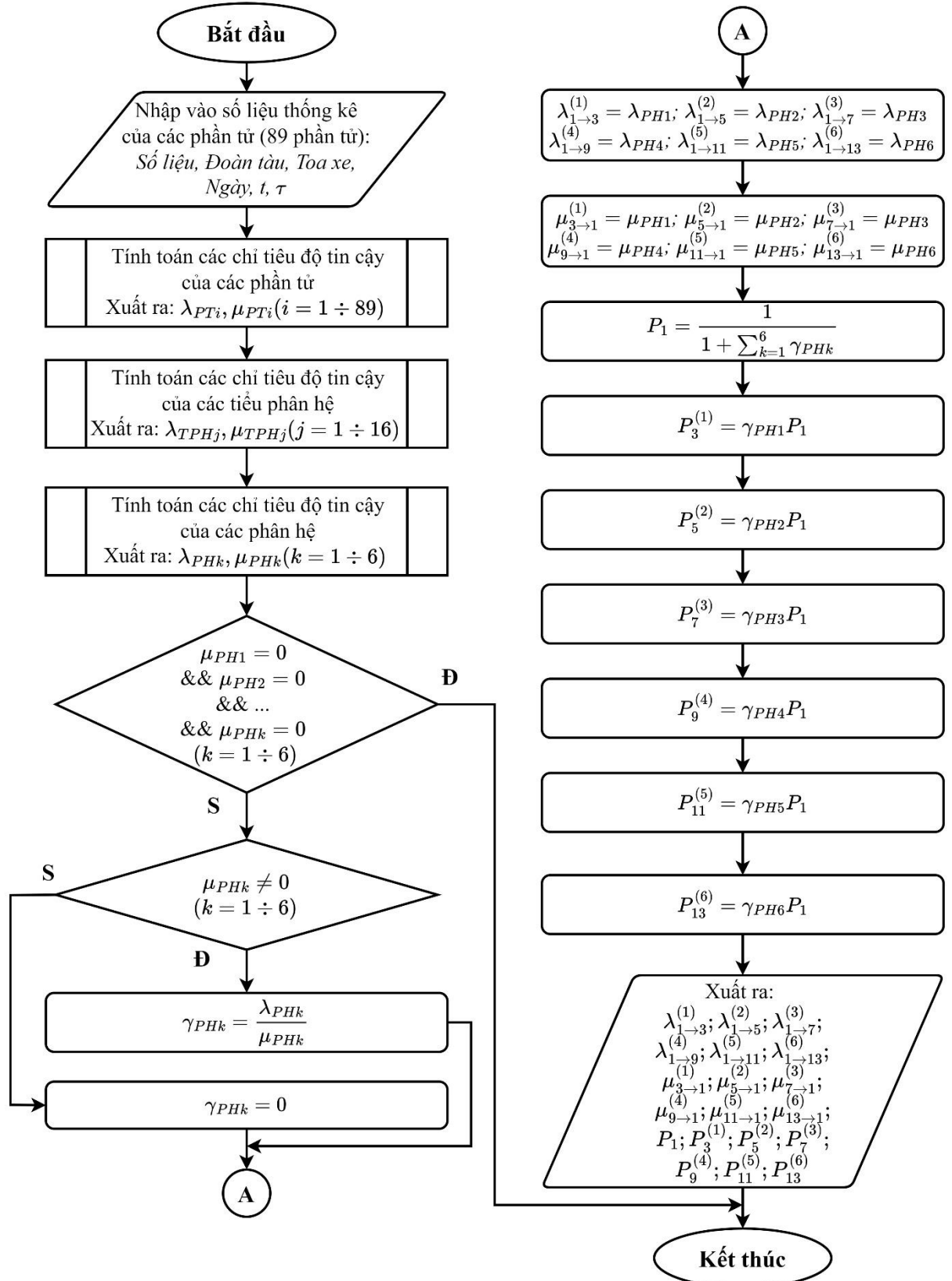
3.2. CÁC LƯU ĐỒ THUẬT TOÁN

3.2.1. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phương tiện



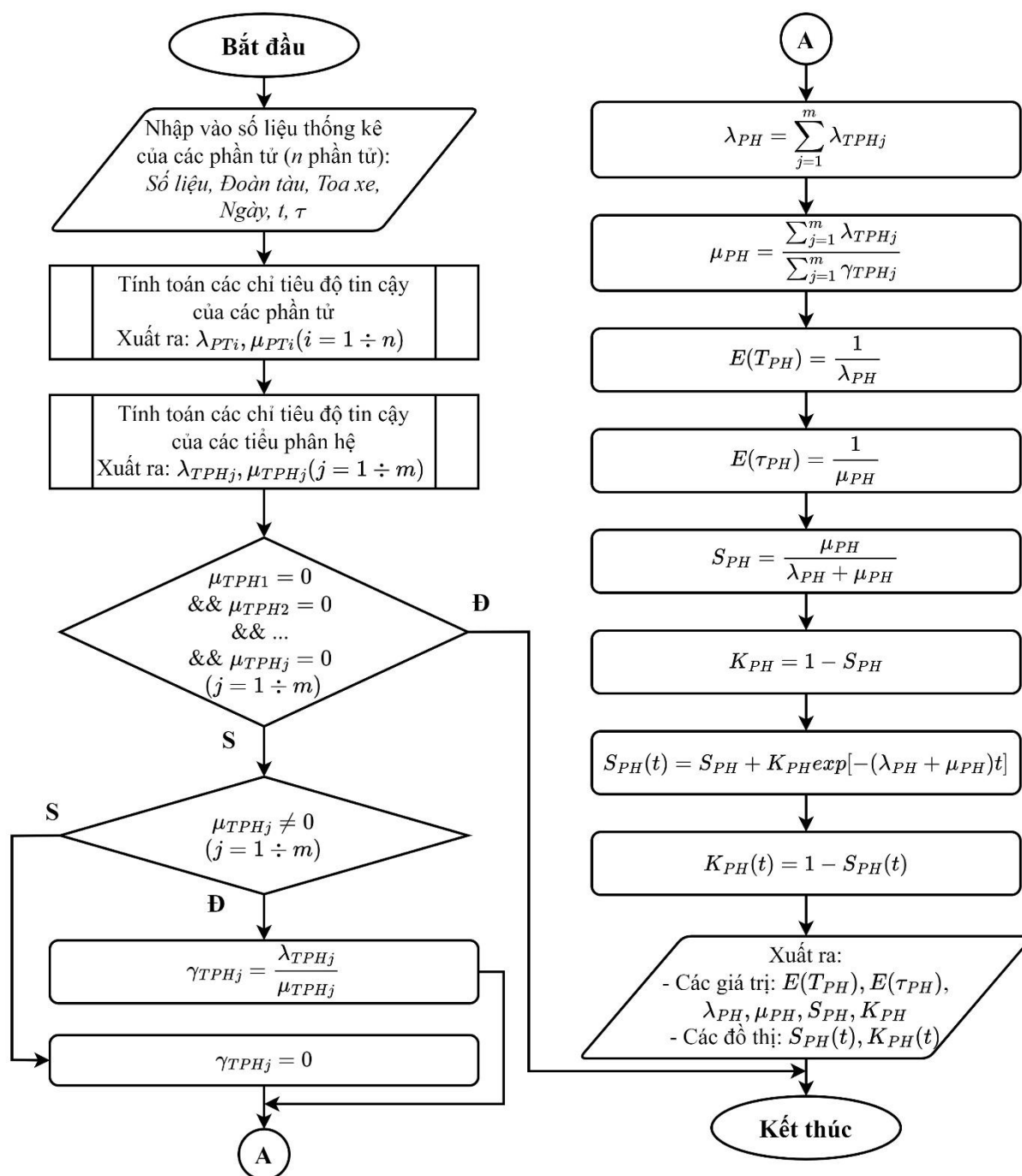
Hình 3.1. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phương tiện

3.2.2. Lưu đồ thuật toán tính toán trạng thái giới hạn của phương tiện



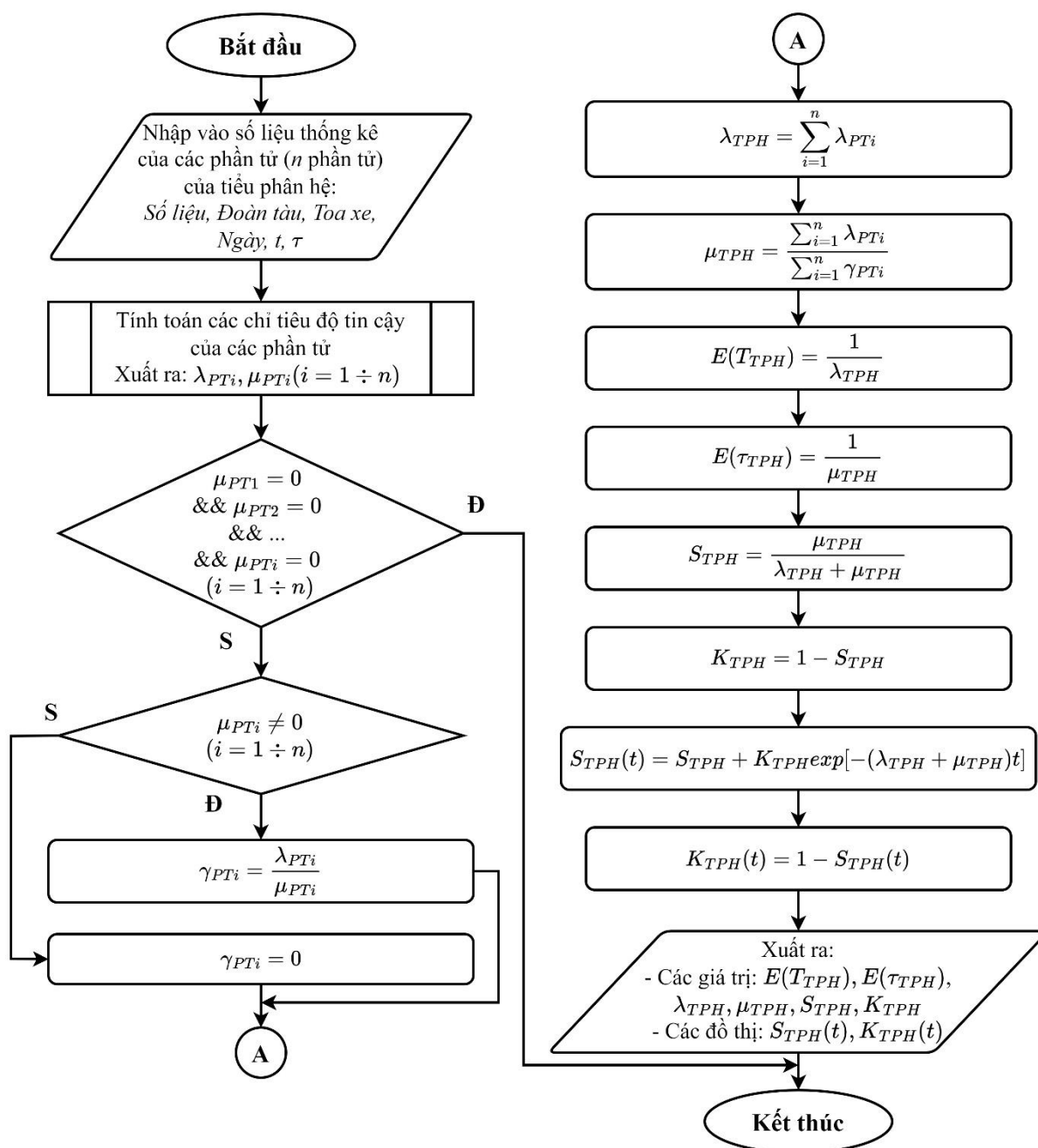
Hình 3.2. Lưu đồ thuật toán tính toán trạng thái giới hạn của phương tiện

3.2.3. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phân hệ



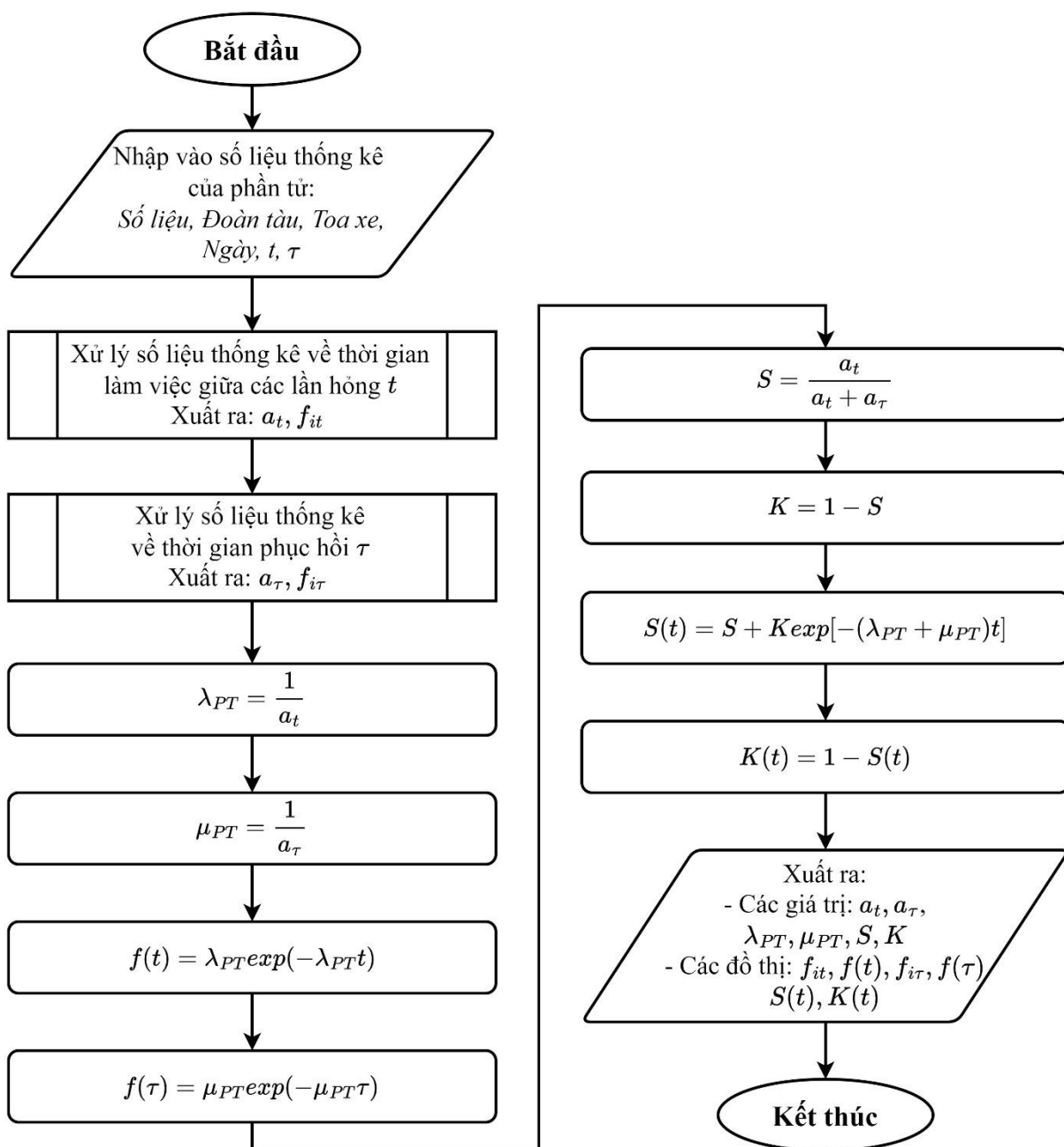
Hình 3.3. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phân hệ

3.2.4. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của tiểu phân hệ



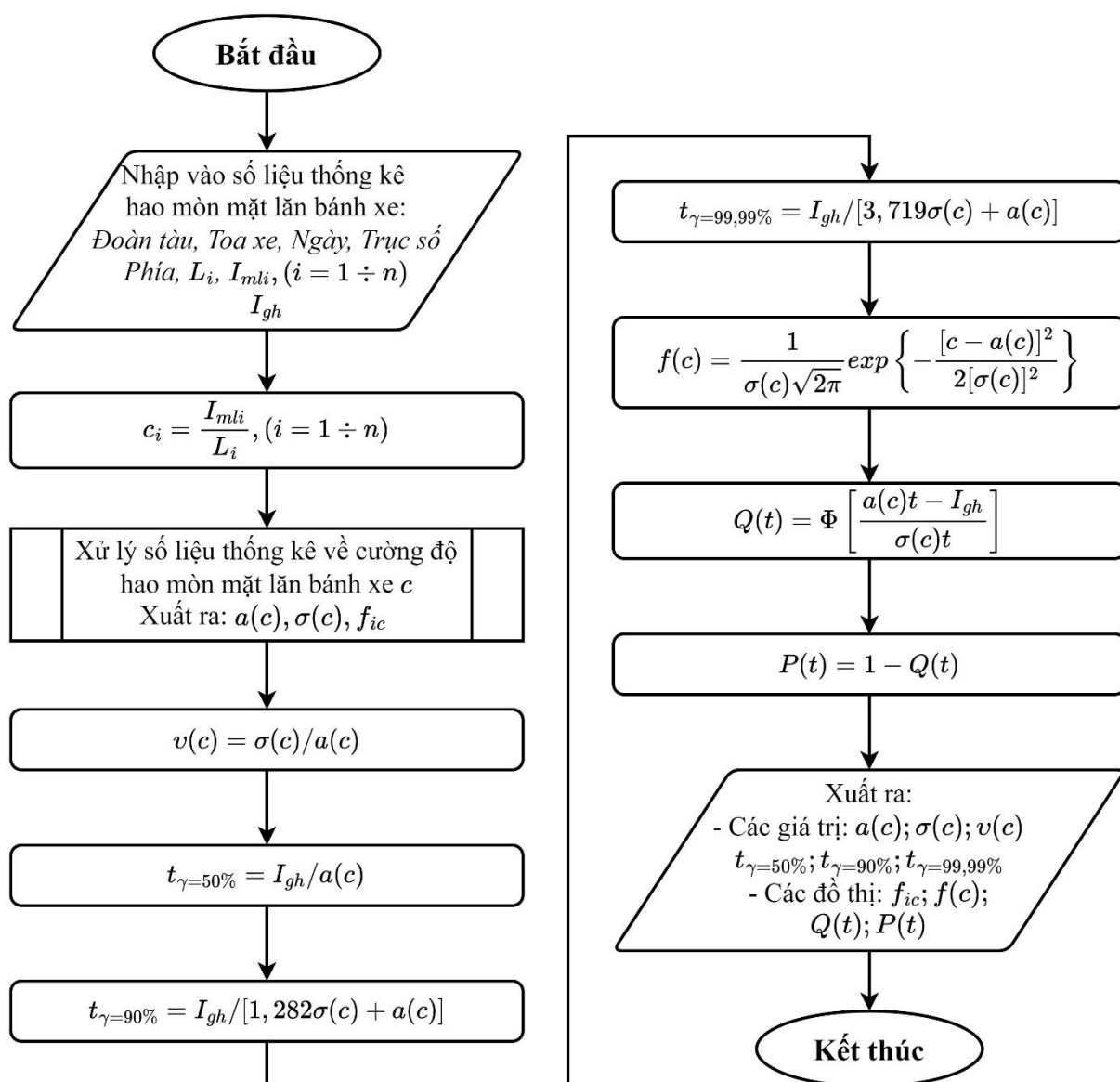
Hình 3.4. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của tiểu phân hệ

3.2.5. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phân tử



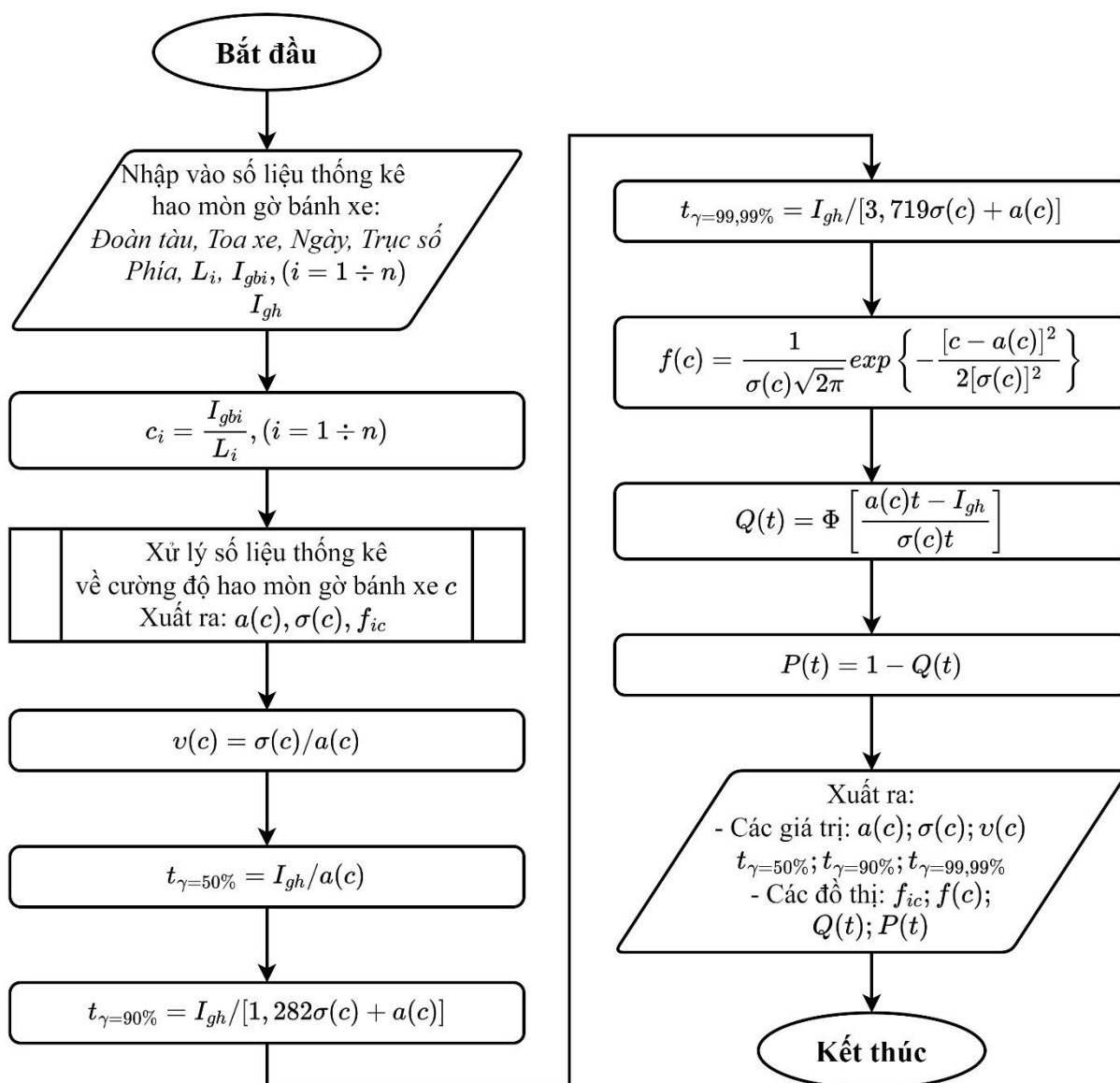
Hình 3.5. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phân tử

3.2.6. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn bánh xe



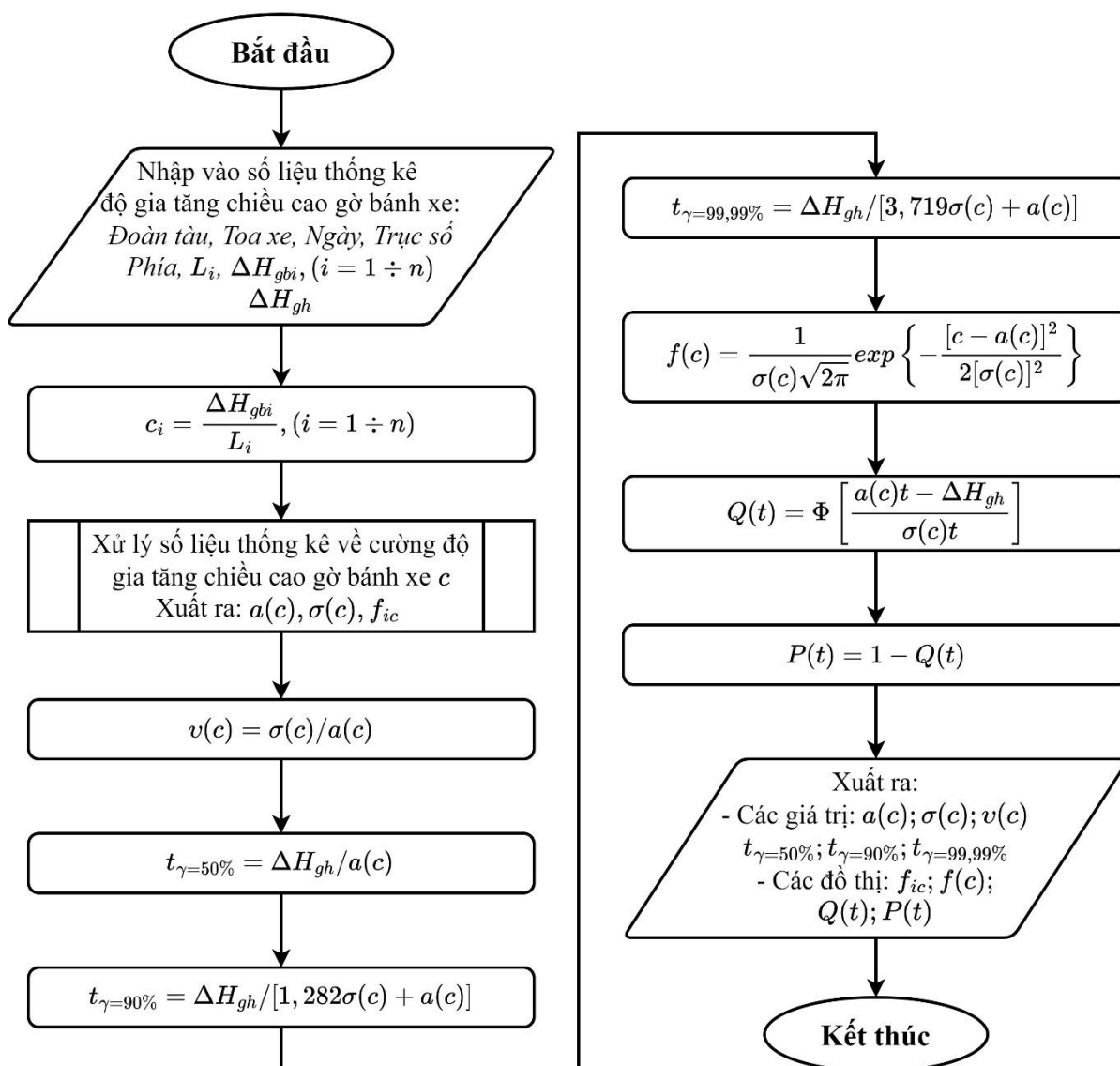
Hình 3.6. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn bánh xe

3.2.7. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh xe



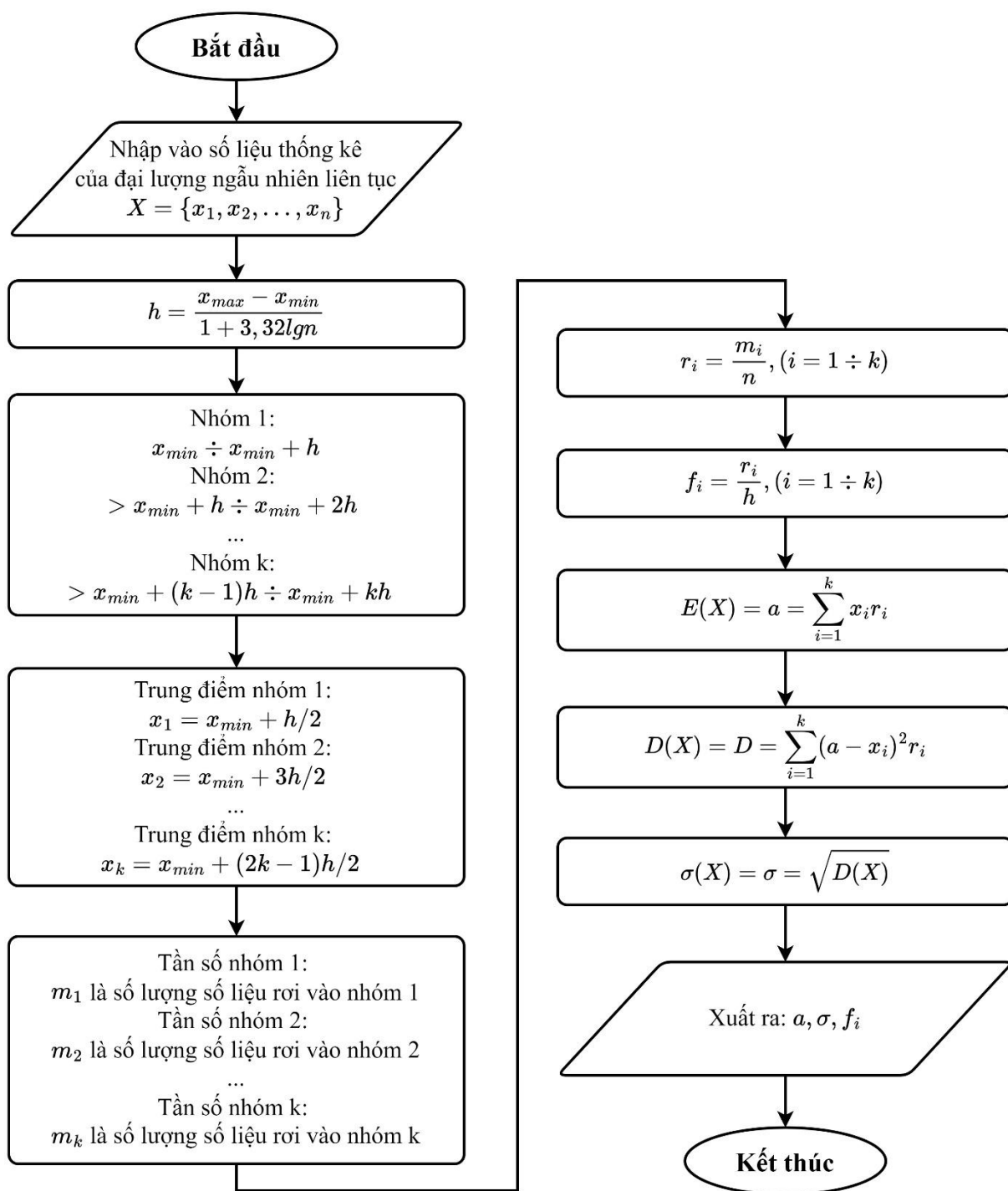
Hình 3.7. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh xe

3.2.8. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe



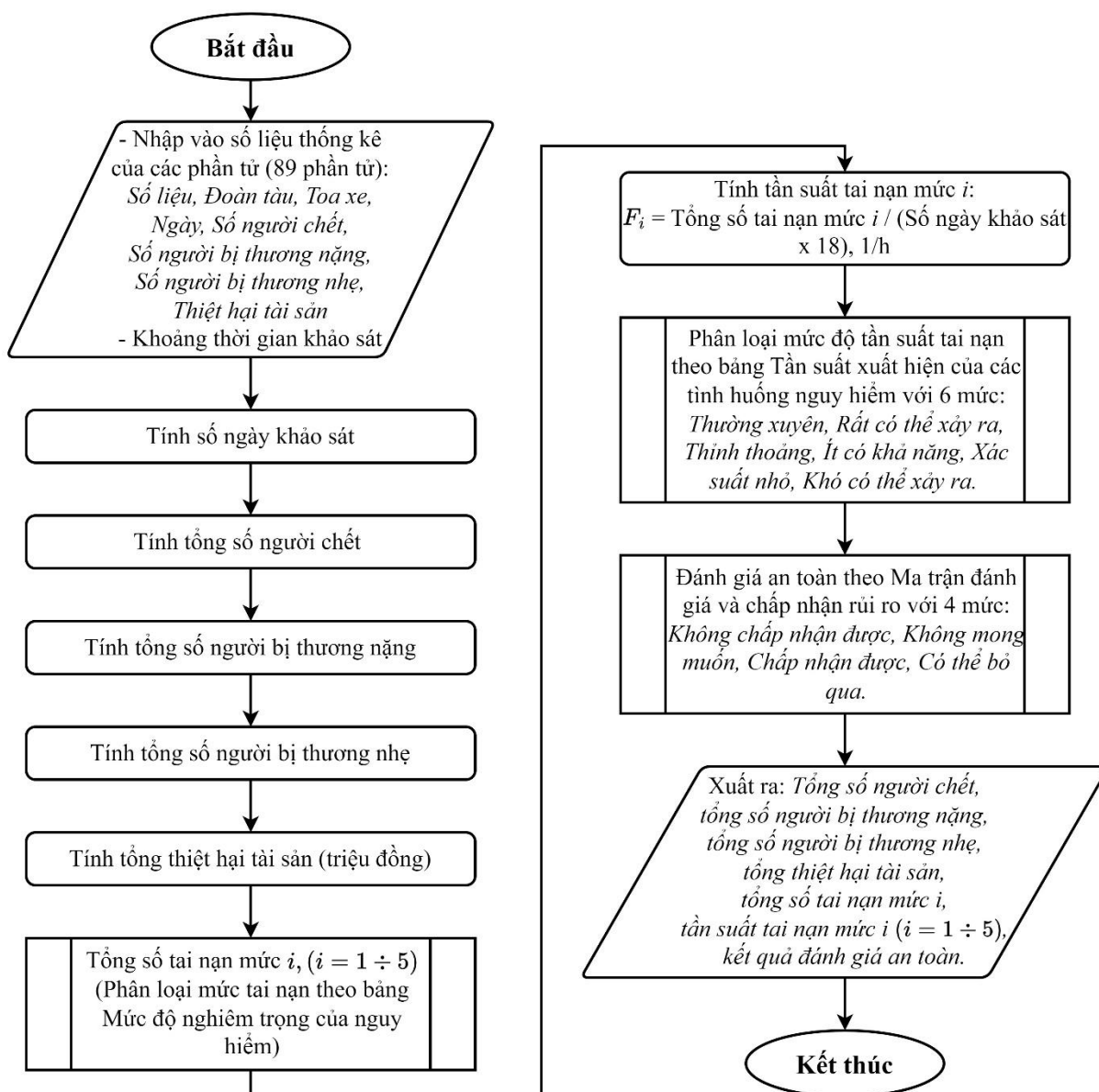
Hình 3.8. Lưu đồ thuật toán tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe

3.2.9. Lưu đồ thuật toán xử lý số liệu thống kê



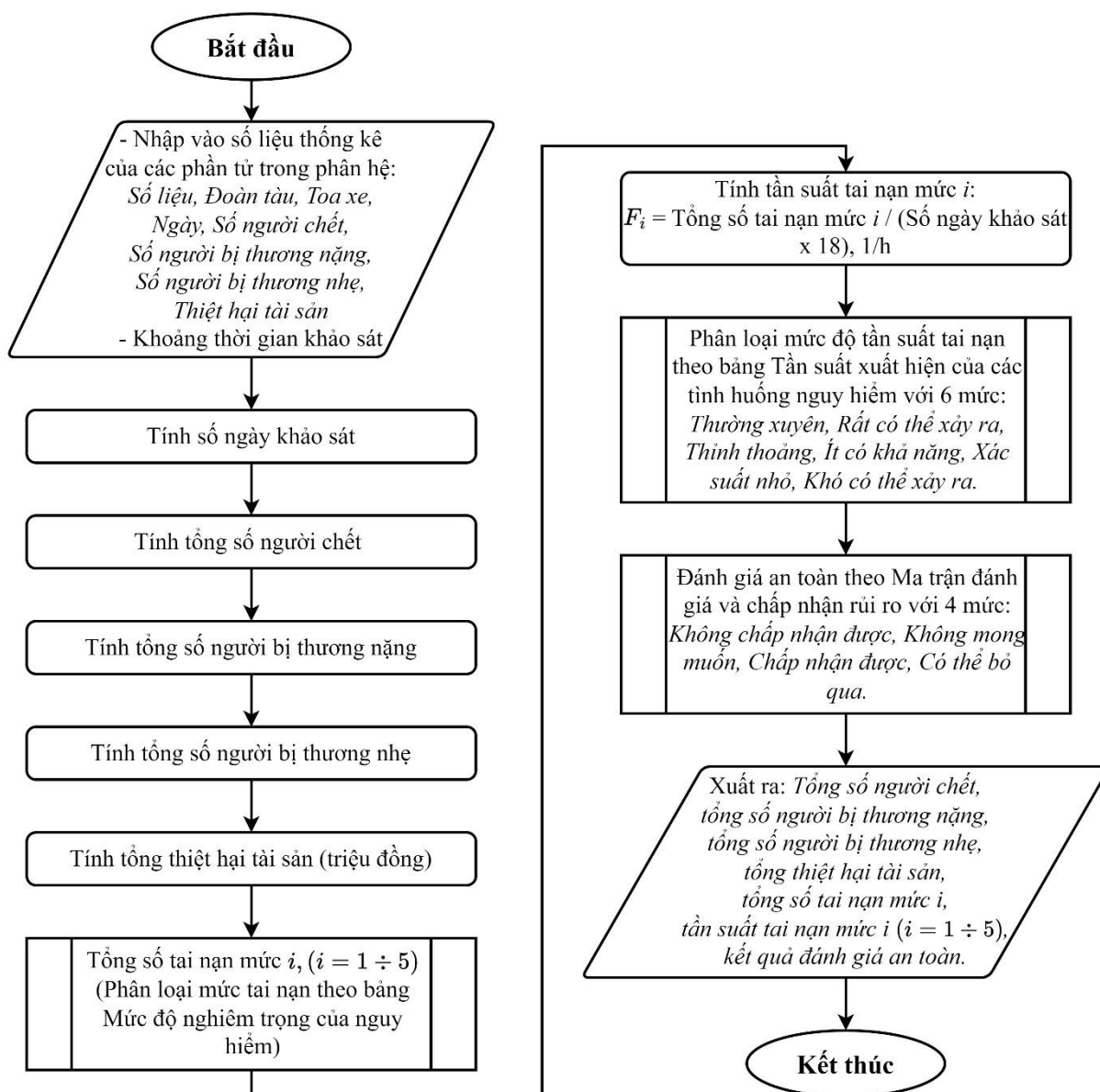
Hình 3.9. Lưu đồ thuật toán xử lý số liệu thống kê

3.2.10. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phương tiện



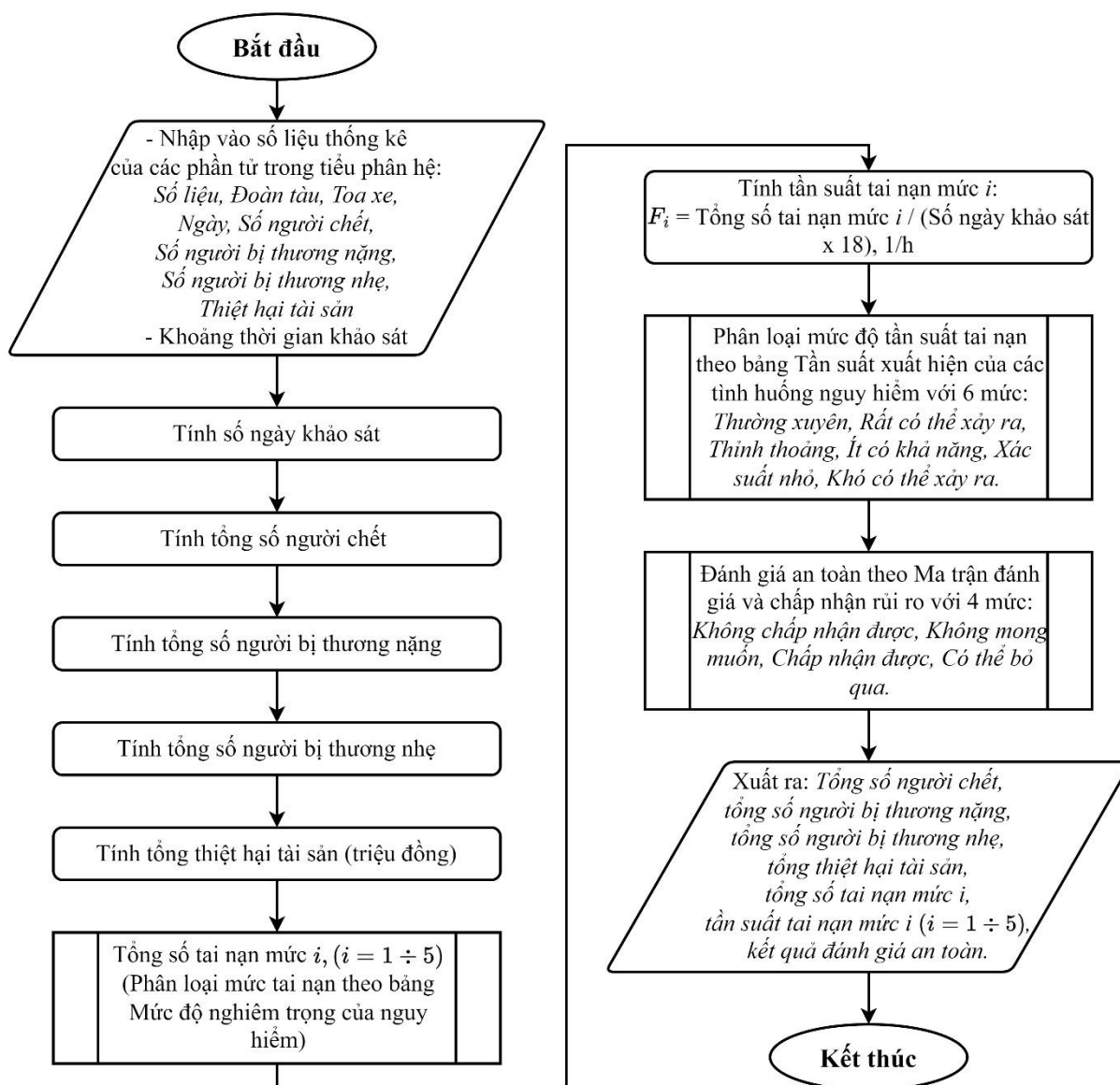
Hình 3.10. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phương tiện

3.2.11. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phân hệ



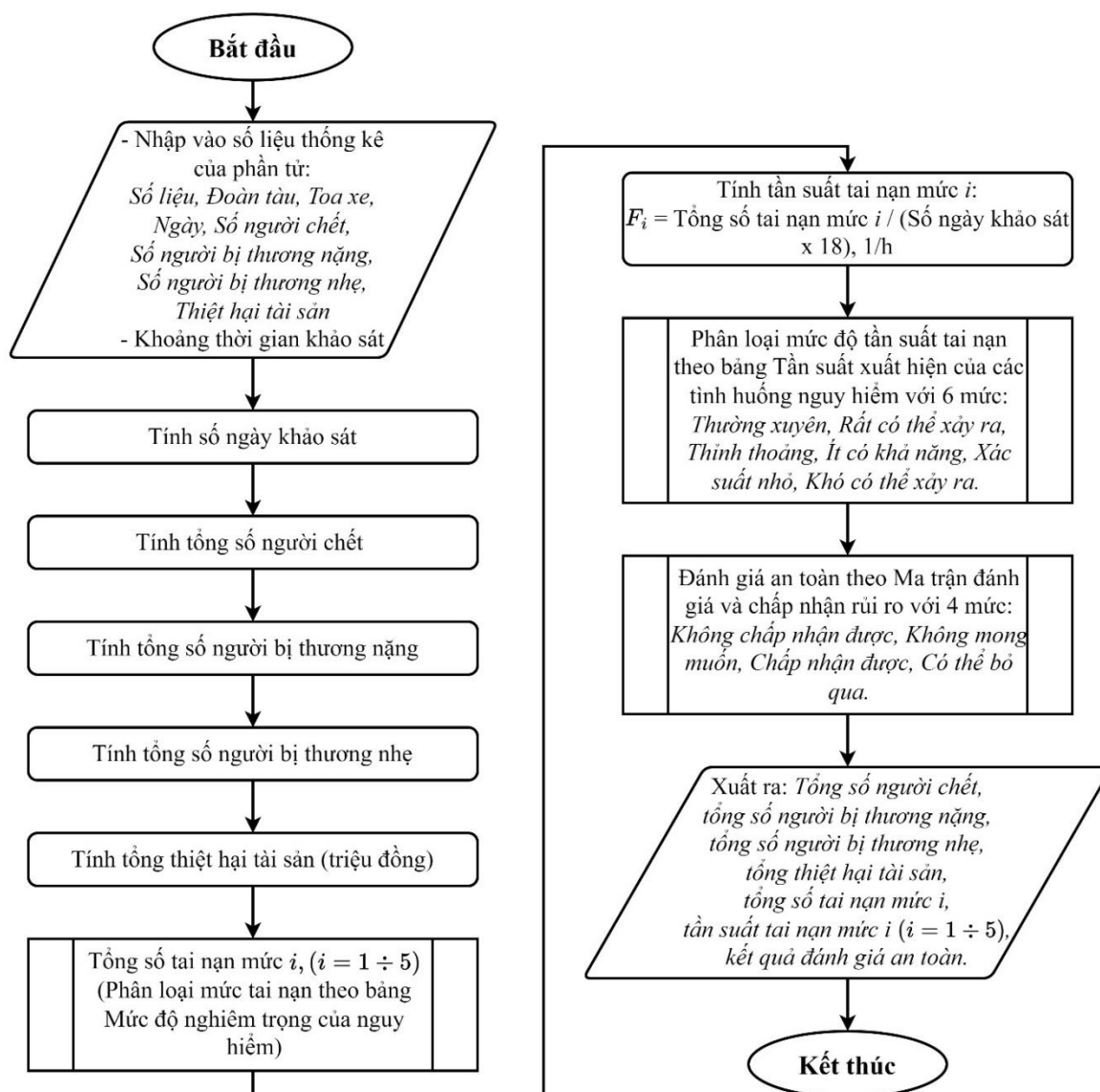
Hình 3.11. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phân hệ

3.2.12. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của tiểu phân hệ



Hình 3.12. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của tiểu phân hệ

3.2.13. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phần tử



Hình 3.13. Lưu đồ thuật toán tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phần tử

KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

1. Phần mềm đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác được xây dựng trên cơ sở ngôn ngữ lập trình Java và hệ quản trị cơ sở dữ liệu SQLite với nhiều chức năng tùy biến, có giao diện thuần Việt, thân thiện, dễ sử dụng, cho phép tiến hành các tính toán một cách thuận lợi, nhanh chóng và chính xác.

2. Từ các số liệu thống kê cập nhật, phần mềm cho phép:

- Tính toán và đánh giá được các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của các phần tử, các tiểu phân hệ, các phân hệ và tổng thể phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến cũng như quá trình sửa chữa đột xuất tại depot theo nhiều tổ hợp phương án khác nhau với các khoảng thời gian khảo sát khác nhau.

- Tính toán và đánh giá được xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến cũng như quá trình sửa chữa đột xuất tại depot.

- Tính toán và đánh giá được độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe trên phương tiện do hao mòn trong quá trình vận hành trên tuyến.

3. Đây là phần mềm lần đầu tiên được xây dựng trong lĩnh vực phương tiện đường sắt đô thị ở Việt Nam, cụ thể là tuyến Cát Linh - Hà Đông, là cơ sở tham khảo cho việc xây dựng phần mềm đối với các phân hệ khác của tuyến này nói riêng và các tuyến đường sắt đô thị khác nói chung.

CHƯƠNG 4

ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

4.1. SỐ LIỆU THỐNG KÊ TỔNG QUÁT VỀ SỰ CỐ VÀ HAO MÒN BÁNH XE TRÊN ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG

Trong khoảng thời gian từ khi bắt đầu khai thác 06/11/2021 đến 30/4/2025 (42 tháng hay 3 năm 6 tháng) đã thu thập được các loại số liệu thống kê về sự cố và hao mòn bánh xe của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông, được thể hiện trong các Bảng 4.1 - 4.5.

Bảng 4.1. Số liệu thống kê tổng quát

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 cố 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
02	0	744	416	416	416

Bảng 4.2. Số liệu thống kê các sự cố của các phân hệ được sửa chữa đột xuất tại depot

Phân hệ thân xe	Phân hệ bộ phận chạy	Phân hệ truyền động	Phân hệ thiết bị hãm	Phân hệ điều khiển	Phân hệ thiết bị phụ	Tổng số
172	0	135	197	4	236	744

Bảng 4.3. Số lượng sự cố trên các đoàn tàu được sửa chữa đột xuất tại depot

HN001	HN002	HN003	HN004	HN005	HN006	HN007
70	41	39	63	42	75	84
HN008	HN009	HN010	HN011	HN012	HN013	Tổng số
47	76	46	62	43	56	744

Bảng 4.4. Số lượng sự cố trên các toa xe được sửa chữa đột xuất tại depot

Tc1	M0	M1	Tc2	Tổng số
201	171	178	194	744

Bảng 4.5. Số lượng số liệu thống kê về hao mòn bánh xe trên đoàn tàu

Hao mòn bánh xe											
Số liệu hao mòn mặt lăn				Số liệu hao mòn gờ bánh				Số liệu gia tăng chiều cao gờ bánh			
416				416				416			
Tc1	M0	M1	Tc2	Tc1	M0	M1	Tc2	Tc1	M0	M1	Tc2
104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104

Số lượng sự cố của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot trong thời gian từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 được thể hiện trong các Bảng 4.6 - 4.11.

Bảng 4.6. Số lượng sự cố của phân hệ thân xe trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
PH1	Phân hệ thân xe						
		TPH1.1	Thân tàu và trang trí nội thất				
				PT1.1.1	Thân tàu	8	
				PT1.1.2	Trang trí nội thất	0	
		TPH1.2	Thiết bị đường xuyên suốt	PT 1.2.1	Thiết bị đường xuyên suốt	12	
		TPH1.3	Thiết bị móc tàu và giảm xóc				
				PT1.3.1	Thiết bị móc nối bán tự động	0	
				PT1.3.2	Thiết bị móc nối bán vĩnh cửu kèm ống lồng	0	
				PT1.3.3	Thiết bị móc nối bán vĩnh cửu kèm bộ giảm xóc	0	
				PT1.3.4	Thiết bị móc nối bán tự động trung gian	0	
		TPH1.4	Cửa thoát hiểm khẩn cấp				
				PT1.4.1	Cửa thoát hiểm khẩn cấp	1	
				PT1.4.2	Thang thoát hiểm	0	
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách	PT1.5.1	Cửa hông khoang khách	141	
		TPH1.6	Cửa hông buồng lái	PT1.6.1	Cửa hông buồng lái	10	
					Tổng số	172	

Bảng 4.7. Số lượng sự cố của phân hệ bộ phận chạy trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
PH2	Phân hệ bộ phận chạy	TPH2.1	Giá chuyển hướng				
				PT2.1.1	Khung giá	0	
				PT2.1.2	Cặp bánh xe	0	
				PT2.1.3	Tổ hợp đầu trục	0	
				PT2.1.4	Hệ lò xo hộp trục	0	
				PT2.1.5	Hệ lò xo trung ương	0	
				PT2.1.6	Thiết bị kéo dẫn	0	
				PT12.1.7	Linh kiện hãm cơ bản	0	
				PT12.1.8	Hộp bánh răng	0	
				PT2.1.9	Khớp nối trục	0	

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
				PT2.1.10	Ăng ten bộ phát đáp và bộ phận gạt bỏ chương ngại vật	0	
				PT2.1.11	Đề lắp đặt bộ lấy điện và phụ kiện	0	
				PT2.1.12	Cáp, quang an toàn	0	
				PT2.1.13	Cảm biến tốc độ	0	
					Tổng số	0	

Bảng 4.8. Số lượng sự cố của phân hệ truyền động trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh

- Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
PH3	Phân hệ truyền động						
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện				
			PT3.1.1	Tủ điện cao áp loại TPQ86L	21		
			PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H	16		
			PT3.1.3	Hộp điện trở phanh loại TR8074	0		
			PT3.1.4	Bộ điện kháng lọc sóng loại LKDG-2×420A-5mH-A	0		
			PT3.1.5	Tủ cầu chì thanh cái loại TPK79F	0		
			PT3.1.6	Tủ máy cắt nhanh thanh cái TDG3C	7		
			PT3.1.7	Bộ điều khiển lái tàu loại S353CC.028	3		
			PT3.1.8	Bộ gom dòng	86		
			PT3.1.9	Động cơ kéo dẫn không đồng bộ loại YQ-190-21	2		
		PT3.1.10	Thiết bị tiếp đất	0			
					Tổng số	135	

Bảng 4.9. Số lượng sự cố của phân hệ thiết bị hãm trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh

- Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
PH4	Phân hệ thiết bị hãm						
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí				
			PT4.1.1	Hệ thống cấp khí	13		
			PT4.1.2	Bộ lọc kèm thoát nước 3/4”	0		
			PT4.1.3	Bộ phận điều khiển hãm	14		
			PT4.1.4	Kết cấu mô đun hãm	13		
			PT4.1.5	Van xả gió chống trượt	4		
			PT4.1.6	Bộ cảm biến tốc độ (chống trượt)	3		
			PT4.4.7	Van điều chỉnh độ cao	95		
				PT4.4.8	Van chênh lệch áp suất	51	

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
				PT4.4.9	Bộ phận hãm quốc	1	
				PT4.4.10	Khóa van thoát khí kiểu tiếp điểm điện	3	
				PT4.4.11	Đầu cuối bảo vệ hệ thống hãm, ống mềm	0	
				PT4.4.12	Van nhà hãm	0	
				PT4.4.13	Đồng hồ đo áp suất ki, đôi	0	
				PT4.4.14	Lò xo không khí	0	
				PT4.4.15	Bộ lọc bụi	0	
					Tổng số	197	

Bảng 4.10. Số lượng sự cố của phân hệ điều khiển trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh

- Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
PH5	Phân hệ điều khiển						
		TPH5.1	Điều khiển và giám sát				
				PT5.1.1	Bộ hiển thị HMI	0	
				PT5.1.2	Module lập tín hiệu REP	0	
				PT5.1.3	Module điều khiển tàu VCMe	0	
				PT5.1.4	Module ra/vào Digital DIME1.2	0	
				PT5.1.5	Module vào Digital DIME1.2	0	
				PT5.1.6	Module ghi nhớ EDRM	0	
				PT5.1.7	Module ra/vào Analog AXMe	0	
				PT5.1.8	Bộ hiển thị MM1	4	
				PT5.1.9	Nút ấn tín hiệu	0	
				PT5.1.10	Module tín hiệu	0	
					Tổng số	4	

Bảng 4.11. Số lượng sự cố của phân hệ thiết bị phụ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh

- Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
PH6	Phân hệ thiết bị phụ						
		TPH6.1	Nguồn điện phụ trợ				
				PT6.1.1	Nguồn điện phụ trợ	6	
				PT6.1.2	Tủ cao áp phụ trợ	0	
				PT6.1.3	Tủ cấp điện mở rộng	0	
				PT6.1.4	Tủ cầu dao tiếp đất	0	
				PT6.1.5	Ắc quy	3	
				PT6.1.6	Bộ nghịch lưu (bộ biến tần/bộ chuyển dòng) thông gió khẩn cấp	6	
		TPH6.2	Hệ thống điều hòa				
				PT6.2.1	Tổ máy điều hòa toa khách	47	

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
				PT6.2.2	Bộ thông gió buồng lái	2	
				PT6.2.3	Quạt gió hướng tâm	1	
				PT6.2.4	Thiết bị bảo vệ an toàn	14	
		TPH6.3	Hệ thống điện buồng lái				
				PT6.3.1	Bàn lái tàu	18	
				PT6.3.2	Tủ điều khiển	9	
				PT6.3.3	Tủ tổng hợp	0	
				PT6.3.4	Màn hình bên trái	0	
				PT6.3.5	Màn hình bên phải	0	
				PT6.3.6	Đèn chiếu trước	18	
				PT6.3.7	Bộ gạt nước	26	
		TPH6.4	Hệ thống điện khoang khách				
				PT6.4.1	Chiếu sáng khoang khách	50	
				PT6.4.2	Thiết bị hệ thống phát thanh toa xe	13	
				PT6.4.3	Đèn báo phía ngoài toa xe	0	
				PT6.4.4	Thiết bị đầu nối điều hòa	0	
				PT6.4.5	Tủ điều khiển điện	2	
				PT6.4.6	Tủ điều khiển điều hòa	0	
		TPH6.5	Hệ thống phát thanh đoàn tàu				
				PT6.5.1	Tổ hợp thiết bị hệ thống	21	
				PT6.5.2	Đầu nối điện	0	
		TPH6.6	Thiết bị thông tin vô tuyến				
				PT6.6.1	Giới thiệu MDT-300	0	
				PT6.6.2	Kết cấu cơ bản	0	
				PT6.6.3	Máy chính	0	
				PT6.6.4	Hộp điều khiển	0	
				PT6.5.5	Ăng ten	0	
					Tổng số	236	
					Tổng cộng (Bảng 4.6 - 4.11)	744	

Số liệu thống kê về thời gian làm việc và thời gian phục hồi của các phần tử trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot trong thời gian từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 gồm 744 sự cố được cho trong Bảng 1.62 Phụ lục 1.

4.2. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG VÀ KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG CỦA CÁC PHÂN HỆ TRÊN ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

Quá trình đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác được thực hiện trên cơ sở số liệu thống kê đã thu thập và bằng Phần mềm “Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác” đã xây dựng ở Chương 3.

4.2.1. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng của các phân hệ gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến

4.2.1.1. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng của phân hệ thiết bị phụ gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến

Số liệu thống kê về sự cố gây gián đoạn chạy tàu và thời gian phục hồi của các phần tử thuộc phân hệ thiết bị phụ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 được cho trong Bảng 4.12.

Bảng 4.12. Số liệu thống kê về sự cố gây gián đoạn chạy tàu và thời gian phục hồi của các phần tử trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
1	H008	Tc2	04-8-2023	15.264	0,083
2	H007	Tc1	01-10-2024	25.440	0,75

Ghi chú:

1. Đối với đoàn tàu HN008: ngày 04/8/2023, toa xe Tc2, Phân hệ thiết bị phụ (6), Tiểu phân hệ Điện buồng lái (6.3), Phần tử Tủ điều khiển (6.3.2), tại ga Cát Linh không xuất phát được do mất sức kéo, do lỗi rơ le 5 km/h 20K72, phải dừng ở ga Cát Linh gây chậm tàu 5 phút sau khi đã điều tàu HN013 lên thay thế.

2. Đối với đoàn tàu HN007: ngày 01/10/2024, toa xe Tc1, Phân hệ thiết bị phụ (6), Tiểu phân hệ Hệ thống điện khoang khách (6.4), Phần tử Tủ điều khiển điện (6.4.5) tại ga Cát Linh không nhả hãm do lỗi rơ le 20K72, đã đổi tàu dự phòng chạy thay thế từ ga Cát Linh gây chậm tàu 45 phút. (Tại depot, sự cố này đã được khắc phục bằng cách lấy rơ le 20K72 từ toa Tc2 đoàn tàu HN008 ở depot lắp sang).

Kết quả tính toán được thể hiện trên các giao diện Hình 4.1 và Bảng 4.13.

Bảng 4.13. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng của Phân hệ thiết bị phụ trong quá trình vận hành trên tuyến giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (2 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 9540,0 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 0,333125 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,000104822 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 3,00188 \text{ h}^{-1}$

TT	Chỉ tiêu	Trị số
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,999965 + 3,49175.10^{-5}\exp(-3,00198t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,999965$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 3,49175.10^{-5} - 3,49175.10^{-5}\exp(-3,00198t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 3,49175.10^{-5}$

6. PHÂN HỆ THIẾT BỊ PHỤ

Độ tin cậy | An toàn

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Thời gian làm việc trung bình $E(T_s)$ (h): 9540.00

Thời gian phục hồi trung bình $E(r_s)$ (h): 0.333125

Cường độ hỏng λ_s (1/h): 0.000104822

Cường độ phục hồi μ_s (1/h): 3.00188

Hệ số sẵn sàng S_s : 0.999965

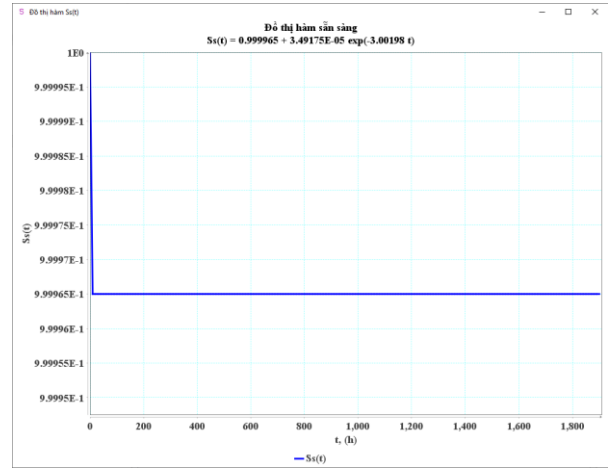
Hệ số không sẵn sàng K_s : 3.49175E-05

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 thị toán và cập nhật số liệu

a. Giao diện tổng quát xác định các chỉ tiêu độ tin cậy của phân hệ thiết bị phụ trong quá trình vận hành trên tuyến



b. Giao diện hiển thị hàm sẵn sàng của phân hệ thiết bị phụ trong quá trình vận hành trên tuyến

SỐ LIỆU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
6. PHÂN HỆ THIẾT BỊ PHỤ

Số liệu: Trên tuyến

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: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

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
6.4.5	2	Trên tuyến	HN007	Tc1	01-10-2024	25440	0.75

c. Giao diện hiển thị số liệu thống kê thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của phân hệ thiết bị phụ trong quá trình vận hành trên tuyến

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
6. PHÂN HỆ THIẾT BỊ PHỤ

Số liệu: Trên tuyến

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: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$E(T_s)$	9540.00	h
2	$E(r_s)$	0.333125	h
3	λ_s	0.000104822	1/h
4	μ_s	3.00188	1/h
5	S_s	0.999965	
6	K_s	3.49175E-05	
7	$S_s(t)$	$0.999965 + 3.49175E-05 \exp(-3.00198 t)$	
8	$K_s(t)$	$3.49175E-05 - 3.49175E-05 \exp(-3.00198 t)$	

d. Giao diện hiển thị các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy của phân hệ thiết bị phụ trong quá trình vận hành trên tuyến

Hình 4.1. Giao diện tính toán và hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy của phân hệ thiết bị phụ trong quá trình vận hành trên tuyến

Qua đây thấy rằng, mức tin cậy hay tính sẵn sàng của phân hệ thiết bị phụ khi vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian khảo sát là thấp nhất so với các phân hệ khác, nhưng cũng có giá trị là rất cao, với $S_s = 0,999965$. Các phân hệ còn lại được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

4.2.1.2. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng của các phân hệ khác gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến

Trong khoảng thời gian bắt đầu đưa vào khai thác từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 không xảy ra bất kỳ sự cố nào đối với các Phân hệ thân xe, Phân hệ bộ phận chạy, Phân hệ truyền động, Phân hệ thiết bị hãm và Phân hệ điều khiển gây gián đoạn chạy tàu (chậm tàu) trên tuyến. Do đó các Phân hệ này được coi là có độ tin cậy tuyệt đối trong khoảng thời gian khảo sát đã nêu.

4.2.2. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các phân hệ trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại depot

4.2.2.1. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phân hệ thân xe trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại depot

Phân hệ thân xe được phân chia thành 6 Tiểu phân hệ với tổng số 11 phần tử. Tổng sự cố của các phần tử và phân hệ là 172, trong đó Phần tử cửa hông khoang khách có số sự cố là lớn nhất: 141 sự cố (xem Bảng 4.5). Số liệu thống kê về thời gian làm việc và thời gian phục hồi của phần tử trong Phân hệ thân xe được trích xuất trong Bảng 1.62 Phụ lục 1.

Dưới đây đơn cử quá trình tính toán độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phần tử cửa hông khoang khách. Kết quả tính toán thể hiện trên Hình 4.2 và Bảng 4.14.

Bảng 4.14. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phần tử cửa hông khoang khách tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (145 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$a_t = 7.607,69 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$a_r = 5,07782 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda = 0,000131446 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu = 0,196935 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S(t) = 0,999333 + 0,006667014\exp(-0,197006t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S = 0,999333$
7	Hàm không sẵn sàng	$K(t) = 0,006667014 - 0,006667014\exp(-0,197006t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K = 0,006667014$

Số liệu Đôn tin: Tòa xe Thời gian Chức năng

1.5.1. HỆ THỐNG CỬA HỒNG KHOANG KHÁCH

Độ tin cậy: An toàn

ID	Số liệu	Đơn vị	Tọa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
130	Tại Depot	HN007	Tc1	12-12-2024	1128	0.5
131	Tại Depot	HN007	Tc1	24-02-2025	1776	0.5
132	Tại Depot	HN007	M0	12-12-2024	1128	0.5
133	Tại Depot	HN007	M0	08-01-2025	648	0.5
134	Tại Depot	HN007	Tc1	12-12-2024	1128	0.5
135	Tại Depot	HN007	Tc1	24-02-2025	1776	0.5
136	Tại Depot	HN007	M0	12-12-2024	1128	0.5
137	Tại Depot	HN007	M0	08-01-2025	648	0.5
138	Tại Depot	HN011	M0	19-01-2025	1080	0.5
139	Tại Depot	HN011	M1	28-04-2025	4104	0.5
140	Tại Depot	HN011	Tc2	10-01-2025	1080	0.5
141	Tại Depot	HN011	Tc2	16-02-2025	888	0.5
142	Tại Depot	HN012	Tc1	20-02-2025	12624	0.5
143	Tại Depot	HN013	M1	05-12-2024	1992	0.5

Độ tin cậy:

Số liệu:

Đơn vị:

Tọa xe:

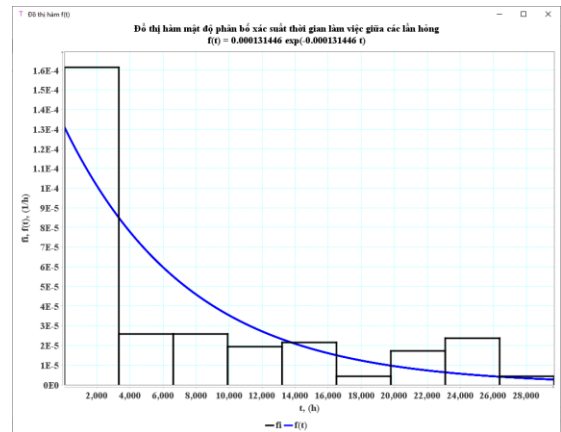
Ngày:

Thời gian làm việc t (h):

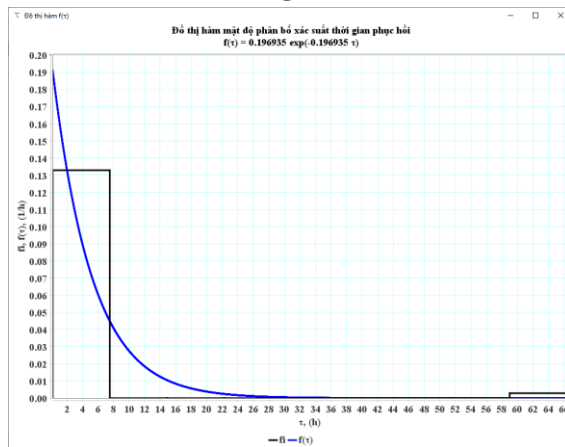
Thời gian phục hồi τ (h):

Đồ thị toán và cập nhật số liệu

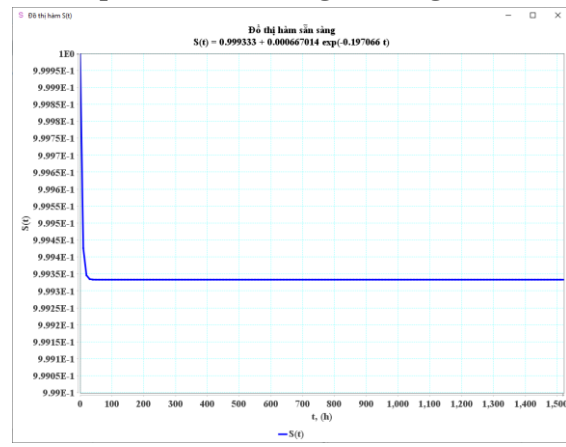
a. Giao diện tổng quát xác định các chỉ tiêu độ tin cậy của phần tử cửa hồng khoang khách



b. Giao diện hiển thị hàm mật độ phân bố thời gian làm việc giữa các lần hỏng của phần tử cửa hồng khoang khách



c. Giao diện hiển thị hàm mật độ phân bố thời gian phục hồi của phần tử cửa hồng khoang khách



d. Giao diện hiển thị hàm sẵn sàng của phần tử cửa hồng khoang khách

SỐ LIỆU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY

1.5.1. HỆ THỐNG CỬA HỒNG KHOANG KHÁCH

Số liệu: - Tại Depot

Đơn vị: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013

Tọa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2

Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

ID	Số liệu	Đơn vị	Tọa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
128	Tại Depot	HN006	Tc2	03-01-2025	1080	0.5
129	Tại Depot	HN006	Tc2	19-02-2025	1128	0.5
130	Tại Depot	HN007	Tc1	12-12-2024	1128	0.5
131	Tại Depot	HN007	Tc1	24-02-2025	1776	0.5
132	Tại Depot	HN007	M0	12-12-2024	1896	0.5
133	Tại Depot	HN007	M0	08-01-2025	648	0.5
134	Tại Depot	HN007	Tc1	12-12-2024	1128	0.5
135	Tại Depot	HN007	Tc1	24-02-2025	1776	0.5
136	Tại Depot	HN007	M0	12-12-2024	1896	0.5
137	Tại Depot	HN007	M0	08-01-2025	648	0.5
138	Tại Depot	HN011	M1	10-01-2025	1080	0.5
139	Tại Depot	HN011	M1	28-04-2025	4104	0.5
140	Tại Depot	HN011	Tc2	10-01-2025	1080	0.5
141	Tại Depot	HN011	Tc2	16-02-2025	888	0.5
142	Tại Depot	HN012	Tc1	20-02-2025	12624	0.5
143	Tại Depot	HN013	M1	05-12-2024	1992	0.5

e. Giao diện hiển thị số liệu thống kê thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của phần tử cửa hồng khoang khách

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY

1.5.1. HỆ THỐNG CỬA HỒNG KHOANG KHÁCH

Số liệu: - Tại Depot

Đơn vị: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013

Tọa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2

Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	at	7607.69	h
2	ar	5.07782	h
3	λ	0.000131446	1/h
4	μ	0.196935	1/h
5	S	0.999333	
6	K	0.000667014	
7	f(t)	$0.000131446 \exp(-0.000131446 t)$	1/h
8	f(t)	$0.196935 \exp(-0.196935 t)$	1/h
9	S(t)	$0.999333 - 0.000667014 \exp(-0.197066 t)$	
10	K(t)	$0.000667014 - 0.000667014 \exp(-0.197066 t)$	

f. Giao diện hiển thị các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy của phần tử cửa hồng khoang khách

Hình 4.2. Giao diện hiển thị kết quả tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phần tử cửa không khoang khách (145 sự cố)

Sau khi tính toán đối với các phần tử, tiến hành tính toán cho phân hệ thân xe. Kết quả thể hiện trên các giao diện Hình 4.3 và Bảng 4.15.

1. PHẦN HỆ THÂN XE

Độ tin cậy An toàn

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Thời gian làm việc trung bình $E(T_s)$ (h) 3053.79

Thời gian phục hồi trung bình $E(\tau_s)$ (h) 4.65349

Cường độ hỏng λ_s (1/h) 0.000327462

Cường độ phục hồi μ_s (1/h) 0.214892

Hệ số sẵn sàng S_s 0.998478

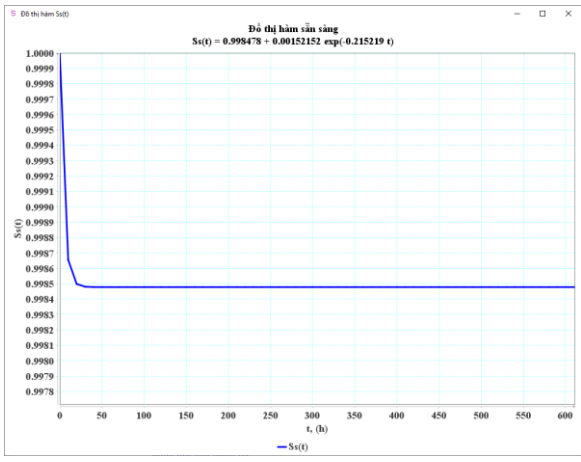
Hệ số không sẵn sàng K_s 0.00152152

Hàm sẵn sàng $S_s(t)$ ☒ Đồ thị $S_s(t)$

Hàm không sẵn sàng $K_s(t)$ ☒ Đồ thị $K_s(t)$

Đã tính toán và cập nhật số liệu

a. Giao diện tổng quát xác định các chỉ tiêu độ tin cậy của phân hệ



b. Giao diện hiển thị hàm sẵn sàng của phân hệ

SỐ LIỆU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
1. PHẦN HỆ THÂN XE

Số liệu: - Tại Depot

Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013

Tàu xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2

Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

Phần tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Tàu xe	Ngày	t (h)	τ (h)
1.5.1	138	Tại Depot	HN011	M0	10-01-2025	1080	0.5
1.5.1	139	Tại Depot	HN011	M1	28-04-2025	4104	0.5
1.5.1	140	Tại Depot	HN011	Tc2	10-01-2025	1080	0.5
1.5.1	141	Tại Depot	HN011	Tc2	16-02-2025	888	0.5
1.5.1	142	Tại Depot	HN012	Tc1	20-02-2025	12624	0.5
1.5.1	143	Tại Depot	HN013	M1	05-12-2024	1992	0.5
1.6.1	1	Tại Depot	HN006	Tc1	05-11-2023	17448	60
1.6.1	2	Tại Depot	HN007	Tc2	17-04-2022	3888	0.5
1.6.1	3	Tại Depot	HN006	Tc1	11-05-2024	4560	1
1.6.1	4	Tại Depot	HN006	Tc1	12-05-2024	24	0.25
1.6.1	5	Tại Depot	HN006	Tc1	23-05-2024	264	0.25
1.6.1	6	Tại Depot	HN013	Tc1	31-05-2024	22488	0.25
1.6.1	7	Tại Depot	HN004	Tc1	30-08-2024	24672	0.25
1.6.1	8	Tại Depot	HN004	Tc2	30-08-2024	24672	0.25
1.6.1	9	Tại Depot	HN007	Tc2	20-10-2024	22008	0.25
1.6.1	10	Tại Depot	HN013	Tc2	09-04-2025	30000	0.25

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

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
1. PHẦN HỆ THÂN XE

Số liệu: - Tại Depot

Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013

Tàu xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2

Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$E(T_s)$	3053.79	h
2	$E(\tau_s)$	4.65349	h
3	λ_s	0.000327462	1/h
4	μ_s	0.214892	1/h
5	S_s	0.998478	
6	K_s	0.00152152	
7	$S_s(t)$	$0.998478 + 0.00152152 \exp(-0.215219 t)$	
8	$K_s(t)$	$0.00152152 - 0.00152152 \exp(-0.215219 t)$	

d. Giao diện hiển thị các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy của phân hệ

Hình 4.3. Giao diện tính toán và hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ thân xe tại depot

Bảng 4.15. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ thân xe tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (172 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 3053,79 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 4,65349 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,000327462 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 0,214892 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,998478 + 0,00152152 \exp(-0,215219t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,998478$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00152152 - 0,00152152 \exp(-0,215219t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00152152$

4.2.2.2. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phân hệ bộ phận chạy trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại depot

Phân hệ bộ phận chạy được phân chia thành 1 tiểu phân hệ và 13 phần tử. Trong số 13 phần tử, không có phần tử nào xảy ra sự cố (xem Bảng 4.7). Khi đó, phân hệ được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

4.2.2.3. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phân hệ truyền động tại depot

Phân hệ truyền động được phân chia thành 1 tiểu phân hệ và 10 phần tử. Tổng sự cố của phân hệ và các phần tử là 135 được cho trong Bảng 4.8, trong đó phần tử PT3.1.8 (Bộ gom dòng) có số lượng sự cố lớn nhất là 86.

Số liệu thống kê về thời gian làm việc và thời gian phục hồi của phần tử trong Phân hệ truyền động được trích xuất trong Bảng 1.62 Phụ lục 1.

Bảng phần mềm đã xây dựng, xác định được các chỉ tiêu độ tin cậy của Phân hệ truyền động, kết quả thể hiện trong Bảng 4.16.

Bảng 4.16. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ truyền động tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (135 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 2273,31 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 1,07142 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,000439888 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 0,933342 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,998529 + 0,000471082 \exp(-0,933342t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,998529$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,000471082 - 0,000471082 \exp(-0,933342t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,000471082$

4.2.2.4. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phân hệ thiết bị hãm tại depot

Phân hệ Thiết bị hãm phân chia thành 1 tiểu phân hệ và 15 phần tử. Tổng sự cố của phân hệ là 197, trong đó Phần tử PT1.4.7 Van điều chỉnh độ cao cao có số sự cố là lớn nhất, 95 sự cố (xem Bảng 4.9).

Số liệu thống kê về thời gian làm việc và thời gian phục hồi của phần tử trong Phân hệ thiết bị hãm được trích xuất trong Bảng 1.62 Phụ lục 1.

Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ thiết bị hãm tại depot thể hiện trong Bảng 4.17.

Bảng 4.17. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ thiết bị hãm tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (197 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 409,021 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 1,39880 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00244486 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 0,714899 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,996592 + 0,00340822\exp(-0,717344t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,996592$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00340822 - 0,00340822\exp(-0,717344t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00340822$

4.2.2.5. *Đánh giá độ tin cậy tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phân hệ điều khiển tại depot*

Phân hệ điều khiển phân chia thành 1 tiểu phân hệ và 10 phần tử. Tổng sự cố của phân hệ là 04 (xem Bảng 4.10).

Số liệu thống kê về thời gian làm việc và thời gian phục hồi của phần tử trong Phân hệ điều khiển được trích xuất trong Bảng 1.62 Phụ lục 1.

Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ điều khiển thể hiện trong Bảng 4.18.

Bảng 4.18. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ điều khiển tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (135 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 17165,2 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 0,500097 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 5,82575 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 1,99961 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,999971 + 2,91336 \cdot 10^{-5}\exp(-1,99967t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,999971$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 2,91336 \cdot 10^{-5} - 2,91336 \cdot 10^{-5}\exp(-1,99967t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 2,91336 \cdot 10^{-5}$

4.2.2.6. *Đánh giá độ tin cậy của phân hệ thiết bị phụ trong quá trình bảo dưỡng sửa chữa tại depot*

Phân hệ thiết bị phụ được phân chia thành 6 tiểu phân hệ với tổng số 30 phần tử. Tổng sự cố của phân hệ là 236, trong đó phần tử có nhiều sự cố hơn cả bao gồm: PT6.2.1 (Tổ máy điều hòa toa khách) là 47 sự cố; PT6.4.1 (Chiếu sáng khoang khách), PT6.4.2 là 50 sự cố (xem Bảng 4.11).

Số liệu thống kê về thời gian làm việc và thời gian phục hồi của phần tử trong Phân hệ thiết bị phụ được trích xuất trong Bảng 1.62 Phụ lục 1.

Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ thiết bị phụ thể hiện trong Bảng 4.19.

Bảng 4.19. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của Phân hệ thiết bị phụ tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (236 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 726,312 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 0,707376 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00137682 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 1,41367 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,999027 + 0,000972981 \exp(-1,41505t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,999027$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,000972981 - 0,000972981 \exp(-1,41505t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,000972981$

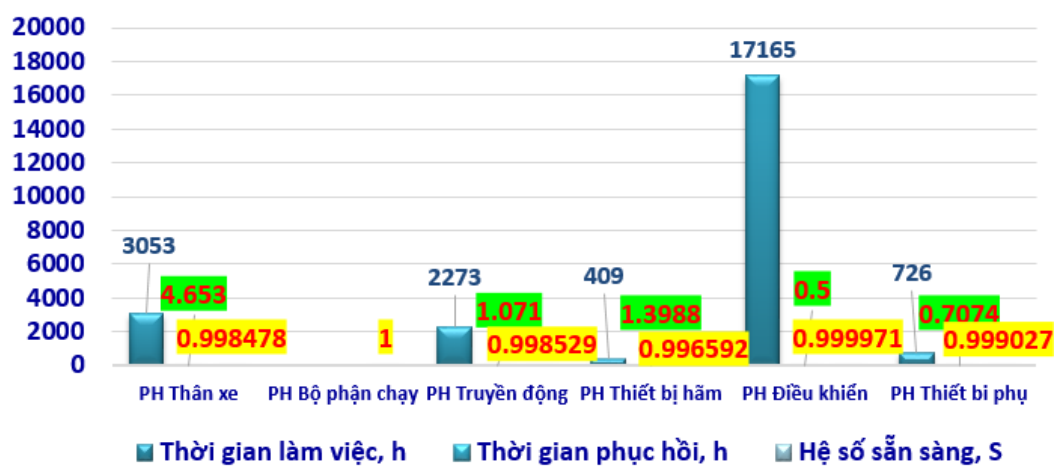
4.2.2.7. *Tổng hợp và phân tích kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các phân hệ tại depot*

Kết quả tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các phân hệ thể hiện trong Bảng 4.20 và trên các Hình 4.4 - 4.5.

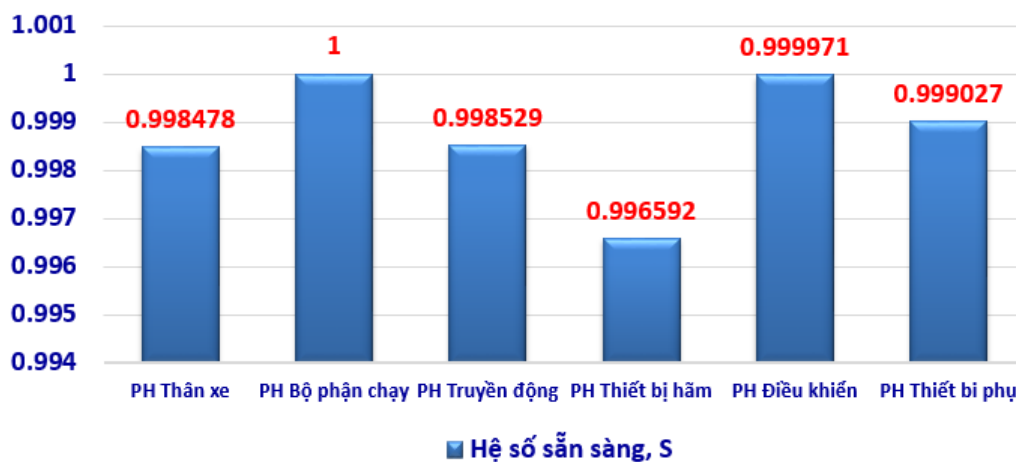
Bảng 4.20. Tổng hợp các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các phân hệ tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (744 sự cố)

Phân hệ	Số lượng sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần hỏng, h	Cường độ hỏng, 1/h	Thời gian phục hồi, h	Cường độ phục hồi, 1/h	Hệ số sẵn sàng, S
Thân xe	172	3.053,79	0,000327	4,653	0,214892	0,998478
Bộ phận chạy	0	-	-	-	-	1

Phân hệ	Số lượng sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần hỏng, h	Cường độ hỏng, 1/h	Thời gian phục hồi, h	Cường độ phục hồi, 1/h	Hệ số sẵn sàng, S
Truyền động	135	2.273,31	0,000440	1,071	0,933342	0,998529
Thiết bị hãm	197	409,021	0,002445	1,3988	0,714899	0,996592
Điều khiển	04	17.165,2	$5,826.10^{-5}$	0,500097	1,99961	0,999971
Thiết bị phụ	236	726,312	0,001377	0,707376	1,41367	0,999027
Tổng số	744					



Hình 4.4. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc và thời gian phục hồi của các phân hệ



Hình 4.5. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của các phân hệ

Kết quả tính toán cho thấy độ tin cậy hay hệ số sẵn sàng của các phân tử xếp từ cao xuống thấp là:

1. Phân hệ bộ phận chạy xếp thứ nhất, có độ tin cậy coi như tuyệt đối vì không xảy ra sự cố nào;

2. Phân hệ điều khiển xếp thứ hai với 04 sự cố;
3. Phân hệ thiết bị phụ xếp thứ ba với 236 sự cố;
4. Phân hệ truyền động xếp thứ tư với 135 sự cố;
5. Phân hệ thân xe xếp thứ năm với 172 sự cố.
6. Phân hệ thiết bị hãm xếp thứ sáu, thấp nhất với 197 sự cố;

Mặc dù vậy, độ tin cậy của các phân hệ không chỉ đơn thuần phụ thuộc vào số lượng sự cố của các phân tử, mà còn phụ thuộc vào thời gian làm việc giữa các lần hỏng, thời gian phục hồi của các phân tử và mối tương quan giữa các yếu tố thời gian đó.

Nhận xét:

Trong quá trình vận hành trên tuyến

Mức tin cậy hay tính sẵn sàng của phân hệ thiết bị phụ khi vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian khảo sát là thấp nhất so với các phân hệ khác, nhưng cũng có giá trị là rất cao, với $S_s = 0,999965$. Các phân hệ còn lại được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

Trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

Phân hệ bộ phận chạy có mức tin cậy cao nhất, được coi là tuyệt đối;

Phân hệ thiết bị hãm có mức tin cậy thấp nhất so với các phân hệ khác, nhưng cũng có hệ số sẵn sàng khá cao, $S_s = 0,996592$.

Kết quả tính toán cho phép hình dung được mức tin cậy, mức sẵn sàng hay khả năng bảo dưỡng của các phân hệ trên phương tiện đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông tại depot, hình dung được các phần tử xung yếu nhất, từ đó 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, từ đó nâng cao được độ tin cậy, tính sẵn sàng của chúng. Độ tin cậy của các phân hệ là cơ sở cho việc đánh giá độ tin cậy của các loại toa xe, các đoàn tàu và toàn bộ phương tiện.

Kết quả tính toán trên đây mới chỉ tương ứng với thời gian bắt đầu khai thác từ 06/11/2021 đến 30/4/2025. 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.

4.3. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG VÀ KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG CỦA CÁC LOẠI TOA XE TRÊN ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

4.3.1. Đánh giá độ tin cậy của các loại toa xe trong quá trình vận hành trên tuyến

Đối với Toa xe Tc1

Như trên đã nói, Toa xe Tc1 trên đoàn tàu HN007 ngày 01/10/2024, Phần tử Tủ điều khiển điện (6.4.5) (thuộc Tiểu phân hệ Hệ thống điện khoang khách (6.4), Phân hệ thiết bị phụ (6)), do lỗi rơ le 20K72 nên tại ga Cát Linh đoàn tàu không nhả hãm được, sau đó đã đổi tàu dự phòng chạy thay thế, gây chậm tàu 45 phút.

Kết quả tính toán thể hiện trên giao diện Hình 4.6a. Hệ số sẵn sàng $S_s = 0,999971$.

Đối với Toa xe Tc2

Tương tự như đã nói ở trên, Toa xe Tc2 trên đoàn tàu HN008 ngày 04/8/2023, Phần tử Tủ điều khiển (6.3.2) (thuộc Tiểu phân hệ Điện buồng lái (6.3), Phân hệ thiết bị phụ (6)), do lỗi rơ le 5 km/h 20K72 gây mất sức kéo, không khởi động được tại ga Cát Linh, sau đó đã điều tàu HN013 lên thay thế, gây chậm tàu 5 phút.

Kết quả tính toán thể hiện trên giao diện Hình 4.6b. Hệ số sẵn sàng $S_s = 0,999995$.

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY PHƯƠNG TIỆN				
Số liệu: - Trên tuyến				
Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013				
Toa xe: - Tc1				
Thời gian bắt đầu khảo sát: 07-11-2023				
Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025				
TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị	
1	E(Ts)	25440.0	h	
2	E(rs)	0.750000	h	
3	λs	3.93082E-05	1/h	
4	μs	1.33333	1/h	
5	S_s	0.999971		
6	K_s	2.94803E-05		
7	$S_s(t)$	$0.999971 + 2.94803E-05 \exp(-1.33337 t)$		
8	$K_s(t)$	$2.94803E-05 - 2.94803E-05 \exp(-1.33337 t)$		

a. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy của toa xe Tc1 trong quá trình vận hành trên tuyến

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY PHƯƠNG TIỆN				
Số liệu: - Trên tuyến				
Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013				
Toa xe: - Tc2				
Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021				
Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025				
TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị	
1	E(Ts)	15264.0	h	
2	E(rs)	0.0830000	h	
3	λs	6.55136E-05	1/h	
4	μs	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	$K_s(t)$	$5.43760E-06 - 5.43760E-06 \exp(-12.0483 t)$		

b. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy của toa xeTc2 trong quá trình vận hành trên tuyến

Hình 4.6. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy của toa xe Tc1 và Tc2 trong quá trình vận hành trên tuyến

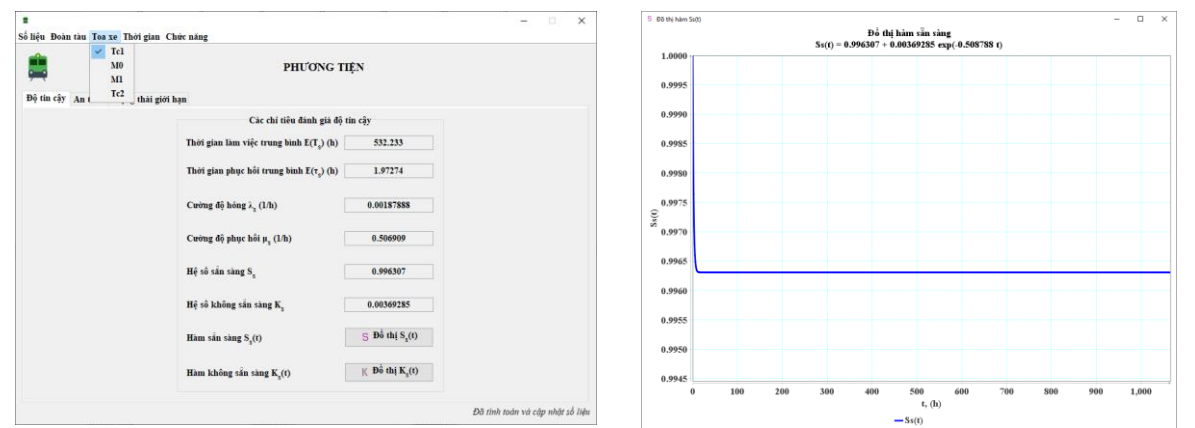
Qua đây thấy rằng, mức tin cậy của toa xe Tc1 và Tc2 khi vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian khảo sát là thấp nhất so với các loại toa xe khác nhưng vẫn có hệ số sẵn sàng rất cao là $S_s = 0,999971$ và $S_s = 0,999995$. Các toa xe còn lại được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

4.3.2. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các loại toa xe tại depot

4.3.2.1 Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe Tc1 tại depot

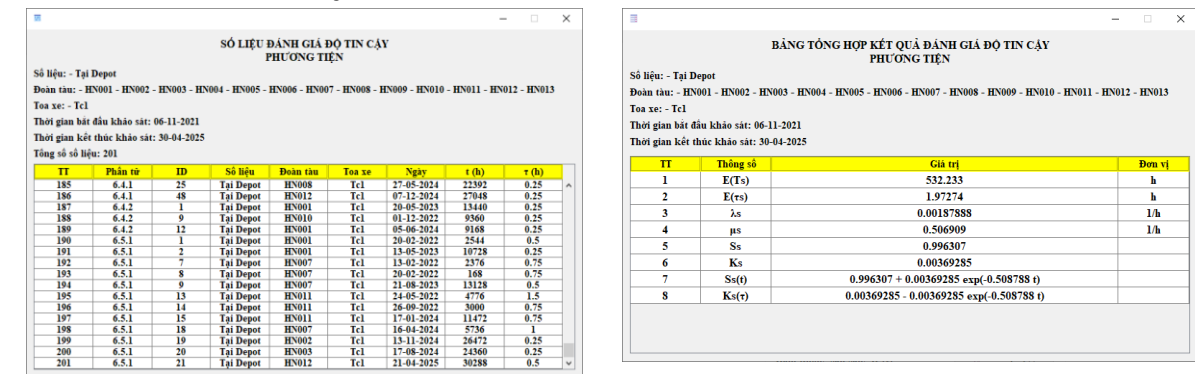
Quá trình đánh giá được tiến hành cho giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025.

Kết quả tính toán được thể hiện các giao diện Hình 4.7 và Bảng 4.21.



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

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



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

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

Hình 4.7. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe Tc1 tại tại depot

Bảng 4.21. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe Tc1 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (201 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 532,233 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 1,97274 \text{ h}$

TT	Chỉ tiêu	Trị số
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00187888 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 0,506909 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,996307 + 0,00369285\exp(-0,508788t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,996307$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00369285 - 0,00369285\exp(-0,508788t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00369285$

4.3.2.2. *Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe M0 tại depot*

Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe M0 tại depot thể hiện trong Bảng 4.22.

Bảng 4.22. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe M0 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (171 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 277,453 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 1,22580 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00360304 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 0,815796 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,995603 + 0,00439718\exp(-0,819399t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,995603$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00439718 - 0,00439718\exp(-0,819399t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00439718$

4.3.2.3. *Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe M1 tại depot*

Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe M1 tại depot thể hiện trong Bảng 4.23.

Bảng 4.23. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe M1 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (178 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 805,646 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 0,857259 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00124124 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 1,16651 \text{ h}^{-1}$

TT	Chỉ tiêu	Trị số
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,998937 + 0,00106293\exp(-1,167775t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,998937$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00106293 - 0,00106293\exp(-1,167775t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00106293$

4.3.2.4. *Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe Tc2 tại depot*

Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe Tc2 tại depot thể hiện trong Bảng 4.24.

Bảng 4.24. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe Tc2 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (201 sự cố)

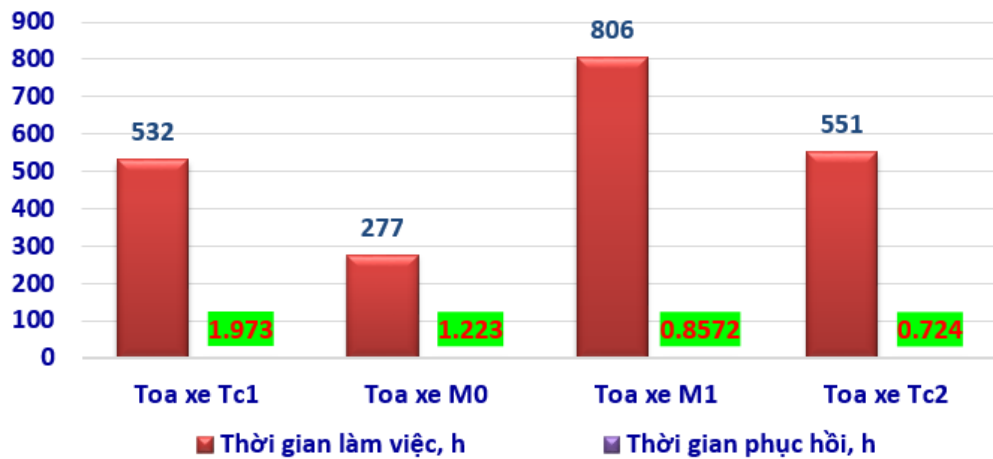
TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 550,571 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 0,724290 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00181269 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 1,38066 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,998686 + 0,00131380\exp(-1,38248t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,998686$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00131380 - 0,00131380\exp(-1,38248t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00131380$

4.3.2.5. *Tổng hợp và phân tích kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các loại toa xe tại depot*

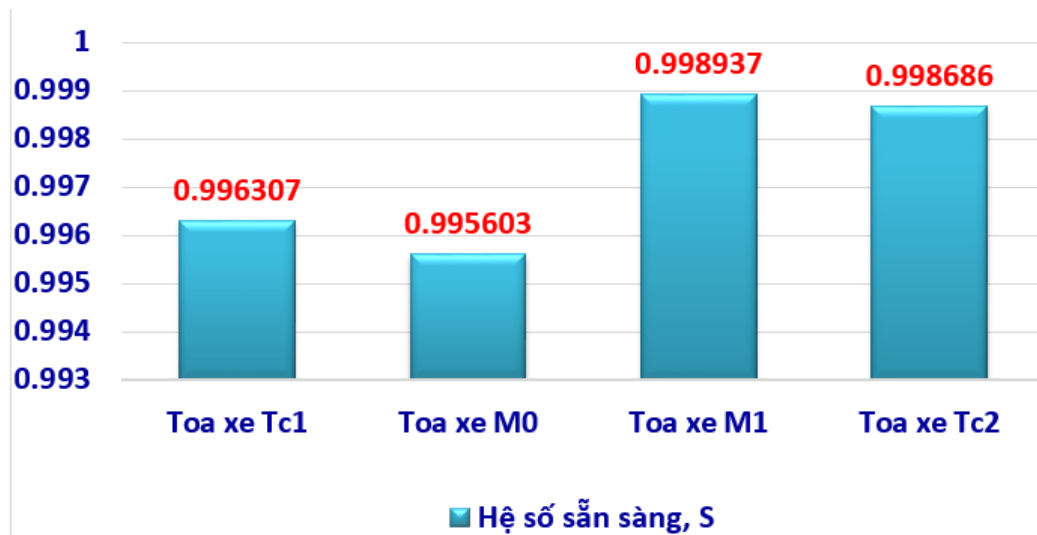
Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các loại toa xe tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 thể hiện trong Bảng 4.25 và các Hình 4.8 - 4.9.

Bảng 4.25. Tổng hợp các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các loại toa xe tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (201 sự cố)

Toa xe	Số lượng sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần hỏng, h	Cường độ hỏng, 1/h	Thời gian phục hồi, h	Cường độ phục hồi, 1/h	Hệ số sẵn sàng, S
Toa xe Tc1	201	532,233	0,001879	1,97274	0,506909	0,996307
Toa xe M0	171	277,453	0,003603	1,22581	0,815796	0,995603
Toa xe M1	178	805,646	0,001241	0,857259	1,16651	0,998937
Toa xe Tc2	194	550,571	0,001813	0,72429	1,38066	0,998686



Hình 4.8. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc và thời gian phục hồi của các loại toa xe giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025



Hình 4.9. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của các loại toa xe giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

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 Tc1;
4. Toa xe M0.

Toa xe M0 có độ tin cậy thấp nhất được lý giải như sau:

Độ tin cậy của đối tượng nói chung phụ thuộc vào tương quan giữa thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của của nó. Đối với toa xe M0, có khá nhiều phân tử có thời gian làm giữa các lần xảy ra sự cố là khá ngắn so với các toa xe khác,

thậm chí có phần tử chỉ 24 h đã lặp lại sự cố trước đó. Vì vậy, độ tin cậy và tính sẵn sàng của nó là thấp hơn so với các toa xe khác, nhưng vẫn có trị số khá cao là 0,995603.

Nhận xét:

Trong quá trình vận hành trên tuyến

Mức tin cậy của toa xe Tc1 và Tc2 khi vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian khảo sát là thấp nhất so với các loại toa xe khác nhưng vẫn có hệ số sẵn sàng rất cao là $S_s = 0,999971$ và $S_s = 0,999995$. Các toa xe còn lại được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

Trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

Mức tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe M1 là cao nhất, sau đó là toa xe Tc2, Tc1 và thấp nhất là toa xe M0. Mặc dù vậy, mức tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toa xe M0 vẫn có trị số khá cao là 0,995603.

4.4. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG VÀ KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG CỦA CÁC ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

4.4.1. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng của các đoàn tàu trong quá trình vận hành trên tuyến

Đối với đoàn tàu HN007

Như trên đã nói, đoàn tàu HN007 ngày 01/10/2024, Phần tử Tủ điều khiển điện (6.4.5) (thuộc Tiểu phân hệ Hệ thống điện khoang khách (6.4), Phân hệ thiết bị phụ (6) trên toa xe Tc1), do lỗi rơ le 20K72 nên tại ga Cát Linh đoàn tàu không nhả hãm được, sau đó đã đổi tàu dự phòng chạy thay thế, gây chậm tàu 45 phút. Kết quả tính toán thể hiện trên giao diện Hình 4.10a. Hệ số sẵn sàng $S_s = 0,999971$.

Đối với đoàn tàu HN008

Tương tự như đã nói ở trên, đoàn tàu HN008 ngày 04/8/2023, Phần tử Tủ điều khiển (6.3.2) (thuộc Tiểu phân hệ Điện buồng lái (6.3), Phân hệ thiết bị phụ (6) trên toa xe Tc2), do lỗi rơ le 5 km/h 20K72 gây mất sức kéo, không khởi động được tại ga Cát Linh, sau đó đã đổi tàu HN013 lên thay thế, gây chậm tàu 5 phút. Kết quả tính toán thể hiện trên giao diện Hình 4.10b. Hệ số sẵn sàng $S_s = 0,999995$.

Qua đây thấy rằng, mức tin cậy của đoàn tàu HN007 và HN008 khi vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian khảo sát là thấp nhất so với các đoàn tàu khác nhưng

vẫn có hệ số sẵn sàng rất cao là $S_s = 0,999971$ và $S_s = 0,999995$. Các đoàn tàu còn lại được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

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

Số liệu: - Trên tuyến
Đoàn tàu: - HN007
Toa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2
Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021
Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$E(T_s)$	25440.0	h
2	$E(r_s)$	0.750000	h
3	λ_s	3.93082E-05	1/h
4	μ_s	1.33333	1/h
5	S_s	0.999971	
6	K_s	2.94803E-05	
7	$S_s(t)$	$0.999971 + 2.94803E-05 \exp(-1.33337 t)$	
8	$K_s(r)$	$2.94803E-05 - 2.94803E-05 \exp(-1.33337 t)$	

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

Số liệu: - Trên tuyến
Đoàn tàu: - HN008
Toa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2
Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021
Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$E(T_s)$	15264.0	h
2	$E(r_s)$	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	$K_s(r)$	$5.43760E-06 - 5.43760E-06 \exp(-12.0483 t)$	

a. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy của đoàn tàu HN007 trong quá trình vận hành trên tuyến

b. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy của đoàn tàu HN008 trong quá trình vận hành trên tuyến

Hình 4.10. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy của đoàn tàu HN007 và HN008 trong quá trình vận hành trên tuyến

4.4.2. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của từng đoàn tàu trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

4.4.2.1. Xác định các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng cho từng đoàn tàu

Quá trình đánh giá 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 4.11 và Bảng 4.26.

Đoàn tàu HN001

Số liệu (Đoàn tàu) Toa xe Thời gian Chức năng

Độ tin cậy

Trạng thái giới hạn

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Thời gian làm việc trung bình $E(T_s)$ (h): 641.672

Thời gian phục hồi trung bình $E(r_s)$ (h): 1.73810

Cường độ hỏng λ_s (1/h): 0.00155843

Cường độ phục hồi μ_s (1/h): 0.575342

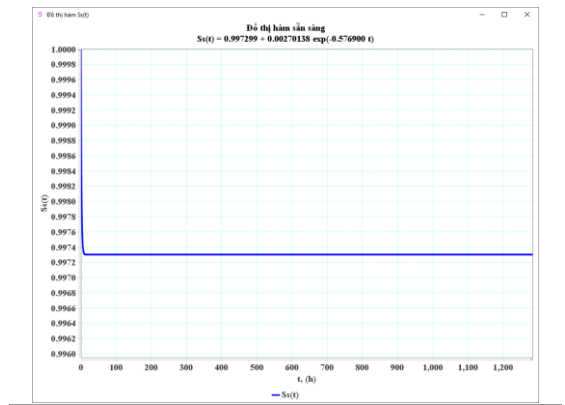
Hệ số sẵn sàng S_s : 0.997299

Hệ số không sẵn sàng K_s : 0.00270138

Hàm sẵn sàng $S_s(t)$: Đồ thị $S_s(t)$

Hàm không sẵn sàng $K_s(t)$: Đồ thị $K_s(t)$

Đồ thị tính toán và cập nhật số liệu



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: 30-04-2025
Tổng số số liệu: 70

TT	Phần tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
54	6.2.1	30	Tại Depot	HN001	M0	24-08-2024	24528	2.5
55	6.2.1	31	Tại Depot	HN001	M1	14-09-2024	25032	2
56	6.2.1	40	Tại Depot	HN001	M0	20-04-2025	5736	0.75
57	6.2.1	41	Tại Depot	HN001	M1	20-04-2025	5232	0.25
58	6.2.4	10	Tại Depot	HN001	M1	24-10-2024	25992	0.25
59	6.3.1	15	Tại Depot	HN001	Tc2	07-12-2024	27048	0.5
60	6.3.6	13	Tại Depot	HN001	Tc1	30-08-2024	24672	0.75
61	6.3.6	14	Tại Depot	HN001	Tc2	24-10-2024	25992	0.5
62	6.3.7	1	Tại Depot	HN001	Tc2	05-09-2022	7272	0.833
63	6.3.7	2	Tại Depot	HN001	Tc2	27-03-2023	4872	0.75
64	6.4.2	1	Tại Depot	HN001	Tc1	20-05-2023	13440	0.25
65	6.4.2	2	Tại Depot	HN001	M1	05-02-2024	19704	0.417
66	6.4.2	12	Tại Depot	HN001	Tc1	05-06-2024	9168	0.25
67	6.4.5	1	Tại Depot	HN001	Tc2	24-10-2024	25992	0.25
68	6.5.1	1	Tại Depot	HN001	Tc1	20-02-2022	2544	0.5
69	6.5.1	2	Tại Depot	HN001	Tc1	13-05-2023	10728	0.25
70	6.5.1	3	Tại Depot	HN001	Tc2	20-06-2022	5424	0.5

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: 30-04-2025

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$E(T_s)$	641.672	h
2	$E(r_s)$	1.73810	h
3	λ_s	0.00155843	1/h
4	μ_s	0.575342	1/h
5	S_s	0.997299	
6	K_s	0.00270138	
7	$S_s(t)$	$0.997299 + 0.00270138 \exp(-0.576900 t)$	
8	$K_s(r)$	$0.00270138 - 0.00270138 \exp(-0.576900 t)$	

Hình 4.11. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của đoàn tàu HN001

Bảng 4.26. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của đoàn tàu HN001 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (70 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 641,672 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 1,73810 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00155843 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 0,575342 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,997299 + 0,00270138\exp(-0,5799t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,997299$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00270138 - 0,00270138\exp(-0,5799t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00270138$

Các đoàn tàu còn lại từ HN002 đến HN013 được tính toán trên phần mềm tương tự như đoàn tàu HN001 và được thể hiện trong các Bảng 4.27 - 4.30.

Bảng 4.27. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các đoàn tàu HN002 - HN004 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Chỉ tiêu	Trị số		
		Đoàn tàu HN002 (41 sự cố)	Đoàn tàu HN003 (39 sự cố)	Đoàn tàu HN004 (63 sự cố)
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 844,121 \text{ h}$	$E(T_s) = 805,558 \text{ h}$	$E(T_s) = 588,003 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 0,970322 \text{ h}$	$E(\tau_s) = 0,631834 \text{ h}$	$E(\tau_s) = 0,820716 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00118466 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_s = 0,00124138 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_s = 0,00170067 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 1,03059 \text{ h}^{-1}$	$\mu_s = 1,58269 \text{ h}^{-1}$	$\mu_s = 1,21845 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,998852 + 0,00114819\exp(-1,03177t)$	$S_s(t) = 0,999216 + 0,000783279\exp(-1,58393t)$	$S_s(t) = 0,998606 + 0,00139382\exp(-1,22015t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,998852$	$S_s = 0,999216$	$S_s = 0,998606$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00114819 - 0,00114819\exp(-1,03177t)$	$K_s(t) = 0,000783279 - 0,000783279\exp(-1,58393t)$	$K_s(t) = 0,00139382 - 0,00139382\exp(-1,22015t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00114819$	$K_s = 0,000783279$	$K_s = 0,00139382$

Bảng 4.28. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các đoàn tàu HN005 - HN007 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Chỉ tiêu	Trị số		
		Đoàn tàu HN005 (42 sự cố)	Đoàn tàu HN006 (75 sự cố)	Đoàn tàu HN007 (84 sự cố)
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 920,538 \text{ h}$	$E(T_s) = 621,253 \text{ h}$	$E(T_s) = 675,211 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 0,813066 \text{ h}$	$E(\tau_s) = 3,55424 \text{ h}$	$E(\tau_s) = 0,835219 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00108632 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_s = 0,00160965 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_s = 0,00148102 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 1,22991 \text{ h}^{-1}$	$\mu_s = 0,281354 \text{ h}^{-1}$	$\mu_s = 1,19729 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,999118 + 0,000882417\exp(-1,231t)$	$S_s(t) = 0,994311 + 0,00568854\exp(-0,282964t)$	$S_s(t) = 0,998765 + 0,00123545\exp(-1,19877t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,999118$	$S_s = 0,994311$	$S_s = 0,998765$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,000882417 - 0,000882417\exp(-1,231t)$	$K_s(t) = 0,00568854 - 0,00568854\exp(-0,282964t)$	$K_s(t) = 0,00123545 - 0,00123545\exp(-1,19877t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,000882417$	$K_s = 0,00568854$	$K_s = 0,00123545$

Bảng 4.29. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các đoàn tàu HN008 - HN010 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Chỉ tiêu	Trị số		
		Đoàn tàu HN008 (47 sự cố)	Đoàn tàu HN009 (76 sự cố)	Đoàn tàu HN010 (46 sự cố)
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 903,415 \text{ h}$	$E(T_s) = 591,392 \text{ h}$	$E(T_s) = 585,802 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 1,12819 \text{ h}$	$E(\tau_s) = 0,769848 \text{ h}$	$E(\tau_s) = 0,575971 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00110691 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_s = 0,00169093 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_s = 0,00170706 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 0,886372 \text{ h}^{-1}$	$\mu_s = 1,29896 \text{ h}^{-1}$	$\mu_s = 1,7362 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,998753 + 0,00124725\exp(-0,887479t)$	$S_s(t) = 0,9987 + 0,0013\exp(-1,300065t)$	$S_s(t) = 0,999018 + 0,000982253\exp(-1,73791t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,998753$	$S_s = 0,9987$	$S_s = 0,999018$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00124725 - 0,00124725\exp(-0,887479t)$	$K_s(t) = 0,0013 - 0,0013\exp(-1,300065t)$	$K_s(t) = 0,000982253 - 0,000982253\exp(-1,73791t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00124725$	$K_s = 0,0013$	$K_s = 0,000982253$

Bảng 4.30. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các đoàn tàu HN011 - HN013 tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Chỉ tiêu	Trị số		
		Đoàn tàu HN011 (62 sự cố)	Đoàn tàu HN012 (43 sự cố)	Đoàn tàu HN013 (56 sự cố)
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 628,892 \text{ h}$	$E(T_s) = 276,209 \text{ h}$	$E(T_s) = 1022,38 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 0,936051 \text{ h}$	$E(\tau_s) = 1,53295 \text{ h}$	$E(\tau_s) = 0,889813 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00159010 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_s = 0,00362045 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_s = 0,000978111 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 1,06832 \text{ h}^{-1}$	$\mu_s = 0,652339 \text{ h}^{-1}$	$\mu_s = 1,12383 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,998514 + 0,00148620\exp(-1,06991t)$	$S_s(t) = 0,994481 + 0,00551933 \exp(-0,655959t)$	$S_s(t) = 0,999130 + 0,000869579\exp(-1,12481t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,998514$	$S_s = 0,994481$	$S_s = 0,999130$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00148620 - 0,00148620\exp(-1,06991t)$	$K_s(t) = 0,00551933 - 0,00551933\exp(-0,655959t)$	$K_s(t) = 0,000869579 - 0,000869579\exp(-1,12481t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00148620$	$K_s = 0,00551933$	$K_s = 0,000869579$

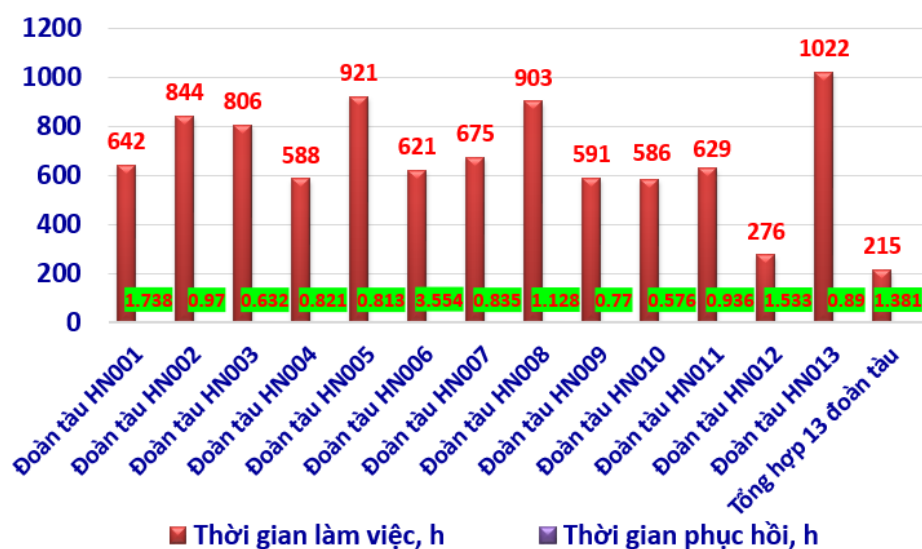
4.4.2.2. Phân tích kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của từng đoàn tàu

Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các đoàn tàu giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 được tổng hợp trong Bảng 4.31 và thể hiện trên các Hình 4.12 - 4.13.

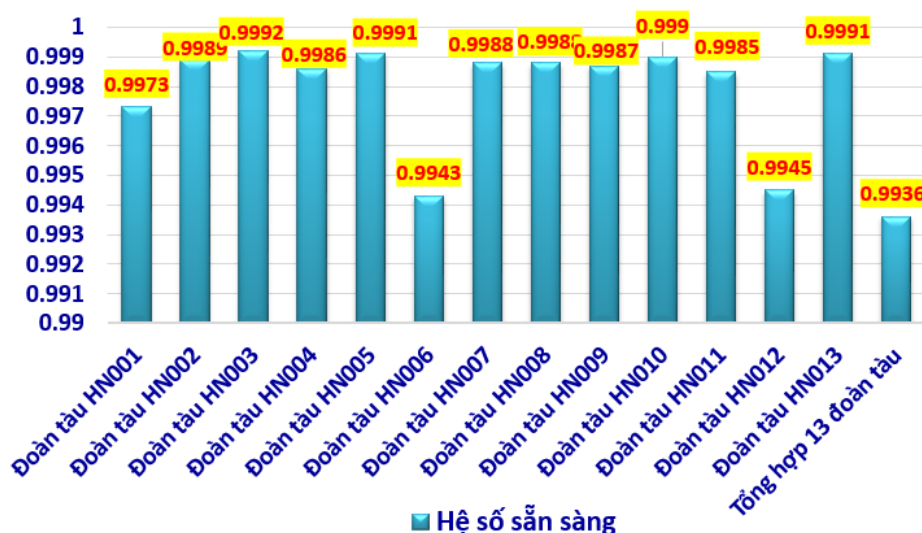
Bảng 4.31. Tổng hợp chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của các đoàn tàu giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

Đoàn tàu	Số lượng sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần hỏng, h	Cường độ hỏng, 1/h	Thời gian phục hồi, h	Cường độ phục hồi, 1/h	Hệ số sẵn sàng, S
HN001	70	641,672	0,001558	1,7381	0,57534	0,997299
HN002	41	844,121	0,001185	0,970322	1,03059	0,998852
HN003	39	805,558	0,001241	0,631834	1,58269	0,999216
HN004	63	588,003	0,001700	0,820716	1,21845	0,998606
HN005	42	920,538	0,001086	0,813066	1,22991	0,999118
HN006	75	621,253	0,001610	3,55424	0,28135	0,994311
HN007	84	675,211	0,001481	0,835219	1,19729	0,998765
HN008	47	903,415	0,001107	1,12819	0,88637	0,998753
HN009	76	591,392	0,001691	0,769848	1,29896	0,9987
HN010	46	585,802	0,001707	0,575971	1,73620	0,999018
HN011	62	628,892	0,001590	0,936051	1,06832	0,998514
HN012	43	276,209	0,003620	1,53295	0,65234	0,994481

Đoàn tàu	Số lượng sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần hỏng, h	Cường độ hỏng, 1/h	Thời gian phục hồi, h	Cường độ phục hồi, 1/h	Hệ số sẵn sàng, S
HN013	56	1022,38	0,000098	0,889813	1,12393	0,99913
Tổng số	744	215,179	0,004647	1,38104	0,724093	0,993623



Hình 4.12. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc và thời gian phục hồi của 13 đoàn tàu giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

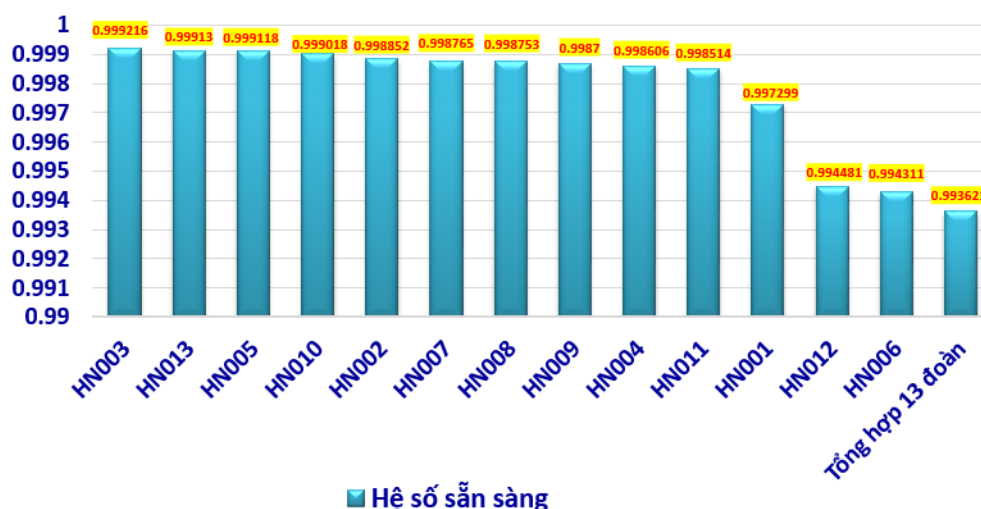


Hình 4.13. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của 13 đoàn tàu giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

Kết quả tính toán cho thấy độ tin cậy hay hệ số sẵn sàng của các đoàn tàu xếp từ cao xuống thấp thể hiện trong Bảng 4.32 và trên Hình 4.14.

Bảng 4.32. 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	HN003	0,999216	8	HN009	0,9987
2	HN013	0,99913	9	HN004	0,998606
3	HN005	0,999118	10	HN011	0,998514
4	HN010	0,999018	11	HN001	0,997299
5	HN002	0,998852	12	HN012	0,994481
6	HN007	0,998765	13	HN006	0,994311
7	HN008	0,998753		Tổng hợp	0,993623



Hình 4.14. Biểu đồ hệ số sẵn sàng của 13 đoàn tàu

giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 xếp từ cao xuống thấp

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 khác 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 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 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.

Nhận xét:

Trong quá trình vận hành trên tuyến

Mức tin cậy và tính sẵn sàng của đoàn tàu HN007 và HN008 khi vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian khảo sát là thấp nhất so với các đoàn tàu khác nhưng vẫn có hệ số sẵn sàng rất cao là $S_s = 0,999971$ và $S_s = 0,999995$. Các đoàn tàu còn lại được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

Trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

Mức tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của đoàn tàu HN003 trong khoảng thời gian khảo sát là cao nhất với $S_s = 0,999216$; các đoàn tàu HN012 và HN006 có mức tin cậy thấp nhất, nhưng cũng có hệ số sẵn sàng tương đối cao là $S_s = 0,994481$ và $S_s = 0,994311$.

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

4.5.1. Đánh giá tổng thể độ tin cậy, tính sẵn sàng của đoàn tàu metro trong quá trình vận hành trên tuyến

Kết quả tính toán thể hiện trên các giao diện Hình 4.15 và Bảng 4.33.

Bảng 4.33. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (2 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 9540,0 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 0,333125 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,000104822 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 3,00188 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,999965 + 3,49175 \cdot 10^{-5} \exp(-3,00198t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,999965$
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 3,49175 \cdot 10^{-5} - 3,49175 \cdot 10^{-5} \exp(-3,00198t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 3,49175 \cdot 10^{-5}$

PHƯƠNG TIỆN

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Thời gian làm việc trung bình $E(T_s)$ (h) 9540.00

Thời gian phục hồi trung bình $E(r_s)$ (h) 0.333125

Cường độ hỏng λ_s (1/h) 0.000104822

Cường độ phục hồi μ_s (1/h) 3.00188

Hệ số sẵn sàng S_s 0.999965

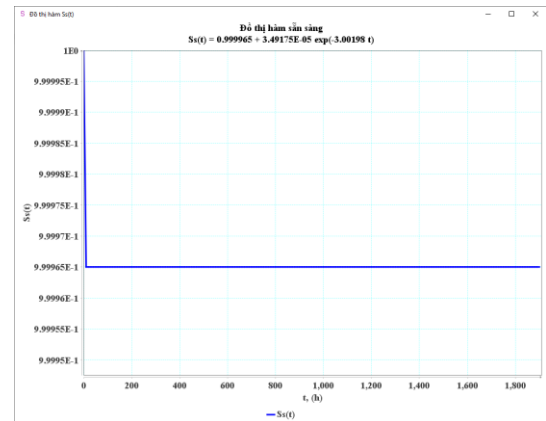
Hệ số không sẵn sàng K_s 3.49175E-05

Hàm sẵn sàng $S_s(t)$

Hàm không sẵn sàng $K_s(t)$

Đồ hình toán và cập nhật số liệu

a. Giao diện tổng quát xác định các chỉ tiêu độ tin cậy của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến



b. Giao diện hiển thị hàm sẵn sàng của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến

SỐ LIỆU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY PHƯƠNG TIỆN

Số liệu: - Trên tuyến

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: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

Tổng số số liệu: 2

TT	Phần tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
1	6.3.2	9	Trên tuyến	HN008	Tc2	04-08-2023	12364	0.983
2	6.4.5	2	Trên tuyến	HN007	Tc1	01-10-2024	25440	0.75

c. Giao diện hiển thị số liệu thống kê thời gian làm việc giữa các lần hỏng và thời gian phục hồi của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến

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

Số liệu: - Trên tuyến

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: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

TT	Thống số	Giá trị	Đơn vị
1	$E(T_s)$	9540.00	h
2	$E(r_s)$	0.333125	h
3	λ_s	0.000104822	1/h
4	μ_s	3.00188	1/h
5	S_s	0.999965	
6	K_s	3.49175E-05	
7	$S_s(t)$	$0.999965 + 3.49175E-05 \exp(-3.00198 t)$	
8	$K_s(t)$	$3.49175E-05 - 3.49175E-05 \exp(-3.00198 t)$	

d. Giao diện hiển thị các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến

Hình 4.15. Giao diện tính toán và hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng của phương tiện trong quá trình vận hành trên tuyến

Như vậy, độ tin cậy của toàn bộ phương tiện (đoàn tàu metro) trong quá trình vận hành trên tuyến phụ thuộc vào Phần tử Tủ điều khiển (6.3.2) và Phần tử Tủ điều khiển điện (6.4.5) thuộc Phân hệ thiết bị phụ. Qua đây thấy rằng, mức tin cậy hay tính sẵn sàng của phương tiện khi vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian khảo sát có giá trị là rất cao, với $S_s = 0,999965$.

4.5.2. Đánh giá tổng thể độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của đoàn tàu metro tại depot

Quá trình tính toán và kết quả tính toán đánh giá tổng thể độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện (đoàn tàu metro) trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 thể hiện trên các giao diện Hình 4.16.

PHƯƠNG TIỆN

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Thời gian làm việc trung bình $E(T_s)$ (h): 215.179

Thời gian phục hồi trung bình $E(\tau_s)$ (h): 1.38104

Cường độ hỏng λ_s (1/h): 0.00464729

Cường độ phục hồi μ_s (1/h): 0.724093

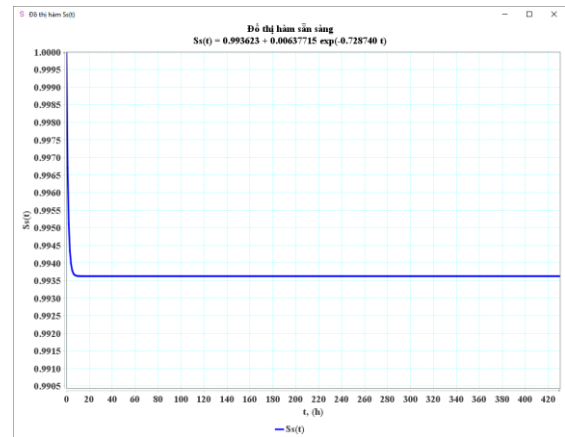
Hệ số sẵn sàng S_s : 0.993623

Hệ số không sẵn sàng K_s : 0.00637715

Hàm sẵn sàng $S_s(t)$: ☐ Đồ thị $S_s(t)$

Hàm không sẵn sàng $K_s(t)$: ☐ Đồ thị $K_s(t)$

Đồ thị toán và cập nhật số liệu



a. Giao diện hiển thị kết quả tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy của phương tiện trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

b. Giao diện hiển thị hàm sẵn sàng của phương tiện trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

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

Tọa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2

Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

Tổng số số liệu: 744

TT	Phân tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Tọa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
728	6.5.1	5	Tại Depot	HN006	M0	22-01-2024	19568	0.333
729	6.5.1	6	Tại Depot	HN006	Tc2	07-03-2023	11664	0.5
730	6.5.1	7	Tại Depot	HN007	Tc1	13-02-2022	2376	0.75
731	6.5.1	8	Tại Depot	HN007	Tc1	20-02-2022	168	0.75
732	6.5.1	9	Tại Depot	HN007	Tc1	21-08-2023	13128	0.5
733	6.5.1	10	Tại Depot	HN007	Tc2	11-08-2023	15440	0.333
734	6.5.1	11	Tại Depot	HN010	Tc2	13-11-2021	168	0.5
735	6.5.1	12	Tại Depot	HN010	Tc2	10-03-2022	2808	0.25
736	6.5.1	13	Tại Depot	HN011	Tc1	24-05-2022	4776	1.5
737	6.5.1	14	Tại Depot	HN011	Tc1	26-06-2022	3060	0.75
738	6.5.1	15	Tại Depot	HN011	Tc1	17-01-2024	11472	0.75
739	6.5.1	16	Tại Depot	HN011	Tc2	28-06-2022	5616	1.5
740	6.5.1	17	Tại Depot	HN011	Tc2	17-01-2024	13632	0.75
741	6.5.1	18	Tại Depot	HN007	Tc1	16-04-2024	5736	1
742	6.5.1	19	Tại Depot	HN002	Tc1	13-11-2024	26472	0.25
743	6.5.1	20	Tại Depot	HN003	Tc1	17-08-2024	24360	0.25
744	6.5.1	21	Tại Depot	HN012	Tc1	21-04-2025	30288	0.5

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

Tọa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2

Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$E(T_s)$	215.179	h
2	$E(\tau_s)$	1.38104	h
3	λ_s	0.00464729	1/h
4	μ_s	0.724093	1/h
5	S_s	0.993623	
6	K_s	0.00637715	
7	$S_s(t)$	$0.993623 + 0.00637715 \exp(-0.728740 t)$	
8	$K_s(t)$	$0.00637715 - 0.00637715 \exp(-0.728740 t)$	

c. Giao diện hiển thị hàm không sẵn sàng của của phương tiện trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

d. Giao diện hiển thị các chỉ tiêu độ tin cậy của phương tiện trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot

Hình 4.16. Các giao diện tính toán và kết quả tính toán đánh giá tổng thể độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

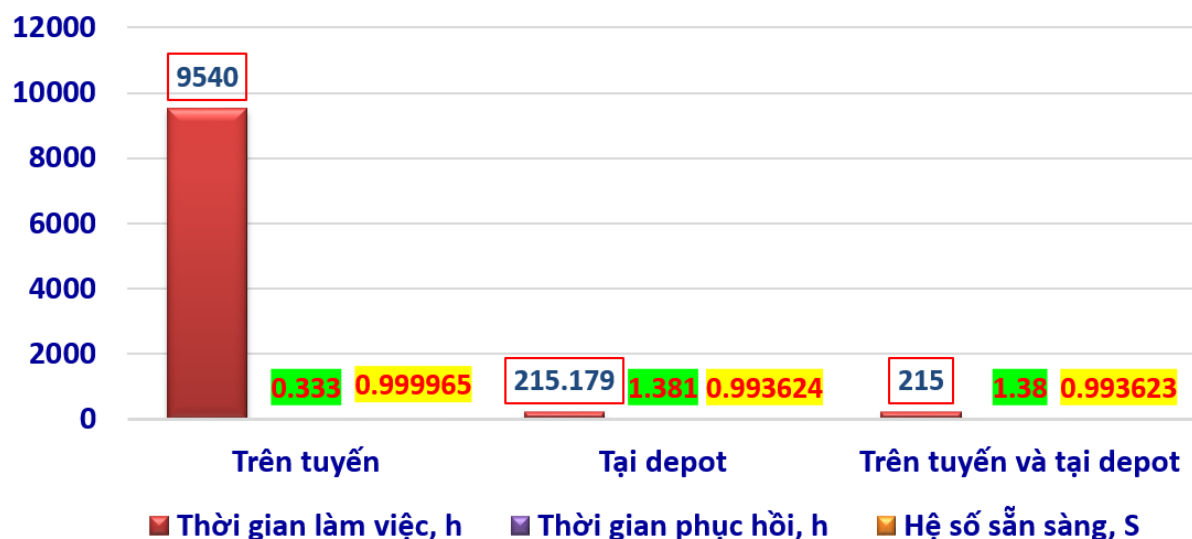
Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 được cho trong Bảng 4.34.

Bảng 4.34. Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của phương tiện tại depot giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (744 sự cố)

TT	Chỉ tiêu	Trị số
1	Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng	$E(T_s) = 215,179 \text{ h}$
2	Thời gian phục hồi trung bình	$E(\tau_s) = 1,38104 \text{ h}$
3	Cường độ hỏng	$\lambda_s = 0,00464729 \text{ h}^{-1}$
4	Cường độ phục hồi	$\mu_s = 0,724093 \text{ h}^{-1}$
5	Hàm sẵn sàng	$S_s(t) = 0,993623 + 0,00637715 \exp(-0,728740 t)$
6	Hệ số sẵn sàng	$S_s = 0,993623$

TT	Chỉ tiêu	Trị số
7	Hàm không sẵn sàng	$K_s(t) = 0,00637715 - 0,00637715 \exp(-0,72874t)$
8	Hệ số không sẵn sàng	$K_s = 0,00637715$

Tổng hợp các chỉ tiêu thời gian làm việc, thời gian phục hồi và hệ số sẵn sàng của phương tiện giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 thể hiện trên Hình 4.17.



Hình 4.17. Biểu đồ các chỉ tiêu thời gian làm việc, thời gian phục hồi và hệ số sẵn sàng của phương tiện giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

Nhận xét:

Các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của toàn bộ phương tiện trong giai đoạn từ 06/11/2021 đến 30/4/2025:

Trên tuyến: Độ tin cậy hay hệ số sẵn sàng $S_s = 0,999965$

Tại depot: $S_s = 0,993624$

Trên tuyến và tại depot: $S_s = 0,993623$

Giả thiết rằng trong giai đoạn nói trên, 5 hệ thống còn lại của tuyến Cát Linh - Hà Đông như: hệ thống cung cấp điện, đường ray, cầu cạn, thông tin tín hiệu, nhà ga đều có mức tin cậy tương đương với độ tin cậy của phương tiện là 0,993623 thì toàn hệ thống đường sắt Cát Linh - Hà Đông có mức tin cậy đạt 0,9685.

4.6. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY VÀ THỜI HẠN LÀM VIỆC CỦA BỘ TRỤC BÁNH XE ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG DO HAO MÒN TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

4.6.1. Đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn

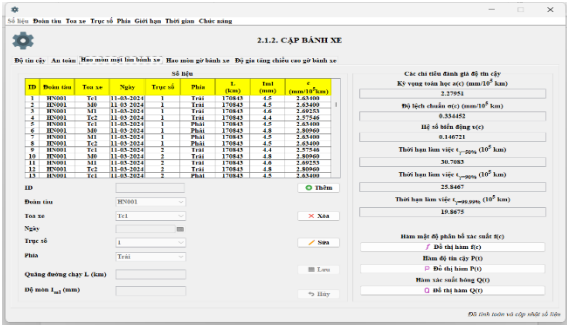
4.6.1.1. Đánh giá tổng hợp cho tất cả các toa xe và đoàn tàu

Số liệu kê về hao mòn mặt lăn bánh xe của toàn bộ 13 đoàn tàu kể từ khi bắt đầu khai thác từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 gồm 416 số liệu.

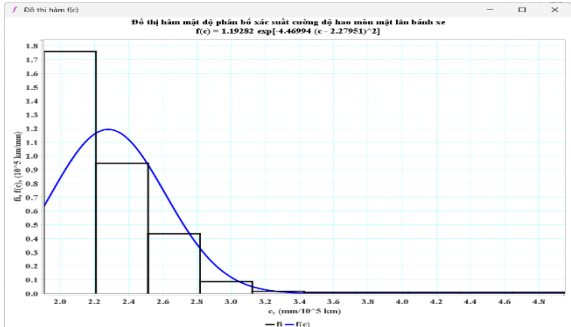
Bằng phần mềm đã xây dựng, tiến hành xác định các chỉ tiêu độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn đối với toàn bộ 13 đoàn tàu. Quá trình tính toán thể hiện trên các giao diện Hình 4.18 và Bảng 4.35.

Bảng 4.35. Các chỉ tiêu độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn

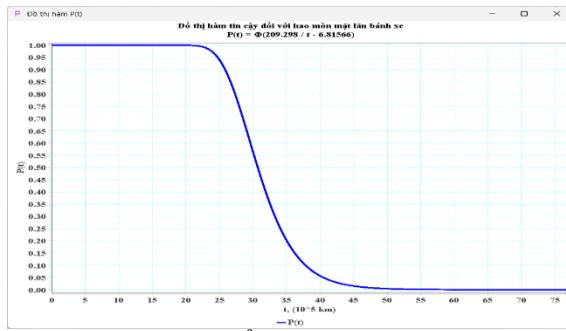
TT	Các chỉ tiêu	Trị số
1	Kỳ vọng cường độ hao mòn mặt lăn	$a(c) = 2,282 \text{ mm}/10^5 \text{ km}$
2	Độ lệch chuẩn của cường độ hao mòn	$\sigma(c) = 0,363355 \text{ mm}/10^5 \text{ km}$
3	Hệ số biến động của cường độ hao mòn	$\nu(c) = 0,159224$
4	Hàm mật độ phân bố cường độ hao mòn mặt lăn bánh xe	$f(c) = 1,09794 \exp[-3,78711(c - 2,28204)^2]$
5	Hàm tin cậy	$P(t) = \Phi[192,649/t - 6,28047]$
6	Hàm xác suất hỏng do mòn	$Q(t) = \Phi[6,28047 - 192,649/t]$
7	Thời hạn làm việc gamma 50%	$t_{\gamma=50\%} = 3,50953 \cdot 10^5 \text{ km}$
8	Thời hạn làm việc gamma 90%	$t_{\gamma=90\%} = 2,95391 \cdot 10^5 \text{ km}$
9	Thời hạn làm việc gamma 99,99%	$t_{\gamma=99\%} = 2,27057 \cdot 10^5 \text{ km}$



a. Giao diện tính toán các thông số độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn



b. Giao diện hiển thị hàm mật độ phân bố cường độ hao mòn mặt lăn bánh xe



c. Giao diện hiển thị hàm tin cậy của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$a(c)$	2.27951	mm/10 ⁵ km
2	$\sigma(c)$	0.334452	mm/10 ⁵ km
3	$v(c)$	0.146721	
4	$t_{y=50\%}$	30.7083	10 ⁵ km
5	$t_{y=90\%}$	25.8467	10 ⁵ km
6	$t_{y=99.99\%}$	19.8675	10 ⁵ km
7	$f(c)$	$1.19282 \exp[-4.46994 (c - 2.27951)^2]$	10 ⁻⁵ km/mm
8	$P(t)$	$\Phi(209.298 / t - 6.81566)$	
9	$Q(t)$	$\Phi(6.81566 - 209.298 / t)$	

d. Giao diện hiển thị kết quả tính toán

Hình 4.18. Giao diện hiển thị quá trình tính toán, kết quả đánh giá độ tin cậy

và thời hạn làm việc của tất cả các bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn

Nhận xét: Thời hạn làm việc trung bình của bộ trục bánh xe đến khi cần khôi phục lại biên dạng do hao mòn mặt lăn là khoảng 350.000 km.

4.6.1.2. Đánh giá đối với một số nhóm toa xe khác nhau

a. Đối với nhóm toa xe kéo theo $Tc1 + Tc2$

Số liệu kê về hao mòn mặt lăn bánh xe của 26 toa xe kéo theo kê từ khi bắt đầu khai thác từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 gồm 208 số liệu. Bảng phần mềm đã xây dựng trong Chương 3, đã xác định được các chỉ tiêu độ tin cậy và thời hạn làm việc đối với 26 toa xe kéo theo, kết quả thể hiện trên các giao diện Hình 4.19a.

b. Đối với nhóm toa xe động lực $M0 + M1$

Số liệu kê về hao mòn mặt lăn bánh xe của 26 toa xe động lực kê từ khi bắt đầu khai thác từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 gồm 208 số liệu. Bảng phần mềm đã xây dựng, đã xác định được các chỉ tiêu độ tin cậy và thời hạn làm việc đối với 26 toa xe động lực, kết quả thể hiện trên các giao diện Hình 4.19b.

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$a(c)$	2.27940	mm/10 ⁵ km
2	$\sigma(c)$	0.338498	mm/10 ⁵ km
3	$v(c)$	0.170439	
4	$t_{y=50\%}$	3.50970	10 ⁵ km
5	$t_{y=90\%}$	2.88034	10 ⁵ km
6	$t_{y=99.99\%}$	2.14810	10 ⁵ km
7	$f(c)$	$1.02688 \exp[-3.31278 (c - 2.27940)^2]$	10 ⁻⁵ km/mm
8	$P(t)$	$\Phi(20.5921 / t - 5.86721)$	
9	$Q(t)$	$\Phi(5.86721 - 20.5921 / t)$	

a. Nhóm toa xe kéo theo $Tc1 + Tc2$

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	$a(c)$	2.29833	mm/10 ⁵ km
2	$\sigma(c)$	0.252384	mm/10 ⁵ km
3	$v(c)$	0.109812	
4	$t_{y=50\%}$	3.48079	10 ⁵ km
5	$t_{y=90\%}$	3.05124	10 ⁵ km
6	$t_{y=99.99\%}$	2.47146	10 ⁵ km
7	$f(c)$	$1.58070 \exp[-7.84959 (c - 2.29833)^2]$	10 ⁻⁵ km/mm
8	$P(t)$	$\Phi(31.6977 / t - 9.10648)$	
9	$Q(t)$	$\Phi(9.10648 - 31.6977 / t)$	

b. Nhóm toa xe động lực $M0 + M1$

Hình 4.19. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc

của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn đối với một số nhóm toa xe khác nhau

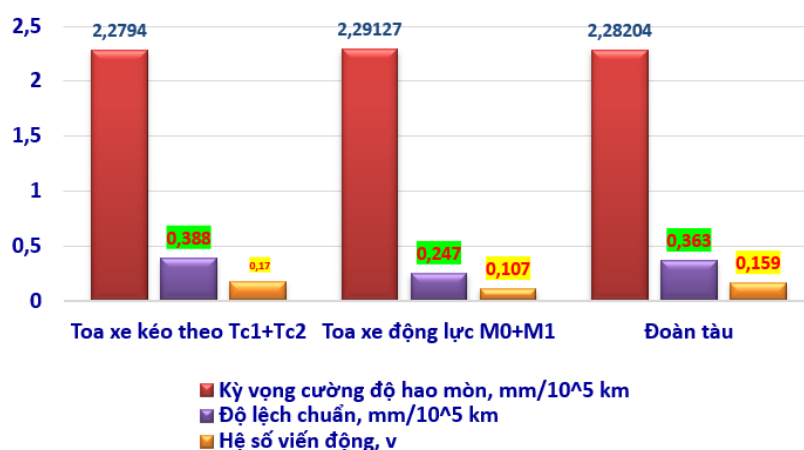
4.6.1.3. So sánh kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc theo các tổ hợp phương án

a. Đánh giá về cường độ hao mòn

Các thông số cường độ hao mòn mặt lăn bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu được thể hiện trong Bảng 4.36 và Hình 4.20.

Bảng 4.36. Tổng hợp các thông số cường độ hao mòn mặt lăn bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu

Thông số	Kỳ vọng cường độ hao mòn mặt lăn, mm/10 ⁵ km	Độ lệch chuẩn, mm/10 ⁵ km	Hệ số biến động v
Toa xe Tc1+Tc2	2,2794	0,388	0,170
Toa xe M0+M1	2,29127	0,247	0,107
Đoàn tàu	2,28204	0,363	0,159



Hình 4.20. Biểu đồ các thông số cường độ hao mòn mặt lăn bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu

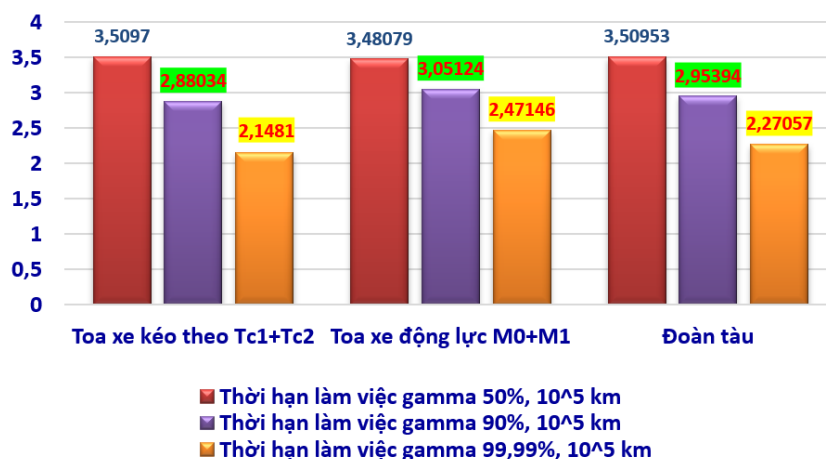
Nhận xét: Cường độ hao mòn mặt lăn của nhóm toa xe kéo theo, nhóm toa xe động lực và cả đoàn tàu là hầu như tương đương tương, không có sự khác biệt đáng kể. Hệ số biến động, thể hiện mức độ ổn định của cường độ hao mòn mặt lăn có sự khác biệt: nhóm toa xe động lực có trị số nhỏ hơn, thể hiện mức độ hao mòn ổn định hơn.

b. Đánh giá về thời hạn làm việc

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 4.37 và Hình 4.21.

Bảng 4.37. 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 4.21. 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 không đáng kể.

4.6.2. Đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh

4.6.2.1. Đánh giá tổng hợp cho tất cả các toa xe và đoàn tàu

Quá trình tính toán hoàn toàn tương tự như trên, được thể hiện trên các giao diện Hình 4.22.

2.1.2. CẤP BÁNH XE

Bộ tin cậy: An toàn Hao mòn mặt lốp bánh xe Hao mòn gờ bánh xe Độ già cứng chuẩn cao gờ bánh xe

ID	Đoàn tàu	Toa xe	Nghị	Trục số	Phía	L (km)	T _g (mm)	c (mm/10 ⁵ km)
404	HN015	Tc2	13-05-2024	3	Phải	215020	1,9	0,81119
405	HN015	Tc1	13-05-2024	3	Phải	215020	1,8	0,74205
406	HN015	M0	13-05-2024	3	Phải	215020	1,7	0,78432
407	HN015	M1	13-05-2024	3	Phải	215020	1,8	0,74205
408	HN015	Tc2	13-05-2024	3	Phải	215020	1,9	0,81119
409	HN015	Tc1	13-05-2024	4	Trái	215020	1,8	0,74205
410	HN015	M0	13-05-2024	4	Trái	215020	1,8	0,74205
411	HN015	M1	13-05-2024	4	Trái	215020	1,7	0,78432
412	HN015	Tc2	13-05-2024	4	Trái	215020	1,9	0,78432
413	HN015	Tc1	13-05-2024	4	Phải	215020	1,8	0,81480
414	HN015	M0	13-05-2024	4	Phải	215020	1,8	0,74205
415	HN015	M1	13-05-2024	4	Phải	215020	1,8	0,81480
416	HN015	Tc2	13-05-2024	4	Phải	215020	1,9	0,74205

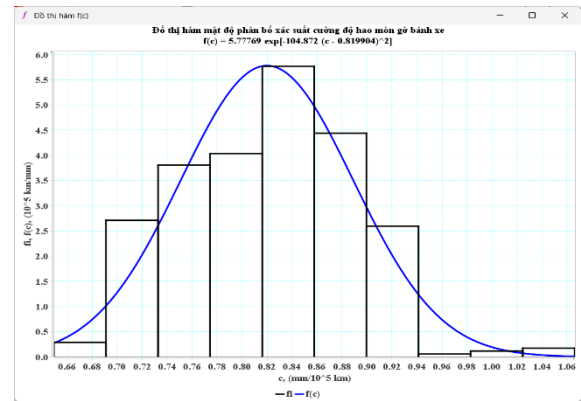
Đoàn tàu: HN001 Toa xe: Tc1 Trục số: 1 Phía: Trái

Quãng đường chạy l (km): Độ mòn l_g (mm):

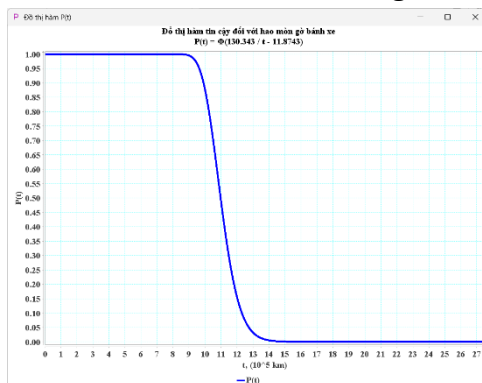
Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy:
 Kỳ vọng chuẩn a(c) (mm/10⁵ km): 0,819904
 Độ lệch chuẩn v(c) (mm/10⁵ km): 0,0690487
 Hệ số biến động v(c): 0,0842156
 Thời hạn làm việc t_{y=50%} (10⁵ km): 10,9769
 Thời hạn làm việc t_{y=90%} (10⁵ km): 9,90726
 Thời hạn làm việc t_{y=99,99%} (10⁵ km): 8,35890

Hàm mật độ phân bố xác suất f(c):
 Hàm độ tin cậy P(t):
 Hàm xác suất hỏng Q(t):
 Hàm chỉ hạn Q(t):

a. Giao diện tính toán các thông số độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh



b. Giao diện hiển thị hàm mật độ phân bố cường độ hao mòn gờ bánh xe



c. Giao diện hiển thị hàm tin cậy của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY THEO HAO MÒN GỜ BÁNH XE

Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
 Toa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2
 Trục số: - 1 - 2 - 3 - 4
 Phía: - Trái - Phải
 Độ mòn giới hạn (mm): 9
 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	a(c)	0,819904	mm/10 ⁵ km
2	σ(c)	0,0690487	mm/10 ⁵ km
3	v(c)	0,0842156	
4	t _{y=50%}	10,9769	10 ⁵ km
5	t _{y=90%}	9,90726	10 ⁵ km
6	t _{y=99,99%}	8,35890	10 ⁵ km
7	f(c)	5,77769 exp[-104,872 (c - 0,819904) ²]	10 ⁻⁵ km/mm
8	P(t)	Φ(130,343 / (t - 11,8743))	
9	Q(t)	Φ(11,8743 - 130,343 / t)	

d. Giao diện hiển thị kết quả tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh

Hình 4.22. Giao diện hiển thị quá trình tính toán, kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của tất cả các bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh

Nhận xét: Thời hạn làm việc trung bình của bộ trục bánh xe đến khi cần khôi phục lại biên dạng do hao mòn gờ bánh là khoảng 1.098.000 km.

4.6.2.2. Đánh giá đối với một số nhóm toa xe khác nhau

Việc tính toán đối với các nhóm toa xe kéo theo Tc1 + Tc2 và nhóm toa xe động lực M0 + M1 hoàn toàn tương tự như trên. Kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh đối với nhóm toa xe kéo theo và nhóm toa xe động lực thể hiện trên Hình 4.23.

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
THEO HAO MÒN GỜ BÁNH XE

Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
Toa xe: - Tc1 - Tc2
Trục số: - 1 - 2 - 3 - 4
Phía: - Trái - Phải
Độ mòn giới hạn (mm): 9
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	$\sigma(c)$	0,814884	mm/10 ⁵ km
2	$\sigma(c)$	0,0750852	mm/10 ⁵ km
3	$\sigma(c)$	0,0921422	mm/10 ⁵ km
4	$t_y=50\%$	11,0445	10 ⁵ km
5	$t_y=90\%$	9,87770	10 ⁵ km
6	$t_y=99,99\%$	8,22574	10 ⁵ km
7	$f(c)$	$5,31319 \exp[-88,6872 (c - 0,814884)^2]$	10 ⁻⁵ km/mm
8	P(t)	$\Phi(119,864 / t - 10,8528)$	
9	Q(t)	$\Phi(10,8528 - 119,864 / t)$	

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
THEO HAO MÒN GỜ BÁNH XE

Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
Toa xe: - M0 - M1
Trục số: - 1 - 2 - 3 - 4
Phía: - Trái - Phải
Độ mòn giới hạn (mm): 9
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	$\sigma(c)$	0,815990	mm/10 ⁵ km
2	$\sigma(c)$	0,0712752	mm/10 ⁵ km
3	$\sigma(c)$	0,0873481	mm/10 ⁵ km
4	$t_y=50\%$	11,0296	10 ⁵ km
5	$t_y=90\%$	9,91884	10 ⁵ km
6	$t_y=99,99\%$	8,32515	10 ⁵ km
7	$f(c)$	$5,59721 \exp[-98,4222 (c - 0,815990)^2]$	10 ⁻⁵ km/mm
8	P(t)	$\Phi(126,271 / t - 11,4484)$	
9	Q(t)	$\Phi(11,4484 - 126,271 / t)$	

a. Nhóm toa xe kéo theo Tc1+Tc2

b. Nhóm toa xe động lực M0+M1

Hình 4.23. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc

của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh đối với một số nhóm toa xe khác nhau

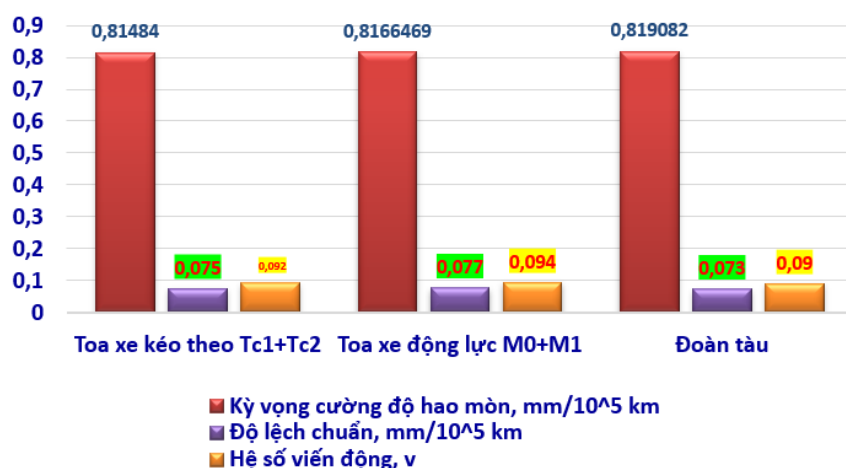
4.6.2.3. So sánh kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc theo các tổ hợp phương án

a. Đánh giá về cường độ hao mòn

Các thông số cường độ hao mòn gờ bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu thể hiện trong Bảng 4.38 và Hình 4.24.

Bảng 4.38. Tổng hợp các thông số cường độ hao mòn gờ bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu

Thông số	Kỳ vọng cường độ hao mòn gờ bánh, mm/10 ⁵ km	Độ lệch chuẩn, mm/10 ⁵ km	Hệ số biến động v
Toa xe Tc1+Tc2	0,81484	0,075	0,092
Toa xe M0+M1	0,816469	0,077	0,094
Đoàn tàu	0,819082	0,073	0,090



Hình 4.24. Biểu đồ các thông số cường độ hao mòn gờ bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu

Nhận xét: Cường độ hao mòn gờ bánh của nhóm toa xe kéo theo, nhóm toa xe động lực và cả đoàn tàu là hoàn toàn tương đương tương, không có sự khác biệt.

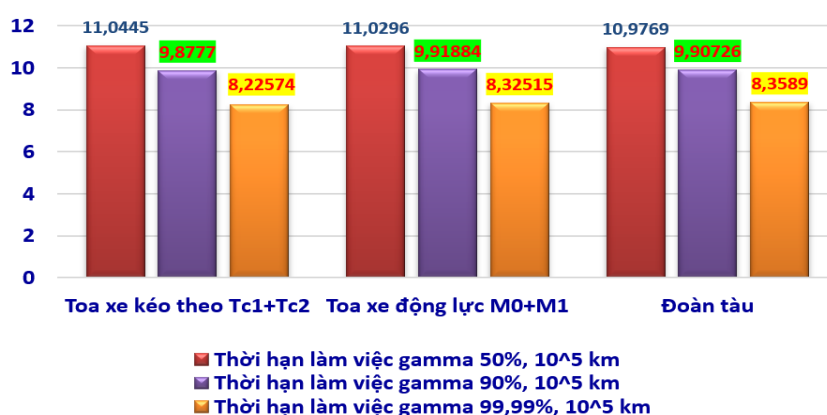
Hệ số biến động, thể hiện mức độ ổn định của cường độ hao mòn gờ bánh cũng hoàn toàn tương đương tương, không có sự khác biệt.

b. Đánh giá về thời hạn làm việc

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 thể hiện trong Bảng 4.39 và Hình 4.25.

Bảng 4.39. 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 4.25. 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 mặt lăn 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.

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
THEO ĐỘ GIA TĂNG CHIỀU CAO GỜ BÁNH XE

Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
Toa xe: - Tc1 - Tc2
Trục số: - 1 - 2 - 3 - 4
Phía: - Trái - Phải
Độ gia tăng giới hạn (mm): 10
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	$\sigma(c)$	0.669371	mm/10 ⁵ km
2	$\sigma(c)$	0.108974	mm/10 ⁵ km
3	$v(c)$	0.162801	
4	$t_{\gamma=50\%}$	14.9394	10 ⁵ km
5	$t_{\gamma=90\%}$	12.3598	10 ⁵ km
6	$t_{\gamma=99.99\%}$	9.30539	10 ⁵ km
7	$f(c)$	$3.66089 \exp[-42.1040 (c - 0.669371)^2]$	10 ⁻⁵ km/mm
8	P(t)	$\Phi(91.7650 / t - 6.14248)$	
9	Q(t)	$\Phi(6.14248 - 91.7650 / t)$	

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY
THEO ĐỘ GIA TĂNG CHIỀU CAO GỜ BÁNH XE

Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
Toa xe: - M0 - M1
Trục số: - 1 - 2 - 3 - 4
Phía: - Trái - Phải
Độ gia tăng giới hạn (mm): 10
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	$\sigma(c)$	0.666381	mm/10 ⁵ km
2	$\sigma(c)$	0.0911303	mm/10 ⁵ km
3	$v(c)$	0.136754	
4	$t_{\gamma=50\%}$	15.0064	10 ⁵ km
5	$t_{\gamma=90\%}$	12.7680	10 ⁵ km
6	$t_{\gamma=99.99\%}$	9.94734	10 ⁵ km
7	$f(c)$	$4.37771 \exp[-60.2067 (c - 0.666381)^2]$	10 ⁻⁵ km/mm
8	P(t)	$\Phi(109.733 / t - 7.31240)$	
9	Q(t)	$\Phi(7.31240 - 109.733 / t)$	

a. Nhóm toa xe kéo theo Tc1+Tc2

b. Nhóm toa xe động lực M0+M1

Hình 4.27. Giao diện hiển thị kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh đối với một số nhóm toa xe khác nhau

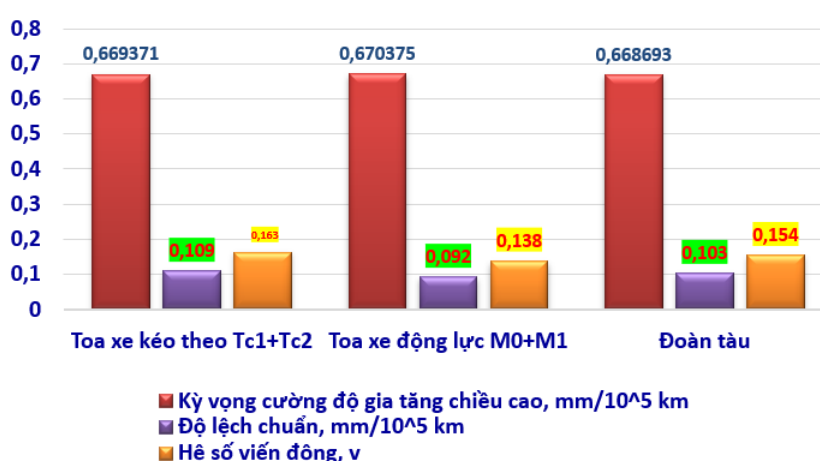
4.6.3.3. So sánh kết quả đánh giá độ tin cậy và thời hạn làm việc theo các tổ hợp phương án

a. Đánh giá về cường độ hao mòn

Các thông số cường độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu thể hiện trong Bảng 4.40 và Hình 4.28.

Bảng 4.40. Tổng hợp các thông số cường độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu

Thông số	Kỳ vọng cường độ gia tăng chiều cao gờ bánh, mm/10 ⁵ km	Độ lệch chuẩn, mm/10 ⁵ km	Hệ số biến động v
Toa xe Tc1+Tc2	0,669371	0,109	0,163
Toa xe M0+M1	0,670375	0,092	0,138
Đoàn tàu	0,668693	0,103	0,154



Hình 4.28. Biểu đồ các thông số cường độ gia tăng chiều cao gờ bánh đối với toa xe kéo theo, toa xe động lực và cả đoàn tàu

Nhận xét: Cường độ gia tăng chiều cao của nhóm toa xe kéo theo, nhóm toa xe động lực và cả đoàn tàu là hầu như tương đương tương, không có sự khác biệt đáng kể.

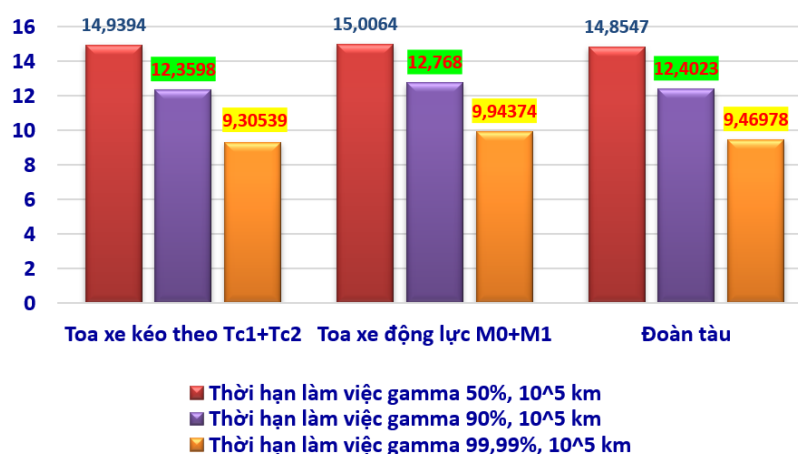
Hệ số biến động, thể hiện mức độ ổn định của cường độ gia tăng chiều cao gờ bánh có sự khác biệt: nhóm toa xe động lực có trị số nhỏ hơn, thể hiện mức độ hao mòn ổn định hơn.

b. Đánh giá về thời hạn làm việc

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 4.41 và Hình 4.29.

Bảng 4.41. 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 4.29. 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.

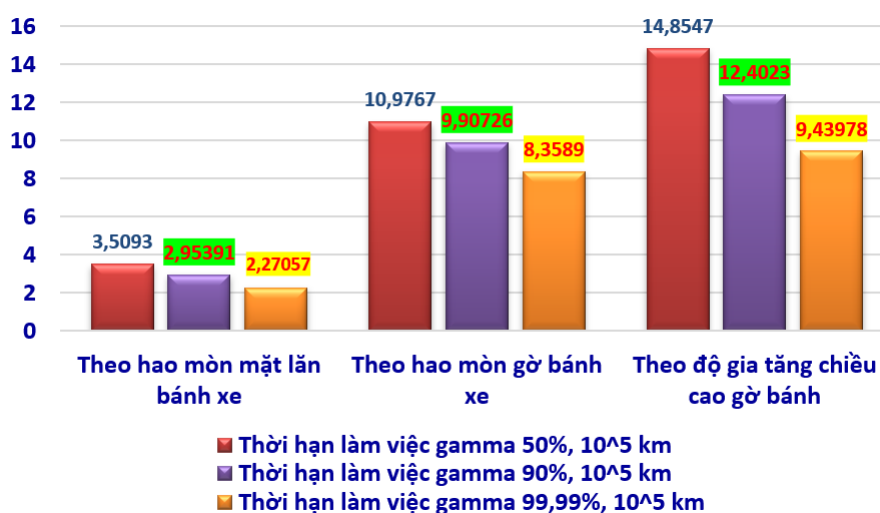
4.6.4. Phân tích thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo các dạng hao mòn

4.6.4.1. Phân tích thời hạn làm việc trong một chu kỳ khôi phục biên dạng mặt lăn bánh xe (tiện lại mặt lăn)

Các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn, gờ bánh và độ gia tăng chiều cao gờ bánh ở các mức tin cậy khác nhau thể hiện trong Bảng 4.42 và Hình 4.30.

Bảng 4.42. Tổng hợp các thông số thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn, 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 lăn 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 4.30. Biểu đồ thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn, 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 tiện 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 lăn. 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.

4.6.4.2. Phân tích 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 4.31 là khoảng 3.000.000 km chạy.

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).

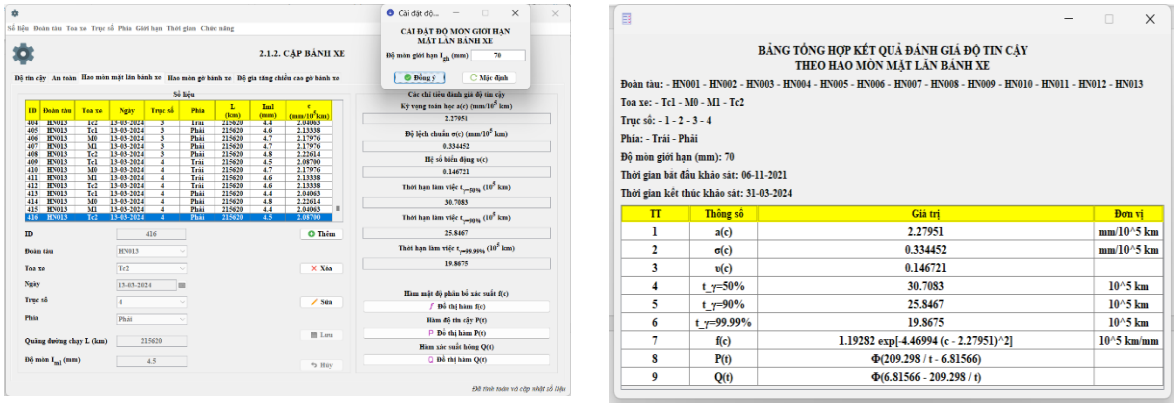
3. Với lượng dự trữ hao mòn mặt lăn tối thiểu là 70 mm và độ mòn cho phép trong khai thác tối đa là 8,0 mm, thì trong một vòng đời bộ trục bánh xe phải khôi phục lại biên dạng (tiện lại mặt lăn) là 70 mm: 8 mm = 8,75 lần, làm tròn là 9 lần.

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).

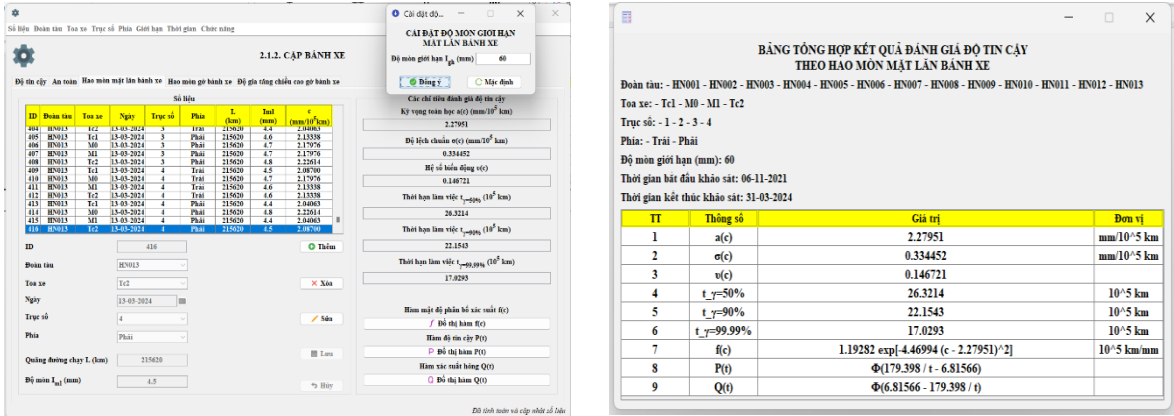
Khi đó thời hạn làm việc trong cả vòng đời có kể đến 9 lần gia công bánh xe được xác định và thể hiện trên giao diện Hình 4.32, chỉ còn khoảng 2.630.000 km (xem giao diện Hình 4.32). Nếu quãng đường chạy trung bình của đoàn tàu là 100.000 km/năm thì sau khoảng 26 năm bộ trục bánh xe mới hao mòn đến kích thước vòng lăn nhỏ nhất là 770 mm.

Trong thực tế, lượng gia công cơ khí trong mỗi lần tiện bánh xe là khác nhau, phụ 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.



Hình 4.31. 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



Hình 4.32. 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

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.

Nhận xét:

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.

4.7. ĐÁNH GIÁ XÁC SUẤT GIỚI HẠN CHUYỂN TIẾP TRẠNG THÁI CỦA CÁC PHÂN HỆ TRÊN ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

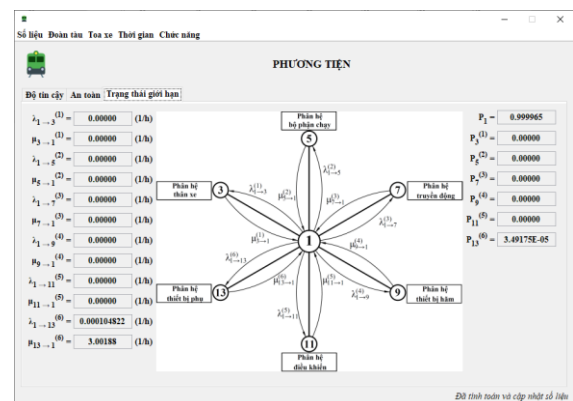
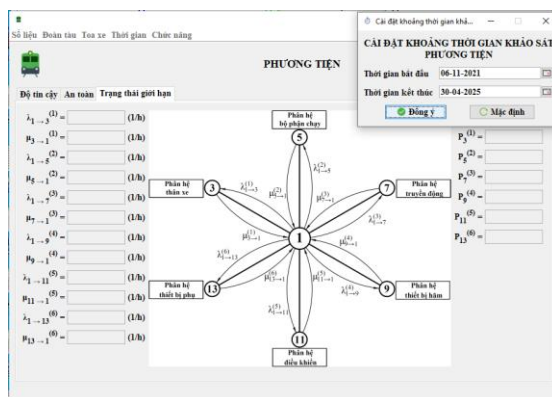
4.7.1. Đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến

Như đã trình bày ở trên, Toa xe Tc1 trên đoàn tàu HN007 ngày 01/10/2024, Phần tử Tủ điều khiển điện (6.4.5) (thuộc Tiểu phân hệ Hệ thống điện khoang khách (6.4), Phân hệ thiết bị phụ (6)), do lỗi rơ le 20K72 nên tại ga Cát Linh đoàn tàu không nhả hãm được, sau đó đã đổi tàu dự phòng chạy thay thế, gây chậm tàu 45 phút.

Tương tự, Toa xe Tc2 trên đoàn tàu HN008 ngày 04/8/2023, Phần tử Tủ điều khiển (6.3.2) (thuộc Tiểu phân hệ Điện buồng lái (6.3), Phân hệ thiết bị phụ (6)), do lỗi rơ le 5 km/h 20K72 gây mất sức kéo, không khởi động được tại ga Cát Linh, sau đó đã đổi tàu HN013 lên thay thế, gây chậm tàu 5 phút.

Như vậy, độ tin cậy của toàn bộ phương tiện phụ thuộc vào hai phần tử là Phần tử Tủ điều khiển điện (6.4.5) và Phần tử Tủ điều khiển (6.3.2) thuộc Phân hệ thiết bị phụ.

Quá trình tính toán đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh-Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến thể hiện trên Hình 4.33 và Bảng 4.43.



SỐ LIỆU ĐÁNH GIÁ TRẠNG THÁI GIỚI HẠN
PHƯƠNG TIỆN

Số liệu: - Trên tuyến
Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
Tọa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2
Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021
Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025
Tổng số số liệu: 2

TT	Phần tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Tọa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
1	6.3.2	9	Trên tuyến	HN008	Tc2	04-08-2023	15264	0.083
2	6.4.5	2	Trên tuyến	HN007	Tc1	01-10-2024	25440	0.75

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ TRẠNG THÁI GIỚI HẠN
PHƯƠNG TIỆN

Số liệu: - Trên tuyến
Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013
Tọa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2
Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021
Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

TT	Chỉ tiêu	Giá trị	Đơn vị
1	P_1	0.999965	1/h
2	$P_3^{(1)}$	0.00000	1/h
3	$P_5^{(2)}$	0.00000	1/h
4	$P_7^{(3)}$	0.00000	1/h
5	$P_9^{(4)}$	0.00000	1/h
6	$P_{11}^{(5)}$	0.00000	1/h
7	$P_{13}^{(6)}$	0.00000	1/h
8	P_1	0.00000	1/h
9	$P_3^{(1)}$	0.00000	1/h
10	$P_5^{(2)}$	0.00000	1/h
11	$P_7^{(3)}$	0.00000	1/h
12	$P_9^{(4)}$	0.00000	1/h
13	$P_{11}^{(5)}$	0.00000	1/h
14	$P_{13}^{(6)}$	0.00000	1/h
15	P_1	0.00000	1/h
16	$P_3^{(1)}$	0.00000	1/h
17	$P_5^{(2)}$	0.00000	1/h
18	$P_7^{(3)}$	0.00000	1/h
19	$P_9^{(4)}$	0.00000	1/h
20	$P_{11}^{(5)}$	0.00000	1/h
21	$P_{13}^{(6)}$	0.00000	1/h

b. Giao diện hiển thị số liệu tính toán c. Giao diện tổng hợp kết quả tính toán

Hình 4.33. Các giao diện hiển thị quá trình tính toán và kết quả đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro trong quá trình vận hành trên tuyến

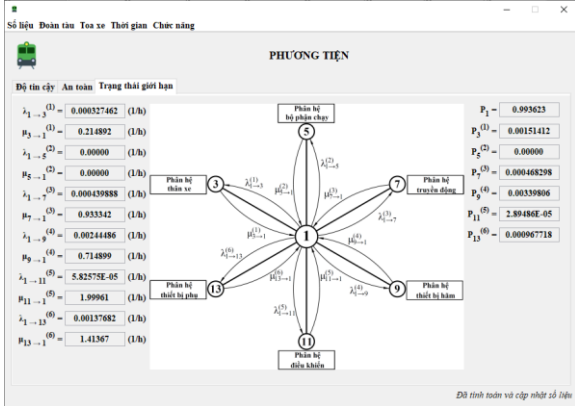
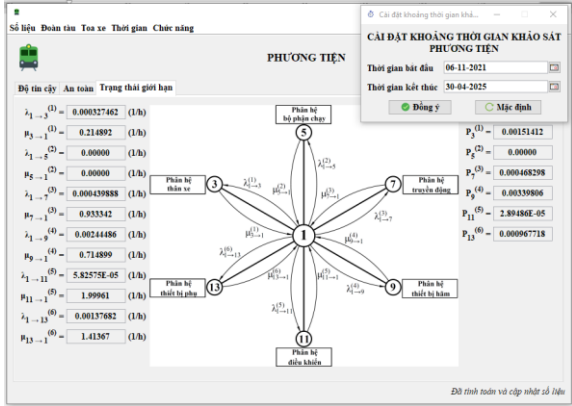
Bảng 4.43. Kết quả tính toán xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ và của phương tiện (đoàn tàu metro) trong quá trình vận hành trên tuyến

TT	Các chỉ tiêu	Trị số xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái
1	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái làm việc P_1	0,999965
2	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái không làm việc do hư hỏng của Phân hệ:	
2.1	Phân hệ 1. Thân xe $P_3^{(1)}$	0
2.2	Phân hệ 2. Bộ phận chạy $P_5^{(2)}$	0
2.3	Phân hệ 3. Truyền động $P_7^{(3)}$	0
2.4	Phân hệ 4. Thiết bị hãm $P_9^{(4)}$	0
2.5	Phân hệ 5. Điều khiển $P_{11}^{(5)}$	0
2.6	Phân hệ 6. Thiết bị phụ $P_{13}^{(6)}$	$3,49175 \cdot 10^{-5}$

Như vậy, trong quá trình vận hành trên tuyến, xác suất để phương tiện nằm ở trạng thái làm việc hay độ tin cậy của nó là rất cao với $P_1 = 0,999965$. Xác suất để phương tiện nằm ở trạng thái không làm việc do hư hỏng của phân hệ thiết bị phụ là rất nhỏ, $P_{13}^{(6)} = 3,49175 \cdot 10^{-5}$. Nói một cách khác, mức tin cậy của phân hệ thiết bị phụ khi vận hành trên tuyến trong khoảng thời gian khảo sát là thấp nhất so với các phân hệ khác, nhưng cũng có giá trị là rất cao là 0,999965 và nó cũng chính là độ tin cậy của toàn bộ phương tiện. Các phân hệ còn lại được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

4.7.2. Đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông tại depot

Quá trình tính toán đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot thể hiện trên các Hình 4.34 và Bảng 4.44.



a. Giao diện tính toán và hiển thị kết quả

SỐ LIỆU ĐÁNH GIÁ TRẠNG THÁI GIỚI HẠN PHƯƠNG TIỆN

Số liệu: - Tại Depot

Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013

Tọa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2

Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

Tổng số số liệu: 744

TT	Phần tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Tọa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
728	6.5.1	5	Tại Depot	HN006	M0	22-01-2024	19368	0.333
729	6.5.1	6	Tại Depot	HN006	Tc2	07-03-2023	11664	0.5
730	6.5.1	7	Tại Depot	HN007	Tc1	13-02-2022	2376	0.75
731	6.5.1	8	Tại Depot	HN007	Tc1	20-02-2022	168	0.75
732	6.5.1	9	Tại Depot	HN007	Tc1	21-08-2023	13128	0.5
733	6.5.1	10	Tại Depot	HN007	Tc2	11-08-2023	15440	0.333
734	6.5.1	11	Tại Depot	HN010	Tc2	13-11-2021	168	0.5
735	6.5.1	12	Tại Depot	HN010	Tc2	10-03-2022	2808	0.25
736	6.5.1	13	Tại Depot	HN011	Tc1	24-05-2022	4776	1.5
737	6.5.1	14	Tại Depot	HN011	Tc1	26-09-2022	3000	0.75
738	6.5.1	15	Tại Depot	HN011	Tc1	17-01-2024	11472	0.75
739	6.5.1	16	Tại Depot	HN011	Tc2	28-06-2022	5616	1.5
740	6.5.1	17	Tại Depot	HN011	Tc2	17-01-2024	13632	0.75
741	6.5.1	18	Tại Depot	HN007	Tc1	16-04-2024	5736	1
742	6.5.1	19	Tại Depot	HN002	Tc1	13-11-2024	26472	0.25
743	6.5.1	20	Tại Depot	HN003	Tc1	17-08-2024	24360	0.25
744	6.5.1	21	Tại Depot	HN012	Tc1	21-04-2025	30288	0.5

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ TRẠNG THÁI GIỚI HẠN PHƯƠNG TIỆN

Số liệu: - Tại Depot

Đoàn tàu: - HN001 - HN002 - HN003 - HN004 - HN005 - HN006 - HN007 - HN008 - HN009 - HN010 - HN011 - HN012 - HN013

Tọa xe: - Tc1 - M0 - M1 - Tc2

Thời gian bắt đầu khảo sát: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 30-04-2025

TT	Phần tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Tọa xe	Ngày	t (h)	τ (h)
1	6.5.1	5	Tại Depot	HN006	M0	22-01-2024	19368	0.333
2	6.5.1	6	Tại Depot	HN006	Tc2	07-03-2023	11664	0.5
3	6.5.1	7	Tại Depot	HN007	Tc1	13-02-2022	2376	0.75
4	6.5.1	8	Tại Depot	HN007	Tc1	20-02-2022	168	0.75
5	6.5.1	9	Tại Depot	HN007	Tc1	21-08-2023	13128	0.5
6	6.5.1	10	Tại Depot	HN007	Tc2	11-08-2023	15440	0.333
7	6.5.1	11	Tại Depot	HN010	Tc2	13-11-2021	168	0.5
8	6.5.1	12	Tại Depot	HN010	Tc2	10-03-2022	2808	0.25
9	6.5.1	13	Tại Depot	HN011	Tc1	24-05-2022	4776	1.5
10	6.5.1	14	Tại Depot	HN011	Tc1	26-09-2022	3000	0.75
11	6.5.1	15	Tại Depot	HN011	Tc1	17-01-2024	11472	0.75
12	6.5.1	16	Tại Depot	HN011	Tc2	28-06-2022	5616	1.5
13	6.5.1	17	Tại Depot	HN011	Tc2	17-01-2024	13632	0.75
14	6.5.1	18	Tại Depot	HN007	Tc1	16-04-2024	5736	1
15	6.5.1	19	Tại Depot	HN002	Tc1	13-11-2024	26472	0.25
16	6.5.1	20	Tại Depot	HN003	Tc1	17-08-2024	24360	0.25
17	6.5.1	21	Tại Depot	HN012	Tc1	21-04-2025	30288	0.5

b. Giao diện hiển thị số liệu tính toán c. Giao diện tổng hợp kết quả tính toán

Hình 4.34. Các giao diện hiển thị quá trình tính toán và kết quả đánh giá xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ trên đoàn tàu metro tại depot

Bảng 4.44. Kết quả tính toán xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái của các phân hệ và của phương tiện (đoàn tàu metro) tại depot

TT	Các chỉ tiêu	Trị số xác suất giới hạn chuyển tiếp trạng thái
1	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái làm việc P_1	0,993623
2	Xác suất Phương tiện nằm ở trạng thái không làm việc do hư hỏng của Phân hệ:	
2.1	Phân hệ 1. Thân xe $P_3^{(1)}$	0,00151412
2.2	Phân hệ 2. Bộ phận chạy $P_5^{(2)}$	0
2.3	Phân hệ 3. Truyền động $P_7^{(3)}$	0,000468298
2.4	Phân hệ 4. Thiết bị phanh $P_9^{(4)}$	0,00339806
2.5	Phân hệ 5. Điều khiển $P_{11}^{(5)}$	$2,8948 \cdot 10^{-5}$
2.6	Phân hệ 6. Thiết bị phụ $P_{13}^{(6)}$	0,000967718

Như vậy trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot, xác suất để phương tiện nằm ở trạng thái làm việc hay độ tin cậy của nó là khá cao với $P_1 = 0,993623$.

Xác suất để phương tiện nằm ở trạng thái không làm việc do hư hỏng của các phân hệ, lần lượt từ nhỏ nhất đến cao nhất là:

1. Phân hệ bộ phận chạy;
2. Phân hệ điều khiển;
3. Phân hệ truyền động;
4. Phân hệ thân xe.
5. Phân hệ thiết bị hãm;

Phân hệ bộ phận chạy được coi là có độ tin cậy tuyệt đối.

Tuy nhiên, để nâng cao độ tin cậy hay tính sẵn sàng hơn nữa, cần tăng khoảng thời gian làm việc giữa các lần hỏng và giảm thời gian phục hồi, trong đó giảm thời gian phục hồi (tăng cường độ phục hồi) mang tính quyết định hơn cả.

Nhận xét:

Kết quả tính toán cho phép hình dung được mức tin cậy của các phân hệ trên phương tiện đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến, mức sẵn sàng hay khả năng bảo dưỡng của chúng trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot, hình dung được các phần tử xung yếu nhất, từ đó 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, từ đó nâng cao được độ tin cậy, tính sẵn sàng của chúng.

4.8. ĐÁNH GIÁ CÁC CHỈ TIÊU VỀ AN TOÀN CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC

4.8.1. Đánh giá tần suất sự cố của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác

Kết quả tính toán tần suất sự cố của các phân hệ và một số phần tử có số lượng sự cố lớn nhất trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác (từ 06/11/2021 đến 30/4/2025) thể hiện trong các Bảng 1.63 - 1.64 Phụ lục 1.

Một số kết quả rút gọn thể hiện trong các Bảng 4.45 - 4.46.

**Bảng 4.45. Tần suất sự cố của các phân hệ trên đoàn tàu metro
tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác (từ 06/11/2021 đến 30/4/2025)**

TT	Đối tượng	Số lượng sự cố	Thời gian hoạt động, h	Tần suất sự cố, h ⁻¹
1	Phân hệ thân xe	172	22.680	7,584.10 ⁻³
2	Phân hệ bộ phận chạy	0	22.680	0
3	Phân hệ truyền động	135	22.680	5,952.10 ⁻³
4	Phân hệ thiết bị hãm	197	22.680	8,686.10 ⁻³
5	Phân hệ điều khiển	4	22.680	1,764.10 ⁻⁴
6	Phân hệ thiết bị phụ	238	22.680	1,049.10 ⁻²
7	Tổng thể phương tiện	746	22.680	3,289.10 ⁻²

**Bảng 4.46. Tần suất sự cố của các phần tử có số lượng sự cố lớn nhất trên đoàn tàu
metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác
(từ 06/11/2021 đến 30/4/2025)**

TT	Đối tượng	Số lượng sự cố	Thời gian hoạt động, h	Tần suất sự cố, h ⁻¹
1	Phần tử PT1.5.1 - Cửa hông khoang khách	141	22.680	6,217.10 ⁻³
2	Phần tử PT4.4.7 - Van điều chỉnh độ cao	95	22.680	4,189.10 ⁻³
3	Phần tử PT3.1.8 - Bộ gom dòng	86	22.680	3,792.10 ⁻³
4	Phần tử PT6.4.1 - Chiếu sáng khoang khách	50	22.680	2,205.10 ⁻³
5	Phần tử PT6.2.1 - Tổ máy điều hòa toa khách	47	22.680	2,072.10 ⁻³

4.8.2. Đánh giá an toàn của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình vận hành trên tuyến

Trong khoảng thời gian từ khi bắt đầu khai thác từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (gần 42 tháng) không có sự cố nào dẫn đến mất an toàn và tai nạn do phương tiện gây ra. Vì vậy, để kiểm nghiệm các chức năng của phần mềm về đánh giá các chỉ tiêu về an toàn do phương tiện gây ra, tiến hành sử dụng số liệu giả định thể hiện trong Bảng 4.47.

Bảng 4.47. Số liệu thống kê giả định về an toàn và tai nạn của phân hệ thân xe

Phân hệ thân xe Đoàn tàu số H001; Toa xe số Tc1										
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	Thiệt hại về người			Thiệt hại về tài sản
							Số người chết	Số người bị thương nặng	Số người bị thương nhẹ	Mức độ nghiêm trọng
PH1	Phân hệ thân xe									

		TPH1.4	Hệ thống cửa thoát hiểm khẩn cấp								
				PT1.4.1	Cửa thoát hiểm khẩn cấp	01/7/22	1	2	3	30	3
				PT1.4.2	Thang thoát hiểm	13/9/23	2	1	5	50	2
		TPH1.5	Hệ thống cửa hông khoang khách								
				PT1.5.1	Hệ thống cửa hông khoang khách	23/6/22	1	2	3	50	3

Quá trình tính toán và kết quả tính toán thể hiện trên các giao diện Hình 4.35.

Số liệu Đoàn tàu Toa xe Thời gian Chức năng

Độ tin cậy An toàn Trạng thái giới hạn

PHƯƠNG TIỆN

Các chỉ tiêu đánh giá về an toàn

Tổng số người chết

4

Tổng số tai nạn đặc biệt nghiêm trọng (mức 1)

0

Tần suất tai nạn đặc biệt nghiêm trọng (1/h)

0.000e+00

Tổng số tai nạn rất nghiêm trọng (mức 2)

1

Tần suất tai nạn rất nghiêm trọng (1/h)

6.342e-05

Tổng số tai nạn nghiêm trọng (mức 3)

2

Tần suất tai nạn nghiêm trọng (1/h)

1.268e-04

Tổng số tai nạn ít nghiêm trọng (mức 4)

0

Tần suất tai nạn ít nghiêm trọng (1/h)

0.000e+00

Tổng số tai nạn không nghiêm trọng (mức 5)

0

Tần suất tai nạn không nghiêm trọng (1/h)

0.000e+00

Tổng thiệt hại tài sản (triệu đồng)

130.000

Số liệu: - Trên tuyến

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: 06-11-2021

Thời gian kết thúc khảo sát: 31-03-2024

Tổng số số liệu: 3

TT	Phần tử	ID	Số liệu	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	Số người chết	Số người bị thương nặng	Số người bị thương nhẹ	Thiệt hại tài sản (triệu đồng)	Mức độ nghiêm trọng
1	1.4.1	1	Trên tuyến	HN001	Tc1	01-07-2022	1	2	3	30	3
2	1.4.2	1	Trên tuyến	HN001	Tc1	13-09-2023	2	1	5	50	2
3	1.5.1	1	Trên tuyến	HN001	Tc1	23-06-2022	1	2	3	50	3

a. Giao diện tổng quát tính toán các chỉ tiêu về an toàn

b. Giao diện hiển thị số liệu tính toán các chỉ tiêu về an toàn

BẢNG TỔNG HỢP KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ AN TOÀN PHƯƠNG TIỆN			
Số liệu: - Trên tuyến			
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: 06-11-2021			
Thời gian kết thúc khảo sát: 31-03-2024			
TT	Thông số	Giá trị	Đánh giá
1	Tổng số người chết	4	
2	Tổng số người bị thương nặng	5	
3	Tổng số người bị thương nhẹ	11	
4	Tổng thiệt hại tài sản	130.000	triệu đồng
5	Tổng số tai nạn đặc biệt nghiêm trọng	0	Mức 1
6	Tần suất tai nạn đặc biệt nghiêm trọng	0.000e+00	1/h Có thể bỏ qua
7	Tổng số tai nạn rất nghiêm trọng	1	Mức 2
8	Tần suất tai nạn rất nghiêm trọng	6.342e-05	1/h Không chấp nhận được
9	Tổng số tai nạn nghiêm trọng	2	Mức 3
10	Tần suất tai nạn nghiêm trọng	1.268e-04	1/h Không chấp nhận được
11	Tổng số tai nạn ít nghiêm trọng	0	Mức 4
12	Tần suất tai nạn ít nghiêm trọng	0.000e+00	1/h Có thể bỏ qua
13	Tổng số tai nạn không nghiêm trọng	0	Mức 5
14	Tần suất tai nạn không nghiêm trọng	0.000e+00	1/h Có thể bỏ qua

c. Giao diện hiển thị kết quả tính toán các chỉ tiêu về an toàn

Hình 4.35. Các giao diện hiển thị quá trình tính toán các chỉ tiêu về an toàn

Như vậy, các chỉ tiêu an toàn của phương tiện do các phần tử trong phân hệ thân xe gây ra, được xác định như sau:

Trên cơ sở các số liệu đã nhập, phần mềm tự động phân loại mức độ nghiêm trọng của tai nạn theo Bảng 2.13 (5 mức: 1 - Đặc biệt nghiêm trọng; 2 - Rất nghiêm trọng; 3 - Nghiêm trọng; 4 - Ít nghiêm trọng; 5 - Không nghiêm trọng). Sau đó, tính toán được tần suất xuất hiện của các tai nạn:

Tần suất tai nạn đặc biệt nghiêm trọng: $0.h^{-1}$

Tần suất tai nạn rất nghiêm trọng: $3,342.10^{-5} h^{-1}$

Tần suất tai nạn nghiêm trọng: $1,268.10^{-4} \text{ h}^{-1}$

Tần suất tai nạn ít nghiêm trọng: $0.\text{h}^{-1}$

Tần suất tai nạn không nghiêm trọng: $0.\text{h}^{-1}$

Từ các tần suất này, phần mềm tự động phân loại mức độ xuất hiện của các tai nạn theo Bảng 2.12 (6 mức: A - Thường xuyên; B - Rất có thể xảy ra; C - Thỉnh thoảng; D - Ít có khả năng; E - Xác suất nhỏ; F - Khó có thể xảy ra).

Căn cứ Bảng 2.15 về phân loại rủi ro (4 mức: R1 - Không chấp nhận được; R2 - Không mong muốn; R3 - Chấp nhận được; R4 - Có thể bỏ qua) và ma trận đánh giá, chấp nhận rủi ro (Bảng 2.16), phần mềm tự động đánh giá mức độ R1, R2, R3, R4 đối với từng loại tai nạn, giúp cho đơn vị quản lý kiểm soát và giảm bớt các rủi ro, tai nạn.

Nhận xét:

1. Đã xác định được tần suất xảy ra sự cố đối với từng phân hệ trên đoàn tàu metro và của tổng thể của toàn bộ phương tiện; đã xác định được tần suất xảy ra sự cố đối với 5 phần tử có số lượng sự cố lớn nhất trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông.

2. Sử dụng số liệu giả định cho phép kiểm nghiệm được đầy đủ các chức năng của phần mềm về đánh giá an toàn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông. Vì đây là số liệu giả định nên chưa có cơ sở phân tích đánh giá về các chỉ tiêu an toàn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 4

Trong khoảng thời gian khảo sát từ 06/11/2021 đến 30/4/2025, đã xác định và đánh giá được một cách định lượng các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng và khả năng bảo dưỡng của tổng thể phương tiện (đoàn tàu metro) tuyến Cát linh - Hà Đông như sau:

1. Trong quá trình vận hành trên tuyến: độ tin cậy hay hệ số sẵn sàng của tổng thể phương tiện là $S_s = 0,999965$ với thời gian trung bình giữa các lần xảy ra sự cố là $E(T_s) = 9540$ h và thời gian phục hồi (khắc phục sự cố) trung bình là $E(\tau_s) = 0,333125$ h; cường độ hỏng $\lambda_s = 0,000105$ h⁻¹ và cường độ phục hồi $\mu_s = 3,00188$ h⁻¹.

2. Trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa tại depot: độ tin cậy hay hệ số sẵn sàng của tổng thể phương tiện là $S_s = 0,993624$ với thời gian trung bình giữa các lần xảy ra sự cố là $E(T_s) = 215,179$ h và thời gian phục hồi (khắc phục sự cố) trung bình là $E(\tau_s) = 1,381$ h; cường độ hỏng $\lambda_s = 0,004647$ h⁻¹ và cường độ phục hồi $\mu_s = 0,7241$ h⁻¹.

3. Thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn, với cường độ hao mòn tương ứng với khoảng thời gian khảo sát đã nêu, ở mức tin cậy gamma 99,99 % (đến khi lượng dự trữ hao mòn đạt giới hạn 70 mm) là khoảng 2.300.000 km chạy.

4. Xác xuất giới hạn chuyển tiếp trạng thái để phương tiện (đoàn tàu) nằm ở trạng thái làm việc khi vận hành trên tuyến là $P_1 = 0,999965$ và trong quá trình bảo dưỡng tại depot là $P_1 = 0,993623$.

Về đánh giá an toàn, trong khoảng thời gian khảo sát 3,5 năm thấy rằng các phần tử có số lượng sự cố lớn hơn cả, bao gồm:

- Phần tử PT1.5.1. Cửa hông khoang khách: 141 sự cố
- Phần tử PT4.4.7. Van điều chỉnh độ cao: 95 sự cố
- Phần tử PT3.1.8. Bộ gom dòng: 86 sự cố
- Phần tử PT6.4.1. Chiếu sáng khoang khách: 50 sự cố
- Phần tử PT6.2.1. Tổ máy điều hòa toa khách: 47 sự cố

Tuy nhiên, không có sự cố nào dẫn đến mất an toàn và tai nạn do phương tiện gây ra. Vì vậy, chưa có cơ sở phân tích đánh giá về các chỉ tiêu an toàn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. KẾT LUẬN

Luận án đã hoàn thành đầy đủ các mục tiêu đặt ra:

1. Tổng hợp được cơ sở đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn (RAMS) của phần tử và hệ thống kỹ thuật phức hợp nói chung, làm cơ sở áp dụng cho phương tiện đường sắt đô thị trong quá trình khai thác nói riêng.
2. Xây dựng được quy trình đánh giá RAMS cho phương tiện đường sắt đô thị khai thác ở Việt Nam nói chung và tuyến Cát Linh - Hà Đông nói riêng.
3. Trên cơ sở ngôn ngữ lập trình Java và hệ quản trị cơ sở dữ liệu SQLite, đã xây dựng được phần mềm đánh giá độ tin cậy tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông, với nhiều chức năng tùy biến, có giao diện thuần Việt, thân thiện, dễ sử dụng. Phần mềm cho phép tính toán và đánh giá được các chỉ tiêu độ tin cậy của các phần tử, các tiểu phân hệ, các phân hệ và tổng thể phương tiện theo nhiều tổ hợp phương án khác nhau với các khoảng thời gian khảo sát khác nhau một cách tùy ý, nhanh chóng và chính xác.
4. Kết quả tính toán 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, từ đó nâng cao được độ tin cậy, tính sẵn sàng của chúng.

II. NHỮNG HẠN CHẾ

1. Mới chỉ đánh giá được tác động tổng hợp của các điều kiện khai thác đến độ tin cậy của phương tiện nói chung và các phần tử nói riêng, chưa có điều kiện nghiên cứu ảnh hưởng riêng biệt của từng yếu tố đến độ tin cậy của chúng.
2. Việc cập nhật số liệu thông kê vào phần mềm vẫn còn tiến hành thủ công, chưa có điều kiện cập nhật tự động vì trên đoàn tàu cũng như tại cơ sở chưa có đầy đủ các thiết bị cần thiết cho công việc này.

III. KIẾN NGHỊ

1. Các kết quả tính toán trên đây mới chỉ tương ứng với thời gian bắt đầu khai thác từ 06/11/2021 đến 30/4/2025. Cần tiếp tục theo dõi, thu thập và cập nhật số liệu thống kê một cách thường xuyên, liên tục, 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.
2. Cần được hỗ trợ để chuyển giao phần mềm đã xây dựng cho Công ty TNHH MTV đường sắt Hà Nội, để đơn vị chủ động trong quá trình đánh giá các chỉ tiêu độ tin

cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện trong quá trình khai thác.

IV. HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

1. Nâng cấp mềm đã xây dựng cho phù hợp hơn nữa với điều kiện quản lý và khai thác phương tiện trên tuyến Cát Linh - Hà Đông.

2. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện trong quá trình khai thác trên các tuyến khác như Nhổn - Ga Hà Nội và Bến Thành - Suối Tiên.

3. Đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn cho các phân hệ kỹ thuật khác trên tuyến Cát Linh - Hà Đông, Nhổn - Ga Hà Nội, Bến Thành - Suối Tiên như: hệ thống cung cấp điện, cầu, hầm, đường ray, thông tin-tín hiệu, nhà ga, hệ thống điều hành vận tải v.v. với sự phối hợp của các nhà chuyên môn thuộc các lĩnh vực nêu trên.

4. Nghiên cứu xây dựng các bộ tiêu chuẩn, quy chuẩn phục vụ cho việc đánh giá độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn cho toàn bộ hệ thống đường sắt đô thị ở Việt Nam.

Đây là công việc lâu dài, khó khăn và phức tạp, cần đầu tư nguồn lực một cách thích đáng mới có thể hoàn thành được.

**DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ
LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

1. Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn (2023), “Xây dựng mô hình tổng quát đánh giá độ tin cậy của hệ thống kỹ thuật phức hợp”, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải T.* 74(3), tr. 329-345.
2. Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn (2023), “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 T.* 74(8), tr. 896-912.
3. Đỗ Đức Tuấn, Nguyễn Đức Toàn, Trần Văn Việt (2023), “Xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe đoàn tàu đường sắt đô thị tuyến Cát Linh - Hà Đông theo hao mòn mặt lăn và gờ bánh xe trong quá trình khai thác”, *Hội nghị Khoa học và Công nghệ Cơ khí - Động lực lần thứ XVI, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải Số đặc biệt 10/2023*, tr. 40-50.
4. Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn (2024), “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 T.* 75(8), tr. 2208-2222.
5. Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn (2024), “Đánh giá độ tin cậy của toa xe và đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong quá trình khai thác”, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải T.* 75(9), tr. 2318-2332.
6. Do Duc Tuan, Nguyen Duc Toan (2025), “Evaluation of limiting probabilities when transitioning states of subsystems in metro trains operating on the Cat Linh - Ha Dong line”, *Transport and Communications Science Journal Special Issue* 04/2025, p. 394-404.
7. Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn (2025), “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”, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải T.* 76(6), tr. 836-850.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Đoàn Văn Ban, Đoàn Văn Trung (2011), *Giáo trình Lập trình Java*, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.
2. Võ Trọng Cang, Đoàn Minh Thiện, Nguyễn Vương Chí, Trần Văn Ta, Nguyễn Hoài Vũ (2017), “Xây dựng hệ thống bảo dưỡng dự phòng với phân tích cây hư hỏng áp dụng cho hệ thống truyền động trên tàu”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải*, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. HCM, 22, tr. 26-30. ISSN 1859-4263.
3. Võ Trọng Cang, Đỗ Đức Tuấn (2018), “Nghiên cứu hệ thống bảo dưỡng theo độ tin cậy (RCM) áp dụng trên phương tiện vận tải”, *Kỷ yếu Hội nghị KHCN Giao thông vận tải - lần IV, 2018, TP.HCM - Việt Nam*, tr. 384-390. ISBN 978-604-76-1578-01.
4. Võ Trọng Cang (2019), *Phân tích độ tin cậy hệ thống động lực tàu thủy*, Đề tài NCKH mã số TNCS-KTGT-2017-28, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. HCM, 12/2019.
5. Trần Văn Hiếu, Đỗ Đức Tuấn (2023), “Khảo sát, phân tích sự cố và tai nạn giao thông đường sắt ở Việt Nam”, *Hội nghị Khoa học và Công nghệ Cơ khí - Động lực lần thứ XVI - Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, số Đặc biệt (10/2023), tr. 18-26.
6. Phan Văn Khôi (2001), *Cơ sở đánh giá độ tin cậy*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
7. Phan Văn Khôi (2009), *Đánh giá rủi ro các công trình trên biển*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
8. Nguyễn Hữu Lộc (2005), *Thiết kế và phân tích hệ thống cơ khí theo độ tin cậy*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
9. Phạm Đức Nhiệm (2005), *Giáo trình Cơ sở dữ liệu quan hệ*, Nhà xuất bản Hà Nội.
10. Lê Văn Phùng (2010), *Cơ sở dữ liệu quan hệ và công nghệ phân tích - thiết kế*, Nhà xuất bản Thông tin và Truyền thông.
11. Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn (2013). *Xây dựng phần mềm đánh giá các chỉ tiêu độ tin cậy của phần tử và hệ thống đầu máy, toa xe trên cơ sở ngôn ngữ lập trình matlab*, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường mã số: T2013-CK-28, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội.

12. Đỗ Đức Tuấn (1995), “Xác định một số chỉ tiêu độ tin cậy vận dụng của đầu máy D13E trên đường sắt Việt Nam”, *Thông tin KHKT Đại học GTVT, Mục nghiên cứu*, Số 1-1995.
13. Đỗ Đức Tuấn (1995), “Nghiên cứu đánh giá một số chỉ tiêu độ tin cậy vận dụng của đầu máy diesel trên đường sắt Việt Nam”, *Thông tin KHKT Đại học GTVT, Mục nghiên cứu*, Số 2-1995.
14. Đỗ Đức Tuấn (1995), *Nghiên cứu xác định một số chỉ tiêu độ tin cậy vận dụng của đầu máy trên đường sắt Việt Nam và lựa chọn phương pháp đánh giá ảnh hưởng của chúng tới hiệu quả vận tải đường sắt*, Đề tài NCKH mã số T95-CK-05, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội.
15. Đỗ Đức Tuấn (1996), “Đánh giá ảnh hưởng của độ tin cậy vận dụng đầu máy tới hiệu quả vận tải đường sắt”, *Thông tin KHKT Đại học GTVT, Mục nghiên cứu*, Số 1-1996.
16. Đỗ Đức Tuấn, Nguyễn Cao Nhạc, Đỗ Việt Dũng (2002), “Cơ sở đánh giá các chỉ tiêu độ tin cậy của đầu máy diesel với tư cách là một hệ thống kỹ thuật phức hợp”, *Tạp chí Giao thông vận tải*, Số 10/2002.
17. Đỗ Đức Tuấn, Đỗ Việt Dũng (2002), “Nghiên cứu xác định và đánh giá độ tin cậy của các hệ thống trên đầu máy diesel truyền động điện sử dụng trong ngành đường sắt Việt Nam”, *Tạp chí Giao thông vận tải*, Số 11/2002.
18. Đỗ Đức Tuấn, Đỗ Việt Dũng (2003), “Phân tích và đánh giá độ tin cậy của các phân hệ trên đầu máy diesel truyền động điện sử dụng trong ngành đường sắt Việt Nam”, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, Số 3, 3/2003.
19. Đỗ Đức Tuấn (2004), “Cơ sở đánh giá các chỉ tiêu độ tin cậy của đầu máy diesel sử dụng trên đường sắt với tư cách là một hệ thống kỹ thuật phức hợp”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Viện KHCN VN T.* 42(5), tr. 60-68.
20. Đỗ Đức Tuấn (2005), *Đánh giá hao mòn và độ tin cậy của các chi tiết và kết cấu trên đầu máy diesel*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.
21. Đỗ Đức Tuấn (2005), “Nghiên cứu xác định và đánh giá độ tin cậy của các phân hệ trên đầu máy diesel truyền động điện sử dụng trong ngành đường sắt Việt Nam”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ T.* 43(3), tr. 89-104.
22. Đỗ Đức Tuấn, Phạm Văn Trường (2005), “Đánh giá các chỉ tiêu độ tin cậy của đầu máy D12E, D11H, D18E và D19E vận dụng trên đường sắt Việt Nam”, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, Số 12, 11/2005, tr. 61-76.
23. Đỗ Đức Tuấn (2013), *Độ tin cậy và tuổi bền máy*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.

24. Đỗ Đức Tuấn (2016), *Đánh giá các chỉ tiêu vận dụng đầu máy, toa xe trong quá trình khai thác*, Bài giảng cao học ngành Kỹ thuật có khí động lực, chuyên sâu Kỹ thuật đầu máy, toa xe, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội.
25. Đỗ Đức Tuấn (Chủ biên), Võ Trọng Cang, Nguyễn Đức Toàn (2016), *Cơ sở đánh giá độ tin cậy của các chi tiết máy và phương tiện hư hỏng do mòn*, NXB Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh.
26. Đỗ Đức Tuấn, Vũ Văn Hiệp, Thân Đức Nam (2020), “Đánh giá ảnh hưởng độ tin cậy của các thiết bị kỹ thuật tới hiệu quả hoạt động của hệ thống vận tải đường sắt”, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải* T. 71(8), tr. 956-972.
27. Đỗ Đức Tuấn, Nguyễn Đức Toàn, Trần Văn Việt (2023), “Xác định thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe đoàn tàu đường sắt đô thị tuyến Cát Linh – Hà Đông theo hao mòn mặt lăn và gờ bánh xe trong quá trình khai thác”, *Hội nghị Khoa học và Công nghệ Cơ khí - Động lực lần thứ XVI - Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, số Đặc biệt (10/2023), tr. 40-50.
28. Lý Hoàng Việt (2013), *Phân tích tính hình trở ngại chạy tàu do đầu máy gây ra trong ngành đường sắt Việt Nam và đánh giá độ tin cậy của đầu máy trong quá trình vận dụng*, Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội.
29. Bộ Giao thông vận tải (2009), *Thông tư số 15/2009/TT-BGTVT ngày 04/8/2009 quy định về giải quyết sự cố, tai nạn giao thông đường sắt*.
30. Bộ Giao thông vận tải (2013), *Thông tư 29/2013/TT-BGTVT, ngày 07/10/2013 của Bộ Giao thông vận tải về việc sửa đổi, bổ sung một số điều của Thông tư 15/2009/TT-BGTVT ngày 04/08/2009 của Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải quy định về giải quyết sự cố, tai nạn giao thông đường sắt*, Hà Nội.
31. Chính phủ (2016), *Nghị định số 39/2016/NĐ-CP ngày 15/5/2016, Quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật an toàn, vệ sinh lao động*, Hà Nội.
32. 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*.
33. 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 cửa hông buồng lái)*.
34. 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).

35. 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).
36. Quốc hội, *Luật đường sắt số 95/2025/QH15*.
37. TCVN 10935-1 (2015), *Ứng dụng đường sắt – Quy định và chứng minh độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và độ an toàn (RAMS) – Phần 1: Các yêu cầu cơ bản và quy trình chung*, Tiêu chuẩn Quốc gia.

Tiếng Anh

38. Aghezzaf E. H., Khatab A., & Le Tam P. (2016), “Optimizing production and imperfect preventive maintenance planning’ s integration in failure-prone manufacturing systems”, *Reliability Eng. & System Safety* B. 145, pp. 190-198.
39. Ahuja I. P. S., Khamba J. S. (2008), “Strategies and success factors for overcoming challenges in TPM implementation in Indian manufacturing industry”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, B. 14(2), pp. 123-147.
40. Azadeh A., Asadzadeh S. M., Salehi N., Firoozi M. (2015), “Condition-based maintenance effectiveness for series - parallel power generation system - A combined Markovian simulation model”, *Reliability Eng. and System Safety* B. 142, pp. 357-368.
41. Allen D., Chris M. (2016), *Think Java - How to Think Like a Computer Scientist*, Green Tea Press, The United States.
42. Bertsche B. (2008), *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering*, Springer, Germany.
43. Chandra S., Agarwal M. M. (2007), *Railway Engineering*, Oxford University Press, The United Kingdom.
44. Chang C. (2014), “Optimum preventive maintenance policies for systems subject to random working times, replacement, and minimal repair”, *Computers & Industrial Engineering* B. 67, pp. 185-194.

45. Chang W., Lo H. (2011), "Joint determination of lease period and preventive maintenance policy for leased equipment with residual value". *Computers & Industrial Engineering* B 61(3), pp. 489-496.
46. Chen F. L., Chen Y. C. (2010), "Evaluating the maintenance performance of the semiconductor factories based on the analytical hierarchy process and grey relational analysis", *American Journal of Applied Sciences* B. 7(4), pp. 568-574.
47. Dalgic Y., Lazakis I., Dinwoodie I., Mcmillan D., Revie M. (2015), "Advanced logistics planning for offshore wind farm operation and maintenance activities", *Ocean Engineering*, B. 101, pp. 211-226.
48. Ding S. H., Kamaruddin S. (2015), "Maintenance policy optimization: literature review and directions", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* B. 76(5-8), pp. 1263-1283.
49. David S., Rhawi D. (2011), *NetBeans IDE 8 Cookbook*, Packt Publishing Ltd, The United Kingdom.
50. Do P., Voisin A., Levrat E., Iung B. (2015), "A proactive condition-based maintenance strategy with both perfect and imperfect maintenance actions". *Reliability Engineering and System Safety* B. 133, pp. 22-32.
51. Eti M.C., Ogaji S.O.T., Probert S.D. (2006), "Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture", *Applied energy* B. 83(11), pp. 1235-1248.
52. Ebrahimi A. (2010), *Effect analysis of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) Parameters in design and operation of Dynamic Positioning (DP) Systems in floating offshore structures*, Royal Institute of Technology, Sweden.
53. Farran M., Zayed T. (2012), "New life-cycle costing approach for infrastructure rehabilitation", *Engineering, Construction and Architectural Management* B. 19(1), pp. 40-60.
54. Garg A., Deshmukh S.G. (2006), "Maintenance management: literature review and directions", *Journal of Quality in Maintenance Engineering* B. 12(3), pp. 205-238.
55. Gilardoni G.L., LuizaM., Toledo G.De, Freitas M.A., Colosimo E.A. (2016), "Dynamics of an optimal maintenance policy for imperfect repair models", *European Journal of Operational Research* B. 248(3), pp. 1104-1112.
56. Golmakani Reza H., Pouresmaeli M. (2014), "Optimal replacement policy for condition-based maintenance with non-decreasing failure cost and costly inspection", *Journal of Quality in Maintenance Engineering* B. 20(1), pp. 51-64.

57. H. Pham (ed.) (2003), *Handbook of Reliability Engineering*, Springer.
58. Hiraguri S., Iwata K., Watanabe I. (2008), *A Method of Evaluating Railway Signaling System Based on RAMS Concept*, Railway Technical Research Institute, Tokyo, Japan.
59. Korpi E., Ala-Risku T. (2008), "Life cycle costing: a review of published case studies", *Managerial Auditing Journal* B. 23(3), pp. 240-261.
60. Liao G. (2012), "Optimum policy for a production system with major repair and preventive maintenance", *Applied Mathematical Modelling* B. 36(11), pp. 5408-5417.
61. Mahboob Q., Zio E. (2018), *Handbook of RAMS in Railway Systems - Theory and Practice*, CRC Press, The United States.
62. Martorell S., Soares C. G., Barnett J. (2008), *Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications*, CRC Press, The United States.
63. Markeset T., Kumar U. (2001), *R&M and Risk-Analysis Tools in Product Design, to Reduce Life-Cycle Cost and Improve Attractiveness*, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, The United States.
64. Nissen A. (2009), *Development of life cycle cost model and analyses for railway switches and crossings*, Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Sweden.
65. Patra A. P. (2009), *Maintenance Decision Support Models for Railway Infrastructure using RAMS & LCC Analyses*, Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Sweden.
66. Park M. G. (2013), *Integration of RAMS management into railway systems engineering*, Doctoral Thesis, University of Birmingham, The United Kingdom.
67. Profillidis V. (2016), *Railway Management and Engineering*, Routledge, The United Kingdom.
68. Teshome M. (2012), *Modelling and Analysis of Reliability and Long Run Availability of a Fleet of Rolling Stock*, University of Twente, Netherlands.
69. Tzanakakis K. (2013), *The Railway Track and Its Long Term Behaviour*, Springer Berlin, Heidelberg.
70. Woo S. (2017), *Reliability Design of Mechanical Systems- A Guide for Mechanical and Civil Engineers*, Springer, Germany.
71. Ramez Elmasri, Shamkant Navathe (2015), *Fundamentals of Database Systems - 7th Edition*, Pearson, The United States.
72. Rivera M. R., Walker D. L., Daharsh C. (2014), *Achieving Maintenance Operations Excellence through the RCM Program*, MSEE, ABM Industries Incorporated, The United States.

73. Jay A. Kreibich (2010), *Using SQLite*, O'Reilly Media, Inc., The United States.
74. Jay L. Devore (1999), *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*, Fifth Edition, California.
75. Simões J.M., Gomes C.F., Yasin M. M. (2011), “A literature review of maintenance performance measurement: A conceptual framework and directions for future research”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering* B. 17(2), pp. 116-137.
76. Varnosafaderani S., Chukova S. (2012), “Modeling Repairs of Systems with a Bathtub-Shaped Failure Rate Function”, *arXiv preprint:1211.3792*.
77. EN 50126-1 (1999), *Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Basic requirements and generic process*, European Standard.
78. CLC/TR 50126-3 (2006), *Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 3: Guide to the application of EN 50126-1 for rolling stock RAM*, European Standard.
79. EN 50126-1 (2017), *Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS Process*, European Standard.
80. EN 50126-2 (2017), *Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 2: Systems Approach to Safety*, European Standard.
81. IEC 62278 (2002), *Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)*, International Standard.
82. IEC 61703 (2001), *Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and maintenance support terms*, International Standard.
83. INFRALEERT (2018), *Linear Infrastructure Efficiency Improvement by Automated Learning and Optimised Predictive Maintenance Techniques*, Project reference: 636496, European Commission.
84. <https://www.jreast.co.jp/multi/en>
85. <https://www.mlit.go.jp/en>
86. https://elaw.klri.re.kr/eng_service/main.do
87. <https://railroads.dot.gov/>
88. <https://www.onrsr.com.au/>

Tiếng Nga

89. Алехин С. В., Продан Н. С. (1969), *Надёжность механической части подвижного состава*, Москва, “Транспорт”.

90. Дедоборщ В.Г., Суторихин Н.Б. (1989), *Надёжность АМТС*, Москва, Радио и связь.
91. Галушко В.Г. (1976), *Вероятностно-статистические методы на автотранспорте*, “Вища школа”, Киев.
92. Ионин А.А. (1989), *Надёжность систем тепловых сетей*, Москва, Стройиздат.
93. Пузанков А. Д. (1999), *Надёжность конструкций локомотивов*, МИИТ, Москва.
94. Пузанков А. Д. (2006), *Надёжность локомотивов*, МИИТ, Москва.
95. Пузанков А. Д. (2004), *Методы расчёта и использования показателей надёжности в эксплуатации*, МИИТ, Москва.
96. Пузанков А. Д., Гусельников А. П. (2006), *Управление надёжности локомотивного парка депо*, МИИТ, Москва.
97. Р.Биллтон, Р. Аллан (1988), *Оценка надёжности электро-энергетических систем*, Москва, Энергоатомиздат.
98. Румшицкий Л.З. (1971), *Математическая обработка и анализ результатов эксперимента*, Издательство Наука, Москва.
99. Червоный А. А., Лукьященко В. И., Котин Л. В. (1976), *Надёжность сложных систем*, “Машиностроение”, Москва.
100. Шишков А. Д. (1986), *Народнохозяйственная эффективность повышения надёжности технических средств железнодорожного транспорта*, Москва, “Транспорт”.

Tiếng Trung

101. GB/T 21562 (2008), *轨道交通 可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例*, 中华人民共和国国家标准.
102. GB/T 21562.3 (2015), *轨道交通 可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例 第3部分: 机车车辆RAM的应用指南*, 中华人民共和国国家标准.
103. GB/T 21562.2 (2015), *轨道交通 可靠性、可用性、可维护性和安全性规范及示例 第2部分: 安全性的应用指南*, 中华人民共和国国家标准.

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI

NGUYỄN ĐỨC TOÀN

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG,
KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN
ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC Ở VIỆT NAM**

PHỤ LỤC
LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Hà Nội - 2025

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI**

NGUYỄN ĐỨC TOÀN

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG,
KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN
ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC Ở VIỆT NAM**

**Ngành: Kỹ thuật cơ khí động lực
Mã số: 9520116**

**PHỤ LỤC
LUẬN ÁN TIẾN SĨ**

**CÁN BỘ HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:
GS.TS. Đỗ Đức Tuấn**

Hà Nội - 2025

MỤC LỤC

PHỤ LỤC 1. TỔNG HỢP SỐ LIỆU THỐNG KÊ VỀ SỰ CỐ GÂY TRỞ NGẠI CHẠY TÀU TRÊN TUYẾN VÀ ĐƯỢC SỬA CHỮA ĐỘT XUẤT TẠI DEPOT CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ CÁT LINH - HÀ ĐÔNG	2
PHỤ LỤC 2. TỔNG HỢP SỐ LIỆU THỐNG KÊ VỀ HAO MÒN BÁNH XE CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH VẬN HÀNH TRÊN TUYẾN	56
PHỤ LỤC 3. CÁC GIAO DIỆN CHÍNH VÀ MÃ NGUỒN CỦA PHẦN MỀM ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG.....	63

PHỤ LỤC 1

TỔNG HỢP SỐ LIỆU THỐNG KÊ VỀ SỰ CỐ GÂY TRỞ NGẠI CHẠY TÀU TRÊN TUYẾN VÀ ĐƯỢC SỬA CHỮA ĐỘT XUẤT TẠI DEPOT CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ CÁT LINH - HÀ ĐÔNG

Trong khoảng thời gian từ khi bắt đầu khai thác 06/11/2021 đến 30/4/2025 (42 tháng) đã thu thập được các loại số liệu thống kê về sự cố gây trở ngại chạy tàu trên tuyến và được sửa chữa đột xuất tại depot của đoàn tàu metro tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông đối với tất cả các phân hệ trên 13 đoàn tàu. Tuy nhiên, do số lượng số liệu thống kê rất lớn, dưới đây chỉ đơn cử giới thiệu các sự cố của các phân hệ trên đoàn tàu HN001 và HN013 trong khoảng thời gian từ 06/11/2021 đến 31/3/2024 (29 tháng).

PHÂN HỆ THÂN XE

*** ĐOÀN TÀU HN001 (7 sự cố)**

Bảng 1.1. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa Tc1, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc1, Phân hệ thân xe								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH1	Thân xe													
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách											
						13/09/2023	123873	Toa 01: Giữa kính 2 lớp cửa B13 bị hấp hơi		16224	Thay mới kính	3600		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
						15/12/2023	148374	Còi thông báo đóng mở cửa tại cửa B12 toa 01 không kêu		2232	Thay mới	15		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.2. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa Tc1, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc1, Phân hệ thân xe								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất			Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú		
								Đợt xuất		Định kỳ	Đợt xuất	Định kỳ			
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH1	Thân xe							-							
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách												
						13/09/2023	123873	3.053,8	106884	16224		60			
						15/12/2023	148374	700,0	24501	2232		0,25		Tổng sự cố: 2	

Bảng 1.3. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa M0, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe M0, Phân hệ thân xe								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH1	Thân xe													
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách											
						30/03/2023	73796	Cửa số 7, toa 02 hiện thị chống kẹt cửa	Xệ cửa	12216	Căn chỉnh lại	15		Xây ra tên tuyến, được khắc phục tại depo
						06/09/2023	121942	Cửa số 2 toa M0 không đóng hết	Lỗi công tắc hành trình	3840	Căn chỉnh lại	10		Xây ra tên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.4. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa M0, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe M0, Phân hệ thân xe								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất				Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú	
								Đợt xuất			Định kỳ	Đợt xuất	Định kỳ		
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH1	Thân xe							-							
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách					-							
						30/03/2023	73796	1.623,1	56807	12216			0,25		
						06/09/2023	121942	1.375,6	48146	3840			0,166667		Tổng sự cố: 2

Bảng 1.5. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa M1, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe M1, Phân hệ thân xe								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phân tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH1	Thân xe													
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách											
						14/12/2022	48801	Toa M1 cửa số 8 mở chậm A31		9672	Đổi bộ dk A31 sang B31	50		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.6. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa M1, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe M1, Phân hệ thân xe								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú
								Đợt xuất			Định kỳ		Đợt xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH1	Thân xe							-							
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách												
							14/12/2022	48801	908,9	31812	9672			0,833333	Tổng sự cố: 1

Bảng 1.7. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa Tc2, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc2, Phân hệ thân xe								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH1	Thân xe													
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách											
						16/12/2022	49557	Cửa số 7 đầu TC2 mở chậm	Cửa bị xệ xuống	9720	Căn chỉnh lại	25		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
						30/01/2023	58262	Lỗi thông tin cửa toa Tc2 đỏ cả 2 bên trên màn HMI.	Lông rắc thông tin tại cửa	1080	Cắm lại giắc	25		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.8. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa Tc2, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc2, Phân hệ thân xe								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất			Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú		
								Đột xuất		Định kỳ	Đột xuất	Định kỳ			
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH1	Thân xe							-							
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách												
						16/12/2022	49557	930,5	32568	9720			0,416667		
						30/01/2023	58262	248,7	8705	1080			0,416667		Tổng sự cố: 2

*** ĐOÀN TÀU HN013 (4 sự cố)**

Bảng 1.9. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa Tc1, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc1, Phân hệ thân xe								Về sự cố của toa xe trong đoàn đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phân tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH1	Thân xe													
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách											
						17/12/2022	110041	Cửa Số 1 Toa TC1 Không đóng mở được	Bị xệ cửa	9744	Căn chỉnh lại	15		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.10. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa Tc1, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc1, Phân hệ thân xe								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đột xuất			Định kỳ		Đột xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH1	Thân xe														
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách												
						17/12/2022	110041	2,566.1	89814	9744			0.25		Tổng sự cố: 1

Bảng 1.11. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa M1, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe M1, Phân hệ thân xe								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH1	Thân xe													
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách											
						02/02/2024	206705	Lỗi bộ điều khiển cửa số 03 toa M1 (lỗi nam châm điện)		19632	Thay mới	15		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.12. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa M1, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe M1, Phân hệ thân xe								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đợt xuất			Định kỳ		Đợt xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH1	Thân xe														
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách												
						02/02/2024	206705	5,327.9	186478	19632			0.25		Tổng sự cố: 1

Bảng 1.13. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa Tc2, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc2, Phân hệ thân xe								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH1	Thân xe													
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách											
						29/12/2021	21291	Không mở được cửa tự động bên trái toa 04	Chưa rõ nguyên nhân	1272	Đảo dây cáp nguồn rơ le 50K03 và 50K04	30		Xây ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
						16/03/2023	132313	Cửa EDCU1 toa tc2 tàu 013 báo lỗi thông tin.		10608	Thay bộ điều khiển cửa	20		Xây ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.14. Số liệu thống kê Phân hệ Thân xe, toa Tc2, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc2, Phân hệ thân xe								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đột xuất			Định kỳ		Đột xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH1	Thân xe														
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách												
						29/12/2021	21291	30.4	1064	1272		0.5			
						16/03/2023	132313	3,172.1	111022	10608			0.333333		Tổng sự cố: 2

Tổng số: 33 sự cố, 46 bảng (23 bảng trên tuyến, 23 bảng tại depo)

PHÂN HỆ TRUYỀN ĐỘNG

* ĐOÀN TÀU HN001 (3 sự cố)

Bảng 1.15. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa M0, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe M0, Phân hệ truyền động								Về sự cố của toa xe trong đoàn đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH3	Truyền động													
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện											
				PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H									
						07/01/2022	16992	Toa 02 BLB không hoạt động khi có lệnh đóng	Kẹt cơ khí	1488	Khởi động tàu, ép cứng bực 20K02 (ép tín hiệu trên 5km/h) tắt bật nhiều lần	180		Khắc phục ngày 28/06/2023

Bảng 1.16. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa M0, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe M0, Phân hệ truyền động								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất			Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú		
								Đột xuất		Định kỳ	Đột xuất	Định kỳ			
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH3	Truyền động														
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện												
				PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H										
						07/01/2022	16992	0,1	3	1488			3		Tổng sự cố: 1

Bảng 1.17. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa M1, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe M1, Phân hệ truyền động								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH3	Truyền động													
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện											
				PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H									
						14/04/2022	17008	Sự cố thông tin DCU toa M1		3816	Đổi bo mạch DCU hỏng từ tàu 13 sang	25		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.18. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa M1, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe M1, Phân hệ truyền động								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú
								Đợt xuất		Định kỳ			Đợt xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH3	Truyền động														
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện												
				PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H										
						14/04/2022	17008	0,5	19	3816			0,416667		Tổng sự cố: 1

Bảng 1.19. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa Tc2, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc2, Phân hệ truyền động								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH3	Truyền động													
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện											
				PT3.1.8	Bộ gom dòng									
						05/11/2023	137794	Toa 04 ô bi số 03 dây nguồn cấp điện từ cần lấy điện bị đứt ngầm		17496	Thay mới	60		Xây ra tên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.20. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa Tc2, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc2, Phân hệ truyền động								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất			Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú	
								Đợt xuất		Định kỳ	Đợt xuất	Định kỳ		
								h (chạy)	km	h	km	h	h	
PH3	Truyền động													
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện											
				PT3.1.8	Bộ gom dòng									
						05/11/2023	137794	3.451,6	120805	17496		1		Tổng sự cố: 1

*** ĐOÀN TÀU HN013 (4 sự cố)**

Bảng 1.21. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa Tc1, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc1, Phân hệ truyền động								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH3	Truyền động													
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện											
				PT3.1.8	Bộ gom dòng									
						12/11/2023	190648	Toa 01 ô bi số 04: Dây nguồn cấp điện từ cần lấy điện bị đứt ngầm		17664	Thay mới	60		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.22. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa Tc1, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc1, Phân hệ truyền động								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đợt xuất		Định kỳ			Đợt xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH3	Truyền động														
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện												
				PT3.1.8	Bộ gom dòng										
						12/11/2023	190648	4,869.2	170421	17664		1		Tổng sự cố: 1	

Bảng 1.23. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa M0, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe M0, Phân hệ truyền động								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phân tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH3	Truyền động													
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện											
				PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H									
						12/11/2022	102723	Sự cố điều khiển VVVF mức độ trung bình hệ thống DCU toa M0	Cháy 1 di dốt V5 của 1 bộ biến tần 02	8904	Thay mới bộ biến tần	180		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
				PT3.1.8	Bộ gom dòng									
						16/01/2024	204104	Lò xo cần lấy điện trục 6-8 toa 02	Chưa rõ	19224	Thay mới	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.24. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa M0, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe M0, Phân hệ truyền động								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đợt xuất			Định kỳ		Đợt xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH3	Truyền động														
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện												
				PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H										
						12/11/2022	102723	2,357.0	82496	8904		3			
				PT3.1.8	Bộ gom dòng										
						16/01/2024	204104	5,253.6	183877	19224		0.75		Tổng sự cố: 2	

Bảng 1.25. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa M1, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe M1, Phân hệ truyền động								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH3	Truyền động													
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện											
				PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H									
						14/04/2022	49482	Sự cố thông tin DCU toa M1	Đã lấy từ tàu 01	3816	Đổi bo mạch DCU sang tàu 01	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.26. Số liệu thống kê Phân hệ Truyền động, toa M1, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe M1, Phân hệ truyền động								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đột xuất			Định kỳ		Đột xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH3	Truyền động														
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện												
				PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H										
						14/04/2022	49482	835.9	29255	3816			0.75		Tổng sự cố: 1

Tổng số: 46 sự cố, 62 bảng (31 bảng trên tuyến, 31 bảng tại depo)

PHÂN HỆ THIẾT BỊ HÃM

*** ĐOÀN TÀU HN001 (5 sự cố)**

Bảng 1.27. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa Tc1, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc1, Phân hệ thiết bị hãm								Về sự cố của toa xe trong đoàn đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH4	Thiết bị hãm													
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí											
				PT4.1.1	Hệ thống cấp khí									
						23/08/2022	17028	Lọc dầu máy nén khí toa 01 bị rò rỉ dầu	Thay thế cho máy nén khí toa 04 tàu HN009	6960	Thay mới	25		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao									
		11/2/2023	136859	Trục 1-3 xi gió van điều chỉnh độ cao		17424	Thay mới	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.28. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa Tc1, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc1, Phân hệ thiết bị hãm								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú
								Đột xuất			Định kỳ		Đột xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH4	Thiết bị hãm														
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí												
				PT4.1.1	Hệ thống cấp khí										
						23/08/2022	17028	1.1	39	6960		0.416667			
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao										
						11/2/2023	136859	3.424.9	119870	17424		0.75		Tổng sự cố: 2	

Bảng 1.29. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa M0, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe M0, Phân hệ thiết bị hãm								Về sự cố của toa xe trong đoàn đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH4	Thiết bị hãm													
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí											
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao									

		09/9/2022	17081	Van điều chỉnh độ cao toa 02 trục 6-8 có hiện tượng xì gió		7368	Thay mới	40		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
--	--	-----------	-------	--	--	------	----------	----	--	--

Bảng 1.30. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa M0, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe M0, Phân hệ thiết bị hãm								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú
								Đột xuất			Định kỳ		Đột xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH4	Thiết bị hãm														
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí												
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao										
						09/9/2022	17081	2,6	92	7368			0,666667		Tổng sự cố: 1

Bảng 1.31. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa M1, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe M1, Phân hệ thiết bị hãm								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phân tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH4	Thiết bị hãm													
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí											
				PT4.1.10	Khóa van thoát khí kiểu tiếp điểm điện									
						20/09/2023	124342	Giới hạn tốc độ là 65km/h khi hệ thống hãm gió ép ở	Nhảy át 20Q11 do mô ve - động nước dẫn tới chấp nhảy át	16392	Vệ sinh tiếp điểm điện B19	45		Xảy ra trên tuyến, được

				2 giá chuyển hướng gặp sự cố						khắc phục tại depo
		30/09/2023	127610	Giới hạn tốc độ là 65km/h khi hệ thống hãm gió ép ở 2 giá chuyển hướng gặp sự cố	Nhảy át 20Q11 do mô ve - động nước dẫn tới chấp nhảy át	240	Thay van khóa B19 GCH 2 toa M1	90		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.32. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa M1, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe M1, Phân hệ thiết bị hãm								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất			Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú		
								Đột xuất		Định kỳ	Đột xuất	Định kỳ			
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH4	Thiết bị hãm														
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí												
				PT4.1.10	Khóa van thoát khí kiểu tiếp điểm điện										
						20/09/2023	124342	3.067,2	107353	16392			0,75		
						30/09/2023	127610	93,4	3268	240			1,5		Tổng sự cố: 2

*** ĐOÀN TÀU HN013 (10 sự cố)**

Bảng 1.33. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa Tc1, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo)

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc1, Phân hệ Thiết bị hãm								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH4	Thiết bị hãm													
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí											
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao									

		24/11/2023	192976	Van điều chỉnh độ cao ổ trục 2-4 toa 01 xì gió		17952	Thay mới	60		Xây ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
		26/01/2024	205386	Van điều chỉnh độ cao toa 01, ổ bi 5-7 xì gió	Lỗi van	1512	Thay mới	45		Xây ra trên tuyến, được khắc phục tại depo. TQ cấp

Bảng 1.34. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa Tc1, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc1, Phân hệ Thiết bị hãm								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							Ghi chú
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo		
								Đột xuất			Định kỳ		Đột xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH4	Thiết bị hãm														
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí												
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao										
						24/11/2023	192976	4,935.7	172749	17952			1		
						26/01/2024	205386	354.6	12410	1512			0.75		Tổng sự cố: 2

Bảng 1.35. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa M0, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe M0, Phân hệ Thiết bị hãm								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH4	Thiết bị hãm													
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí											
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao									

		30/12/2022	113602	Van điều chỉnh độ cao toa 02, góc 5-7 xi gió		10056	Thay mới	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
		03/11/2023	188377	Van điều chỉnh độ cao trục 2 4 toa 02 xi gió		7392	Thay mới	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
		25/11/2023	193476	Trục 1-3 xi gió van điều chỉnh độ cao		528	Thay mới	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.36. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa M0, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [3 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe M0, Phân hệ Thiết bị hãm								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đột xuất			Định kỳ		Đột xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH4	Thiết bị hãm														
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí												
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao										
						30/12/2022	113602	2,667.9	93375	10056		0.75			
						03/11/2023	188377	2,136.4	74775	7392		0.75			
						25/11/2023	193476	145.7	5099	528		0.75		Tổng sự cố: 3	

Bảng 1.37. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa M1, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe M1, Phân hệ Thiết bị hãm								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH4	Thiết bị hãm													
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí											
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao									

		29/03/2023	135446	Van điều chỉnh độ cao trục 5-7 toa 03 xì gió		12192	Thay mới	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
		23/08/2023	167904	Toa 03: xì gió van điều chỉnh độ cao trục 1 - 3		3528	Thay mới	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
		14/03/2024	215609	Toa 03: xì gió van điều chỉnh độ cao trục 2 - 4		4896	Thay mới	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.38. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa M1, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [3 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe M1, Phân hệ Thiết bị hãm								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo								Ghi chú
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo			
								Đột xuất			Định kỳ		Đột xuất	Định kỳ		
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h		
PH4	Thiết bị hãm															
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí													
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao											
						29/03/2023	135446	3,292.0	115219	12192			0.75			
						23/08/2023	167904	927.4	32458	3528			0.75			
						14/03/2024	215609	1.363.0	47705	4896			0.75	Tổng sự cố: 3		

Bảng 1.39. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa Tc2, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc2, Phân hệ Thiết bị hãm															Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú							
												Không cứu viện	Cứu viện								
										h		Phút	Phút								
PH4	Thiết bị hãm																				
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí																		
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao																

		03/04/2023	136225	Van điều chỉnh độ cao toa 04, ổ trục 1-3 xì gió; Van điều chỉnh độ cao toa 04, ổ trục 5-7 xì gió		12312	Thay mới; căn chỉnh lại độ cao thấp bệ xe với giá chuyển	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
		03/11/2023	188377	Trục 2-4 xì gió van điều chỉnh độ cao; Trục 6-8 xì gió van điều chỉnh độ cao		5136	Thay mới	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.40. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị hãm, toa Tc2, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc2, Phân hệ Thiết bị hãm								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất				Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đợt xuất		Định kỳ		Đợt xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	
PH4	Thiết bị hãm													
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí											
				PT4.1.7	Van điều chỉnh độ cao									
						03/04/2023	136225	3,314.2	115998	12312		0.75		
						03/11/2023	188377	1,490.1	52152	5136		0.75		Tổng sự cố: 2

PHÂN HỆ ĐIỀU KHIỂN

* ĐOÀN TÀU HN001 (không có sự cố)

* ĐOÀN TÀU HN002 (1 sự cố)

Bảng 1.41. Số liệu thống kê Phân hệ Điều khiển, toa Tc2, đoàn tàu HN002 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN002, Toa xe Tc2, Phân hệ điều khiển								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
										h		Không cứu viện	Cứu viện	
												Phút	Phút	
PH5	Điều khiển													
		TPH5.1	Điều khiển và giám sát											
				PT5.1.8	Bộ hiển thị MMI									
						14/04/2022	51631	Màn hình MMI : "Ngắt kéo dẫn quá lâu" Tc1	Do rơ le ngắt kéo dẫn 20K32, 20K33 bị sự cố	3816	Thay mới	15		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.42. Số liệu thống kê Phân hệ Điều khiển, toa Tc2, đoàn tàu HN002 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN002, Toa xe Tc2, Phân hệ điều khiển								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đột xuất			Định kỳ		Đột xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH5	Điều khiển														
		TPH5.1	Điều khiển và giám sát												
							14/04/2022	51631	769,6	26936	3816			0,25	1 sự cố

PHÂN HỆ THIẾT BỊ PHỤ

* ĐOÀN TÀU HN001 (9 sự cố)

Bảng 1.43. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa Tc1, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc1, Phân hệ thiết bị phụ								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH6	Thiết bị phụ													
		TPH6.4	Điện khoang khách											
				PT6.4.2	Thiết bị hệ thống phát thanh toa xe									
						5/20/2023	87560	Đèn led báo ga cửa B12 không sáng	hỏng mạch	13440	Thay mới	15		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
		TPH6.5	Phát thanh đoàn tàu											
				PT6.5.1	Tổ hợp thiết bị hệ thống									
						2/20/2022	17008	Sự cố nghiêm trọng hệ thống phát thanh Tc1	Lỗi mạch điều khiển controller(B)	2544	Thay mới	30		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
						5/13/2023	86960	Mất phát thanh tự động đầu TC1, đèn Led hiển thị sai trên ga	Lỏng giắc trong tủ phát thanh	10728	Cắm lại giắc	15		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.44. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa Tc1, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [3 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc1, Phân hệ thiết bị phụ								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú
								Đợt xuất			Định kỳ		Đợt xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH6	Thiết bị phụ														
		TPH6.4	Điện khoang khách												
				PT6.4.2	Thiết bị hệ thống phát thanh toa xe										
						5/20/2023	87560	2,016.3	70571	13440			0.25		
		TPH6.5	Phát thanh đoàn tàu												
				PT6.5.1	Tổ hợp thiết bị hệ thống										
						2/20/2022	17008	0.5	19	2544			0.5		
				5/13/2023	86960	1,998.6	69952	10728			0.25		Tổng sự cố: 3		

Bảng 1.45. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa M0, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe M0, Phân hệ thiết bị phụ								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH6	Thiết bị phụ													
		TPH6.2	Điều hòa không khí											
				PT6.2.1	Tổ máy điều hòa toa khách									
						11/03/2023	68600	Sự cố máy nén 21; 22 tổ máy 2 toa xe 02	Dây điều hòa bị chập đứt do cọ sát với khung lọc gió hỗn hợp	11760	Nối lại dây	60		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.46. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa M0, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe M0, Phân hệ thiết bị phụ								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất				Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú
								Đợt xuất		Định kỳ		Đợt xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	
PH6	Thiết bị phụ													
		TPH6.2	Điều hòa không khí											
				PT6.2.1	Tổ máy điều hòa toa khách									
						11/03/2023	68600	1.474,6	51611	11760			1	Tổng sự cố: 1

Bảng 1.47. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa M1, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe M1, Phân hệ thiết bị phụ								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH6	Thiết bị phụ													
		TPH6.4	Điện khoang khách											
				PT6.4.2	Thiết bị hệ thống phát thanh toa xe									
						05/02/2024	162127	Đèn báo ga cửa B32 ga Thái Hà không sáng	chưa rõ	19.704	Thay mạch led mới	25		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.48. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa M1, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe M1, Phân hệ thiết bị phụ								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú
								Đợt xuất			Định kỳ		Đợt xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH6	Thiết bị phụ														
		TPH6.4	Điện khoang khách												
				PT6.4.2	Thiết bị hệ thống phát thanh toa xe										
						05/02/2024	162127	4.146,8	145.138	19.704			0,42		Tổng sự cố: 1

Bảng 1.49. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa Tc2, đoàn tàu HN001 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc2, Phân hệ thiết bị phụ								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH6	Thiết bị phụ													
		TPH6.1	Nguồn điện phụ trợ											
				PT6.1.1	Nguồn điện phụ trợ (SIV)									
						06/05/2023	84456	Lỗi SIV		13104	Thay mới bo mạch (phòng thiết bị đổi điện)	60		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
		TPH6.3	Điện buồng lái											
				PT6.3.7	Bộ gạt nước									

		05/09/2022	17081	Mô-tơ cần gạt nước mưa toa 04 không hoạt động		7272	Thay mới	50		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
		27/03/2023	72447	Cần gạt nước đầu Tc2 không hoạt động	Hỏng mô tô gạt nước mưa	4872	Đổi từ Tc1 tàu 05 sang	45		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
TPH6.5	Phát thanh đoàn tàu									
	PT6.5.1	Tổ hợp thiết bị hệ thống								
		20/06/2022	17008	Sự cố nghiêm trọng hệ thống phát thanh Tc2	Lỗi mạch điều khiển controller(B)	5424	Thay mới	30		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.50. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa Tc2, đoàn tàu HN001 (BDSC tại depo) [4 sự cố]

Đoàn tàu HN001, Toa xe Tc2, Phân hệ thiết bị phụ								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depot							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất			Thời gian sửa chữa tại depot		Ghi chú		
								Đợt xuất		Định kỳ	Đợt xuất	Định kỳ			
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH6	Thiết bị phụ														
		TPH6.1	Nguồn điện phụ trợ												
				PT6.1.1	Nguồn điện phụ trợ (SIV)										
						06/05/2023	84456	1.927,6	67467	13104		1			
		TPH6.3	Điện buồng lái												
				PT6.3.7	Bộ gạt nước										
						05/09/2022	17081	2,6	92	7272		0,833333			
						27/03/2023	72447	1.581,9	55366	4872		0,75			
		TPH6.5	Phát thanh đoàn tàu												
				PT6.5.1	Tổ hợp thiết bị hệ thống										
				20/06/2022	17008	0,5	19	5424		0,5		Tổng sự cố: 4			

*** ĐOÀN TÀU HN013 (5 sự cố)**

Bảng 1.51. Số liệu thông kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa Tc1, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc1, Phân hệ thiết bị phụ								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
										h		Không cứu viện Phút	Cứu viện Phút	
PH6	Thiết bị phụ													
		TPH6.2	Điều hòa không khí											
				PT6.2.4	Thiết bị điều khiển và khác									
						23/08/2023	167904	Cửa gió hồi toa Tc1 không mở	Lỗi bộ điều khiển HVAC	15720	Rút bỏ dây đóng cửa gió hồi 7305 từ HVAC không cấp cho van gió hồi	40		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo
		TPH6.3	Điện buồng lái											
				PT6.3.7	Bộ gạt nước									
						20/05/2023	146241	Lưỡi gạt nước mưa toa 01 hỏng		13440	Đã thay thế (lấy từ toa 01 tàu HN003)	25		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.52. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa Tc1, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc1, Phân hệ thiết bị phụ								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất			Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú		
								Đợt xuất			Định kỳ			Đợt xuất	Định kỳ
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH6	Thiết bị phụ														
		TPH6.2	Điều hòa không khí												
				PT6.2.4	Thiết bị điều khiển và khác										
						23/08/2023	167904	4,219.3	147677	15720			0.666667		
		TPH6.3	Điện bu lông lái												
				PT6.3.7	Bộ gạt nước										
						20/05/2023	146241	3,600.4	126014	13440			0.416667		Tổng sự cố: 2

Bảng 1.53. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa M0, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe M0, Phân hệ thiết bị phụ								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH6	Thiết bị phụ													
		TPH6.2	Điều hòa không khí											
				PT6.2.1	Tổ máy điều hòa toa khách									
						08/04/2023	137857	Toa M0 điều hòa bị chảy nước	Hỏng đai xiết và ống dẫn nước thoát điều hòa	12432	Thay đai, ống dẫn	60		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

TPH6.4	Điện khoang khách											
		PT6.4.1	Chiếu sáng khoang khách									
				04/09/2023	171422	Đèn khoang khách gần cửa A24 Toa 2 không sáng		16008	Thay mới	15		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.54. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa M0, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [2 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe M0, Phân hệ thiết bị phụ								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo							
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất					Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đột xuất			Định kỳ		Đột xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	h	
PH6	Thiết bị phụ														
		TPH6.2	Điều hòa không khí												
				PT6.2.1	Tổ máy điều hòa toa khách										
						08/04/2023	137857	3,360.9	117630	12432		1			
		TPH6.4	Điện khoang khách												
PT6.4.1	Chiếu sáng khoang khách														
				04/09/2023	171422	4,319.9	151195	16008		0.25		Tổng sự cố: 2			

Bảng 1.55. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa Tc2, đoàn tàu HN013 (Vận hành trên tuyến)

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc2, Phân hệ thiết bị phụ								Về sự cố của toa xe trong đoàn tàu gây trở ngại chạy tàu trong quá trình vận hành trên tuyến						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Sự cố	Nguyên nhân	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố	Biện pháp khắc phục	Thời gian khắc phục, phút		Ghi chú
												Không cứu viện	Cứu viện	
										h		Phút	Phút	
PH6	Thiết bị phụ													
		TPH6.3	Điện buồng lái											
				PT6.3.2	Tủ điều khiển									
						21/12/2023	198937	Tc2 không mở được cửa tự động (Van trung kế không bị hở gió)	Lỗi 2 rơ le 20K69, 70 (bị lỗi từ Tc1 tàu 02)	18600	Thay mới	15		Xảy ra trên tuyến, được khắc phục tại depo

Bảng 1.56. Số liệu thống kê Phân hệ Thiết bị phụ, toa Tc2, đoàn tàu HN013 (BDSC tại depo) [1 sự cố]

Đoàn tàu HN013, Toa xe Tc2, Phân hệ thiết bị phụ								Về việc khắc phục sự cố, bảo dưỡng, sửa chữa tại depo						
TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiểu phân hệ	TT	Các Phần tử	Ngày	km chạy	Thời gian làm việc đến khi xảy ra sự cố kể từ khi bắt đầu khai thác/hoặc cấp sửa chữa gần nhất				Thời gian sửa chữa tại depo		Ghi chú
								Đợt xuất		Định kỳ		Đợt xuất	Định kỳ	
								h (chạy)	km	h	km	h	h	
PH6	Thiết bị phụ													
		TPH6.3	Điện buồng lái											
				PT6.3.2	Tủ điều khiển									
						21/12/2023	198937	5,106.0	178710	18600		0.25		Tổng sự cố: 1

Số liệu thống kê tổng hợp về sự cố của đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong khoảng thời gian từ khi bắt đầu khai thác 06/11/2021 đến 30/4/2025 (42 tháng) thể hiện trong các Bảng 1.57 - 1.60.

Bảng 1.57. Số liệu thống kê tổng quát

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 cố 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
02	0	744	416	416	416

Bảng 1.58. Số liệu thống kê các sự cố của các phân hệ được sửa chữa đột xuất tại depot

Phân hệ thân xe	Phân hệ bộ phận chạy	Phân hệ truyền động	Phân hệ thiết bị hãm	Phân hệ điều khiển	Phân hệ thiết bị phụ	Tổng số
172	0	135	197	4	236	744

Bảng 1.59. Số lượng sự cố trên các đoàn tàu được sửa chữa đột xuất tại depot

HN001	HN002	HN003	HN004	HN005	HN006	HN007
70	41	39	63	42	75	84
HN008	HN009	HN010	HN011	HN012	HN013	Tổng số
47	76	46	62	43	56	744

Bảng 1.60. Số lượng sự cố trên các toa xe được sửa chữa đột xuất tại depot

Tc1	M0	M1	Tc2	Tổng số
201	171	178	194	744

Số liệu thống kê chi tiết về sự cố của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong khoảng thời gian từ khi bắt đầu khai thác 06/11/2021 đến 30/4/2025 (42 tháng) thể hiện trong Bảng 1.61.

Bảng 1.61. Số liệu thống kê về số lượng sự cố của các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
PH1	Phân hệ thân xe						
		TPH1.1	Thân tàu và trang trí nội thất				
				PT1.1.1	Thân tàu	8	
				PT1.1.2	Trang trí nội thất	0	
		TPH1.2	Thiết bị đường xuyên suốt	PT 1.2.1	Thiết bị đường xuyên suốt	12	

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
		TPH1.3	Thiết bị móc tàu và giảm xóc				
				PT1.3.1	Thiết bị móc nổi bán tự động	0	
				PT1.3.2	Thiết bị móc nổi bán vĩnh cửu kèm ống lồng	0	
				PT1.3.3	Thiết bị móc nổi bán vĩnh cửu kèm bộ giảm xóc	0	
				PT1.3.4	Thiết bị móc nổi bán tự động trung gian	0	
		TPH1.4	Cửa thoát hiểm khẩn cấp				
				PT1.4.1	Cửa thoát hiểm khẩn cấp	1	
				PT1.4.2	Thang thoát hiểm	0	
		TPH1.5	Cửa hông khoang khách	PT1.5.1	Cửa hông khoang khách	141	
		TPH1.6	Cửa hông buồng lái	PT1.6.1	Cửa hông buồng lái	10	
					Tổng số	172	
PH2	Phân hệ bộ phận chạy	TPH2.1	Giá chuyển hướng				
				PT2.1.1	Khung giá	0	
				PT2.1.2	Cáp bánh xe	0	
				PT2.1.3	Tổ hợp đầu trục	0	
				PT2.1.4	Hệ lò xo hộp trục	0	
				PT2.1.5	Hệ lò xo trung ương	0	
				PT2.1.6	Thiết bị kéo dẫn	0	
				PT2.1.7	Linh kiện hãm cơ bản	0	
				PT2.1.8	Hộp bánh răng	0	
				PT2.1.9	Khớp nối trục	0	
				PT2.1.10	Ăng ten bộ phát đáp và bộ phận gạt bỏ chướng ngại vật	0	
				PT2.1.11	Đế lắp đặt bộ lấy điện và phụ kiện	0	
				PT2.1.12	Cáp, quang an toàn	0	
				PT2.1.13	Cảm biến tốc độ	0	
					Tổng số	0	
PH3	Phân hệ truyền động						
		TPH3.1	Hệ thống kéo dẫn và phanh điện				
				PT3.1.1	Tủ điện cao áp loại TPQ86L	21	
				PT3.1.2	Bộ biến tần kéo dẫn loại TGN53H	16	
				PT3.1.3	Hộp điện trở phanh loại TR8074	0	
				PT3.1.4	Bộ điện kháng lọc sóng loại LKDG-2×420A-5mH-A	0	
				PT3.1.5	Tủ cầu chì thanh cái loại TPK79F	0	
				PT3.1.6	Tủ máy cắt nhanh thanh cái TDG3C	7	
				PT3.1.7	Bộ điều khiển lái tàu loại S353CC.028	3	
				PT3.1.8	Bộ gom dòng	86	
				PT3.1.9	Động cơ kéo dẫn không đồng bộ loại YQ-190-21	2	

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
				PT3.1.10	Thiết bị tiếp đất	0	
					Tổng số	135	
PH4	Phân hệ thiết bị hãm						
		TPH4.1	Hệ thống hãm khí và cấp khí				
				PT4.1.1	Hệ thống cấp khí	13	
				PT4.1.2	Bộ lọc kèm thoát nước 3/4"	0	
				PT4.1.3	Bộ phận điều khiển hãm	14	
				PT4.1.4	Kết cấu mô đun hãm	13	
				PT4.1.5	Van xả gió chống trượt	4	
				PT4.1.6	Bộ cảm biến tốc độ (chống trượt)	3	
				PT4.4.7	Van điều chỉnh độ cao	95	
				PT4.4.8	Van chênh lệch áp suất	51	
				PT4.4.9	Bộ phận hãm guốc	1	
				PT4.4.10	Khóa van thoát khí kiểu tiếp điểm điện	3	
				PT4.4.11	Đầu cuối bảo vệ hệ thống hãm, ống mềm	0	
				PT4.4.12	Van nhà hãm	0	
				PT4.4.13	Đồng hồ đo áp suất ki, đôi	0	
				PT4.4.14	Lò xo không khí	0	
				PT4.4.15	Bộ lọc bụi	0	
					Tổng số	197	
PH5	Phân hệ điều khiển						
		TPH5.1	Điều khiển và giám sát				
				PT5.1.1	Bộ hiển thị HMI	0	
				PT5.1.2	Module lắp tín hiệu REP	0	
				PT5.1.3	Module điều khiển tàu VCMe	0	
				PT5.1.4	Module ra/vào Digital DIMe1.2	0	
				PT5.1.5	Module vào Digital DIMe1.2	0	
				PT5.1.6	Module ghi nhớ EDRM	0	
				PT5.1.7	Module ra/vào Analog AXMe	0	
				PT5.1.8	Bộ hiển thị MM1	4	
				PT5.1.9	Nút ấn tín hiệu	0	
				PT5.1.10	Module tín hiệu	0	
					Tổng số	4	
PH6	Phân hệ thiết bị phụ						
		TPH6.1	Nguồn điện phụ trợ				
				PT6.1.1	Nguồn điện phụ trợ	6	
				PT6.1.2	Tủ cao áp phụ trợ	0	
				PT6.1.3	Tủ cấp điện mở rộng	0	
				PT6.1.4	Tủ cầu dao tiếp đất	0	
				PT6.1.5	Ắc quy	3	
				PT6.1.6	Bộ nghịch lưu (bộ biến tần/bộ chuyển dòng) thông gió khẩn cấp	6	
		TPH6.2	Hệ thống điều hòa				

TT	Các Phân hệ	TT	Các Tiêu phân hệ	TT	Các Phần tử	Số lượng sự cố	Ghi chú
				PT6.2.1	Tổ máy điều hòa toa khách	47	
				PT6.2.2	Bộ thông gió buồng lái	2	
				PT6.2.3	Quạt gió hướng tâm	1	
				PT6.2.4	Thiết bị bảo vệ an toàn	14	
		TPH6.3	Hệ thống điện buồng lái				
				PT6.3.1	Bàn lái tàu	18	
				PT6.3.2	Tủ điều khiển	9	
				PT6.3.3	Tủ tổng hợp	0	
				PT6.3.4	Màn hình bên trái	0	
				PT6.3.5	Màn hình bên phải	0	
				PT6.3.6	Đèn chiếu trước	18	
				PT6.3.7	Bộ gạt nước	26	
		TPH6.4	Hệ thống điện khoang khách				
				PT6.4.1	Chiếu sáng khoang khách	50	
				PT6.4.2	Thiết bị hệ thống phát thanh toa xe	13	
				PT6.4.3	Đèn báo phía ngoài toa xe	0	
				PT6.4.4	Thiết bị đầu nối điều hòa	0	
				PT6.4.5	Tủ điều khiển điện	2	
				PT6.4.6	Tủ điều khiển điều hòa	0	
		TPH6.5	Hệ thống phát thanh đoàn tàu				
				PT6.5.1	Tổ hợp thiết bị hệ thống	21	
				PT6.5.2	Đầu nối điện	0	
		TPH6.6	Thiết bị thông tin vô tuyến				
				PT6.6.1	Giới thiệu MDT-300	0	
				PT6.6.2	Kết cấu cơ bản	0	
				PT6.6.3	Máy chính	0	
				PT6.6.4	Hộp điều khiển	0	
				PT6.5.5	Ăng ten	0	
					Tổng số	236	
					Tổng cộng	744	

Số liệu thống kê chi tiết về thời gian làm việc và thời gian phục hồi của các phần tử trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot trong khoảng thời gian từ khi bắt đầu khai thác 06/11/2021 đến 30/4/2025 (42 tháng) thể hiện trong Bảng 1.62.

Bảng 1.62. Số liệu thống kê về thời gian làm việc và thời gian phục hồi của các phần tử trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông được sửa chữa đột xuất tại depot từ 06/11/2021 đến 30/4/2025 (744 sự cố)

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
1	HN004	Tc1	12-5-2024	22.032	0,5
2	HN004	Tc2	12-5-2024	22.032	0,5
3	HN005	Tc1	12-5-2024	22.032	0,5

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
4	HN002	Tc1	12-9-2024	24.984	1
5	HN002	Tc2	12-9-2024	24.984	1
6	HN007	Tc1	27-08-2024	24.600	0,5
7	HN012	Tc1	16-09-2024	25.080	0,5
8	HN006	Tc2	5-4-2025	29.904	0,5
9	HN003	M1	19-06-2024	22.944	0,5
10	HN006	Tc1	15-07-2024	23.568	0,5
11	HN007	Tc1	6-6-2024	22.632	0,5
12	HN009	Tc1	22-06-2024	23.016	0,5
13	HN009	M0	24-05-2024	22.320	0,5
14	HN011	M1	14-05-2024	22.080	0,5
15	HN013	Tc1	6-5-2024	21.888	0,5
16	HN013	Tc1	20-06-2024	1.080	0,5
17	HN006	M0	18-08-2024	24.384	0,5
18	HN009	M0	22-08-2024	2.160	0,5
19	HN011	Tc1	17-08-2024	24.360	0,5
20	HN012	M1	18-08-2024	24.384	0,5
21	HN003	M0	1-6-2024	22.512	0,25
22	HN001	Tc1	13-09-2023	13.224	60
23	HN001	Tc1	15-12-2023	2.232	0,25
24	HN001	M0	30-03-2023	12.216	0,25
25	HN001	M0	6-9-2023	3.840	0,167
26	HN001	M1	12-12-2022	9.672	0,833
27	HN001	Tc2	13-12-2022	9.720	0,417
28	HN001	Tc2	30-01-2023	1.080	0,417
29	HN002	Tc1	27-03-2023	12.144	0,25
30	HN002	M1	20-10-2022	8.352	0,147
31	HN002	Tc2	28-07-2022	6.336	0,75
32	HN002	Tc2	3-4-2023	5.976	0,25
33	HN005	Tc1	25-06-2023	14.304	0,5
34	HN006	Tc1	2-10-2023	16.680	0,417
35	HN006	Tc1	3-11-2023	768	60
36	HN006	M0	28-12-2021	1.248	0,5
37	HN007	Tc1	30-05-2023	13.68	0,5
38	HN007	M1	5-6-2023	13.824	0,5
39	HN008	Tc1	25-12-2022	9.936	0,75
40	HN008	M0	19-08-2023	15.624	0,583
41	HN009	M0	23-11-2022	9.168	0,5
42	HN009	M1	17-02-2022	2.472	0,5
43	HN009	M1	6-8-2022	4.080	0,25
44	HN010	Tc2	28-03-2022	3.408	0,5
45	HN010	Tc2	26-04-2022	0.696	0,5
46	HN011	Tc1	21-05-2023	13.464	0,833
47	HN012	Tc1	21-02-2023	11.328	0,417

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
48	HN012	Tc1	13-09-2023	4.896	60
49	HN013	Tc1	17-02-2022	9.744	0,25
50	HN013	M1	2-2-2024	19.632	0,25
51	HN013	Tc2	29-12-2021	1.272	0,5
52	HN013	Tc2	16-03-2023	10.608	0,333
53	HN001	Tc1	14-06-2024	4.368	0,25
54	HN001	Tc1	8-7-2024	576	0,5
55	HN003	Tc1	1-7-2024	23.232	0,5
56	HN004	M0	22-06-2024	23.016	0,5
57	HN005	Tc1	17-04-2024	7.128	0,5
58	HN005	M1	8-6-2024	22.680	1,5
59	HN005	Tc2	10-5-2024	21.984	0,5
60	HN005	Tc2	7-6-2024	672	0,25
61	HN005	Tc2	8-6-2024	24	1
62	HN006	M0	11-5-2024	20.760	0,5
63	HN006	M0	11-6-2024	744	0,5
64	HN007	Tc1	1-7-2024	9.552	0,5
65	HN007	Tc1	17-07-2024	384	1
66	HN007	M0	1-7-2024	23.232	0,5
67	HN007	M1	17-07-2024	9.792	0,5
68	HN008	Tc1	14-06-2024	12.888	0,5
69	HN008	M0	27-06-2024	7.512	0,25
70	HN009	M0	2-4-2024	11.904	0,5
71	HN009	M0	29-07-2024	2.832	0,5
72	HN010	M0	14-05-2024	22.08	0,25
73	HN011	Tc1	11-4-2024	7.824	0,25
74	HN011	Tc1	4-6-2024	1.296	0,75
75	HN011	M0	20-04-2024	21.504	0,5
76	HN011	Tc2	5-4-2024	21.144	0,25
77	HN011	Tc2	8-4-2024	72	0,5
78	HN013	Tc1	17-07-2024	13.872	0,5
79	HN001	M0	10-9-2024	8.880	0,5
80	HN001	M1	6-9-2024	15.168	0,5
81	HN001	M1	15-09-2024	216	0,5
82	HN001	Tc2	16-09-2024	14.280	0,25
83	HN001	Tc2	3-11-2024	792	0,5
84	HN001	Tc2	5-11-2024	48	1
85	HN002	Tc1	29-11-2024	14.712	0,5
86	HN003	Tc2	10-10-2024	25.656	1
87	HN003	Tc2	14-10-2024	96	0,5
88	HN004	Tc1	28-11-2024	432	0,5
89	HN006	Tc1	14-09-2024	0.720	0,5
90	HN006	Tc1	19-11-2024	1.584	0,5
91	HN006	M0	2-11-2024	3.456	0,5

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
92	HN006	M0	19-11-2024	408	0,5
93	HN006	Tc2	19-11-2024	696	0,5
94	HN007	M0	16-09-2024	6.072	0,5
95	HN007	M1	17-08-2024	744	0,5
96	HN007	Tc2	23-08-2024	384	0,5
97	HN008	Tc1	5-8-2024	1.248	0,5
98	HN009	Tc1	20-11-2024	26.640	0,25
99	HN009	Tc2	28-11-2024	26.832	0,25
100	HN010	Tc1	15-08-2024	24.312	0,5
101	HN010	Tc2	17-08-2024	20.256	1
102	HN010	Tc2	24-08-2024	168	0,5
103	HN011	M0	26-11-2024	5.280	0,5
104	HN011	M1	9-8-2024	24.168	0,5
105	HN011	M1	17-08-2024	192	0,5
106	HN011	M1	5-9-2024	456	0,25
107	HN011	M1	8-11-2024	1.536	0,5
108	HN011	Tc2	9-11-2024	2.328	0,5
109	HN011	Tc2	26-11-2024	408	1
110	HN012	Tc2	5-9-2024	24.816	0,5
111	HN001	M0	12-10-2024	504	1
112	HN001	M1	1-10-2024	384	1
113	HN001	Tc2	1-10-2024	360	1,5
114	HN004	Tc1	8-10-2024	25.608	0,5
115	HN004	Tc1	10-11-2024	972	1
116	HN004	M0	8-10-2024	2.592	0,5
117	HN004	Tc2	10-11-2024	1.920	1
118	HN006	Tc1	15-08-2024	6.864	1,5
119	HN006	M1	15-08-2024	24.312	1
120	HN006	M1	21-10-2024	1.608	2,5
121	HN006	Tc2	15-08-2024	24.312	1
122	HN006	Tc2	21-10-2024	1.608	3,5
123	HN007	Tc1	24-09-2024	1.656	0,5
124	HN007	Tc1	26-10-2024	768	0,5
125	HN007	M0	24-09-2024	192	0,5
126	HN007	M1	24-09-2024	912	1
127	HN007	M1	26-10-2024	0.768	0,5
128	HN007	M1	24-11-2024	0.696	0,5
129	HN007	Tc2	7-8-2024	24.12	1
130	HN007	Tc2	24-09-2024	768	3
131	HN013	Tc1	13-09-2024	1.392	4
132	HN013	M0	13-09-2024	25.008	4
133	HN013	M1	13-09-2024	5.376	4
134	HN013	Tc2	13-09-2024	13.128	3,5
135	HN001	M0	5-12-2024	1.56	1

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
136	HN001	M0	26-12-2024	504	0,5
137	HN001	M1	5-1-2025	2.304	0,5
138	HN004	Tc2	27-12-2024	1.128	0,5
139	HN006	Tc1	21-12-2024	768	0,5
140	HN006	Tc1	18-01-2025	672	1
141	HN006	Tc1	19-02-2025	768	0,5
142	HN006	M0	3-12-2024	336	0,5
143	HN006	M0	19-02-2025	1.872	0,5
144	HN006	M1	3-1-2025	1.776	0,5
145	HN006	M1	18-01-2025	36	0,5
146	HN006	M1	16-02-2025	696	0,5
147	HN006	Tc2	3-1-2025	1.080	0,5
148	HN006	Tc2	19-02-2025	1.128	0,5
149	HN007	Tc1	12-12-2024	1.128	0,5
150	HN007	Tc1	24-02-2025	1.776	0,5
151	HN007	M0	12-12-2024	1.896	0,5
152	HN007	M0	8-1-2025	648	0,5
153	HN007	Tc1	12-12-2024	1.128	0,5
154	HN007	Tc1	24-02-2025	1.776	0,5
155	HN007	M0	12-12-2024	1.896	0,5
156	HN007	M0	8-1-2025	648	0,5
157	HN011	M0	10-1-2025	1.080	0,5
158	HN011	M1	28-04-2025	4.104	0,5
159	HN011	Tc2	10-1-2025	1.080	0,5
160	HN011	Tc2	16-02-2025	888	0,5
161	HN012	Tc1	20-02-2025	12.624	0,5
162	HN013	M1	5-12-2024	1.992	0,5
163	HN006	Tc1	3-11-2023	17.448	60
164	HN007	Tc2	17-04-2022	3.888	0,5
165	HN006	Tc1	11-5-2024	4.560	1
166	HN006	Tc1	12-5-2024	24	0,25
167	HN006	Tc1	23-05-2024	264	0,25
168	HN013	Tc1	31-05-2024	22.488	0,25
169	HN004	Tc1	30-08-2024	24.672	0,25
170	HN004	Tc2	30-08-2024	24.672	0,25
171	HN007	Tc2	20-10-2024	22.008	0,25
172	HN013	Tc2	9-4-2025	30.000	0,25
173	HN002	M0	24-09-2023	16.488	12
174	HN010	M1	16-02-2024	19.968	1,5
175	HN009	M0	4-2-2022	2.160	1,25
176	HN009	M1	2-4-2024	21.072	1
177	HN004	M0	27-05-2024	5.304	1,25
178	HN006	M1	29-07-2024	23.904	1
179	HN009	M0	8-7-2024	23.400	1

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
180	HN010	M1	17-07-2024	3.648	1
181	HN001	M0	24-10-2024	25.992	2
182	HN001	M1	5-10-2024	25.536	1
183	HN001	M1	26-10-2024	504	1
184	HN002	M1	1-8-2024	23.976	1
185	HN002	M1	21-10-2024	1.944	1
186	HN005	M0	1-8-2024	23.976	1
187	HN005	M1	8-9-2024	24.168	1
188	HN005	M1	17-08-2024	192	1
189	HN007	M0	5-11-2024	26.280	0,5
190	HN007	M1	15-08-2024	24.312	1
191	HN009	M1	13-10-2024	4.656	0,5
192	HN010	M0	22-08-2024	24.480	1
193	HN010	M1	22-08-2024	12.288	2
194	HN001	M0	7-1-2022	1.488	3
195	HN001	M1	14-04-2022	3.816	0,417
196	HN003	M1	4-6-2022	5.040	0,25
197	HN003	M1	24-06-2022	480	1
198	HN006	M0	24-04-2023	12.816	0,5
199	HN007	M0	12-6-2023	13.992	0,333
200	HN011	M1	18-01-2023	10.512	1,25
201	HN011	M1	25-02-2023	912	3
202	HN013	M0	12-11-2022	8.904	3
203	HN013	M1	12-2-2022	3.816	0,75
204	HN001	M0	1-7-2024	21.744	0,25
205	HN013	M1	18-07-2024	19.824	0,5
206	HN001	M1	24-10-2024	504	1
207	HN008	M0	12-10-2024	25.704	1
208	HN008	M1	15-11-2024	26.520	0,25
209	HN008	M0	17-08-2024	5.736	2
210	HN004	M0	19-10-2023	17.088	1,5
211	HN008	M0	18-01-2024	19.272	1,5
212	HN010	M0	12-8-2023	15.456	1,333
213	HN003	M0	15-05-2023	13.320	1
214	HN003	M1	17-07-2023	9.312	0,08
215	HN009	M0	17-09-2023	16.320	2
216	HN008	M1	1-7-2024	23.232	1
217	HN005	Tc1	16-01-2023	17.016	1,5
218	HN001	Tc1	24-10-2024	25.992	0,5
219	HN012	Tc1	20-10-2024	25.896	0,5
220	HN001	Tc2	5-11-2023	17.496	1
221	HN002	Tc1	5-11-2023	17.496	1
222	HN003	Tc1	30-10-2023	17.352	1
223	HN003	M0	1-1-2023	10.104	0,75

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
224	HN003	M1	27-11-2021	504	0,5
225	HN003	M1	21-08-2023	15.168	0,75
226	HN003	Tc2	30-10-2023	17.352	1
227	HN004	M0	24-12-2023	18.744	0,25
228	HN005	M1	19-01-2024	19.296	0,75
229	HN006	Tc1	11-11-2023	17.640	1
230	HN006	M0	20-01-2024	19.320	0,75
231	HN007	Tc1	4-11-2023	17.472	1
232	HN008	Tc1	9-11-2023	17.592	1
233	HN008	M0	22-12-2023	18.624	1,5
234	HN009	Tc2	2-11-2023	17.424	1
235	HN010	Tc2	10-1-2024	19.080	1,5
236	HN011	Tc2	31-10-2023	17.376	1
237	HN011	M1	30-12-2023	18.816	0,25
238	HN011	Tc1	31-10-2023	17.376	1
239	HN013	Tc1	12-11-2023	17.664	1
240	HN011	M0	16-01-2024	19.224	0,75
241	HN007	M1	4-11-2023	17.472	1
242	HN009	Tc1	2-11-2023	17.424	1
243	HN009	Tc1	3-1-2024	1.488	0,25
244	HN013	M0	16-01-2024	19.224	0,75
245	HN003	M0	9-5-2024	11.856	1
246	HN004	Tc1	22-06-2024	23.016	0,5
247	HN007	M0	29-07-2024	23.904	1
248	HN008	M1	27-07-2024	23.856	1
249	HN012	M0	22-06-2024	23.016	0,5
250	HN003	M0	13-07-2024	1.560	0,5
251	HN003	Tc2	13-07-2024	6.168	0,5
252	HN004	Tc1	23-07-2024	744	0,5
253	HN004	M1	23-07-2024	23.760	0,5
254	HN005	Tc1	30-07-2024	23.928	1
255	HN005	M0	30-07-2024	23.928	2
256	HN005	M1	30-07-2024	4.632	2
257	HN005	Tc2	30-07-2024	23.928	1
258	HN006	Tc2	27-07-2024	23.856	0,5
259	HN009	Tc1	6-7-2024	4.440	0,5
260	HN009	M0	6-7-2024	23.352	0,5
261	HN009	M1	6-7-2024	23.352	0,5
262	HN009	Tc2	6-7-2024	5.928	0,5
263	HN010	Tc1	4-7-2024	23.304	1
264	HN010	M0	4-7-2024	23.304	0,5
265	HN010	M1	4-7-2024	23.304	0,5
266	HN010	Tc2	4-7-2024	4.224	0,5
267	HN013	M0	18-07-2024	4.416	0,5

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
268	HN002	M1	17-09-2024	744	0,5
269	HN004	M0	7-8-2024	5.376	0,25
270	HN004	M0	16-09-2024	456	0,25
271	HN004	M1	16-09-2024	456	0,5
272	HN008	Tc1	22-11-2024	2.328	0,5
273	HN009	M1	17-10-2024	2.472	0,5
274	HN011	Tc1	3-9-2024	7.392	1
275	HN011	M0	3-9-2024	24.768	2
276	HN011	M1	3-9-2024	5.952	2
277	HN011	Tc2	3-9-2024	7.392	1
278	HN001	Tc1	14-09-2024	25.032	1
279	HN001	M0	14-09-2024	25.032	2
280	HN001	M1	14-09-2024	25.032	2
281	HN001	Tc2	14-09-2024	7.536	1
282	HN002	Tc1	17-08-2024	6.864	2
283	HN002	M0	17-08-2024	24.360	2
284	HN002	M1	17-08-2024	24.360	2
285	HN002	Tc2	17-08-2024	24.360	2
286	HN004	M0	28-08-2024	504	2
287	HN004	M1	28-08-2024	864	1,5
288	HN004	Tc2	28-08-2024	24.624	1
289	HN006	Tc1	1-10-2024	7.800	1
290	HN006	M0	1-10-2024	6.120	1,5
291	HN006	M1	1-10-2024	25.440	2
292	HN006	Tc2	1-10-2024	1.584	0,5
293	HN007	Tc1	8-8-2024	6.672	1
294	HN007	M0	8-8-2024	240	2
295	HN007	M1	8-8-2024	6.672	2
296	HN007	Tc2	8-8-2024	6.672	1
297	HN008	Tc1	17-08-2024	6.768	1
298	HN008	M1	17-08-2024	504	2
299	HN008	Tc2	17-08-2024	24.360	1
300	HN012	Tc1	14-08-2024	24.288	0,5
301	HN012	M1	14-08-2024	24.288	1,5
302	HN013	Tc1	4-9-2024	7.128	1,5
303	HN013	M0	4-9-2024	1.152	1,5
304	HN013	M1	4-9-2024	1.152	1,5
305	HN013	Tc2	4-9-2024	24.792	1
306	HN009	M0	21-11-2021	360	0,5
307	HN009	M0	3-1-2024	18.522	0,25
308	HN001	Tc1	23-08-2022	6.960	0,417
309	HN005	Tc2	26-10-2023	17.256	0,167
310	HN007	M0	7-9-2022	7.320	0,75
311	HN007	M0	11-9-2023	8.856	0,75

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
312	HN008	Tc1	6-9-2022	7.296	0,5
313	HN009	Tc1	24-03-2023	12.072	0,5
314	HN009	Tc2	23-08-2022	6.960	0,417
315	HN009	Tc2	27-08-2022	96	0,333
316	HN009	Tc2	24-03-2023	5.016	0,5
317	HN010	Tc2	23-08-2024	24.504	0,5
318	HN010	Tc2	6-10-2024	1.056	0,5
319	HN011	Tc2	2-10-2024	25.464	0,25
320	HN008	Tc2	14-04-2025	30.120	0,25
321	HN004	M1	24-06-2023	14.280	1,25
322	HN005	M0	5-7-2023	14.544	0,833
323	HN005	M1	18-12-2023	18.528	1
324	HN008	M1	2-1-2024	18.888	0,25
325	HN012	M1	6-11-2021	19.464	0,75
326	HN004	Tc2	17-06-2024	22.896	0,25
327	HN009	M0	2-4-2024	21.072	0,5
328	HN002	M1	1-8-2024	23.976	0,25
329	HN003	Tc1	21-08-2024	24.456	0,25
330	HN004	Tc1	29-11-2024	26.856	0,5
331	HN004	Tc2	21-09-2024	2.304	0,5
332	HN004	Tc2	29-11-2024	26.856	0,5
333	HN006	Tc1	1-8-2024	23.976	0,5
334	HN006	M0	1-8-2024	23.976	0,5
335	HN006	M1	27-10-2023	17.28	0,25
336	HN009	M0	27-10-2023	17.28	0,25
337	HN001	M1	24-10-2024	25.992	0,25
338	HN004	M0	29-11-2024	26.856	0,5
339	HN007	M1	6-9-2024	24.840	0,25
340	HN007	Tc2	6-9-2024	24.840	0,25
341	HN008	M1	14-11-2024	26.496	0,5
342	HN008	Tc2	23-11-2024	26.712	0,5
343	HN009	Tc2	28-11-2024	26.832	0,5
344	HN012	M0	28-11-2024	26.832	0,5
345	HN006	Tc2	5-10-2024	25.536	0,25
346	HN007	M0	5-9-2024	24.816	2
347	HN008	M1	20-09-2024	25.176	2
348	HN008	M1	24-06-2024	23.064	0,25
349	HN010	Tc2	20-06-2024	22.968	0,25
350	HN013	M1	21-06-2024	22.992	0,25
351	HN007	M0	5-9-2024	24.816	2
352	HN005	Tc1	2-5-2023	13.008	0,5
353	HN005	Tc2	2-5-2023	13.008	0,5
354	HN002	Tc2	10-3-2025	29.304	0,5
355	HN001	Tc1	11-2-2023	17.424	0,75

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
356	HN001	M0	9-9-2022	7.368	0,667
357	HN005	Tc1	31-12-2022	10.080	0,5
358	HN008	Tc2	2-11-2023	17.424	0,75
359	HN008	Tc2	25-11-2023	552	7,5
360	HN009	M0	10-9-2023	16.152	0,75
361	HN009	M0	24-11-2023	1.800	1
362	HN009	M1	28-03-2023	12.168	1
363	HN009	M1	24-11-2023	5.784	1
364	HN010	Tc1	25-01-2024	19.440	3
365	HN010	M0	19-10-2023	17.088	1,5
366	HN010	M0	25-01-2024	2.352	1
367	HN010	M0	13-03-2024	1.152	0,75
368	HN010	M1	23-03-2023	12.048	0,75
369	HN011	M0	29-11-2021	552	1,5
370	HN011	M0	29-12-2022	9.480	0,75
371	HN011	M0	23-03-2023	2.016	0,75
372	HN011	M0	26-01-2024	7.416	0,75
373	HN011	M1	25-03-2023	12.096	0,75
374	HN011	M1	1-4-2023	0.168	0,75
375	HN011	M1	26-01-2024	7.200	0,75
376	HN012	Tc1	29-03-2023	12.192	0,75
377	HN012	Tc1	24-04-2023	624	0,75
378	HN012	M0	29-12-2022	10.032	0,75
379	HN012	M0	2-11-2023	7.392	0,75
380	HN012	M1	2-11-2023	17.424	0,75
381	HN012	M1	25-11-2023	552	0,75
382	HN012	M1	26-01-2024	1.488	2
383	HN012	Tc2	26-01-2024	19.464	0,75
384	HN013	Tc1	24-11-2023	17.952	1
385	HN013	Tc1	26-01-2024	1.512	0,75
386	HN013	M0	30-12-2022	10.056	0,75
387	HN013	M0	3-11-2023	7.392	0,75
388	HN013	M0	25-11-2023	528	0,75
389	HN013	M1	29-03-2023	12.192	0,75
390	HN013	M1	23-08-2023	3.528	0,75
391	HN013	M1	14-03-2024	4.896	0,75
392	HN013	Tc2	3-4-2023	12.312	0,75
393	HN013	Tc2	3-11-2023	5.136	0,75
394	HN009	Tc1	2-4-2024	21.072	2
395	HN009	M0	2-4-2024	3.120	2
396	HN009	M1	2-4-2024	3.120	2
397	HN009	Tc2	2-4-2024	21.072	0,25
398	HN013	Tc1	4-5-2024	552	0,5
399	HN001	Tc1	14-09-2024	7.608	2

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
400	HN001	M0	14-09-2024	17.664	2
401	HN001	M1	14-09-2024	25.032	2
402	HN001	Tc2	14-09-2024	25.032	2
403	HN002	Tc1	9-9-2024	24.912	2
404	HN002	M0	9-9-2024	24.912	2
405	HN002	M1	9-9-2024	24.912	2
406	HN002	Tc2	9-9-2024	24.912	2
407	HN003	Tc1	28-09-2024	25.368	2
408	HN003	M0	28-09-2024	25.368	2
409	HN003	M1	28-09-2024	25.368	2
410	HN003	Tc2	28-09-2024	25.368	2
411	HN004	Tc1	24-08-2024	3.240	2
412	HN004	M0	24-08-2024	24.528	2
413	HN004	M1	24-08-2024	24.528	2
414	HN004	Tc2	24-08-2024	24.528	2
415	HN005	Tc1	6-8-2024	14.016	2
416	HN005	M0	6-8-2024	24.096	2
417	HN005	M1	6-8-2024	24.096	2
418	HN005	Tc2	6-8-2024	24.096	2
419	HN006	Tc1	4-10-2024	25.512	2
420	HN006	M0	4-10-2024	25.512	2
421	HN006	M1	4-10-2024	25.512	2
422	HN006	Tc2	4-10-2024	25.512	2
423	HN007	Tc1	5-9-2024	24.816	2
424	HN007	M1	5-9-2024	24.816	2
425	HN007	Tc2	5-9-2024	24.816	2
426	HN008	Tc1	20-09-2024	25.176	2
427	HN008	M0	20-09-2024	25.176	2
428	HN008	Tc2	20-09-2024	7.200	2
429	HN009	Tc1	16-09-2024	4.008	2
430	HN009	M0	16-09-2024	4.008	2
431	HN009	M1	16-09-2024	4.008	2
432	HN009	Tc2	16-09-2024	4.008	2
433	HN010	Tc1	16-08-2024	4.896	2
434	HN010	M0	16-08-2024	3.744	2
435	HN010	M1	16-08-2024	12.288	2
436	HN010	Tc2	16-08-2024	24.336	2
437	HN011	Tc1	30-08-2024	24.672	2
438	HN011	M0	30-08-2024	5.208	2
439	HN011	M1	30-08-2024	5.208	2
440	HN011	Tc2	30-08-2024	24.672	2
441	HN012	Tc1	11-9-2024	12.144	2
442	HN012	M0	11-9-2024	7.536	2
443	HN012	M1	11-9-2024	5.496	2

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
444	HN012	Tc2	11-9-2024	5.496	2
445	HN013	Tc1	18-09-2024	3.984	2
446	HN013	M0	18-09-2024	7.152	2
447	HN013	M1	18-09-2024	25.128	2
448	HN013	Tc2	18-09-2024	7.680	2
449	HN007	M1	24-12-2024	2.640	1
450	HN001	Tc1	14-09-2024	25.032	2
451	HN001	M0	14-09-2024	25.032	2
452	HN001	M1	14-09-2024	25.032	2
453	HN001	Tc2	14-09-2024	25.032	2
454	HN002	Tc1	9-9-2024	24.912	2
455	HN002	M0	9-9-2024	24.912	2
456	HN002	M1	9-9-2024	24.912	2
457	HN002	Tc2	9-9-2024	24.912	2
458	HN003	Tc1	28-09-2024	25.368	2
459	HN003	M0	28-09-2024	25.368	2
460	HN003	M1	28-09-2024	25.368	2
461	HN003	Tc2	28-09-2024	25.368	2
462	HN004	Tc1	24-08-2024	24.528	2
463	HN004	M0	24-08-2024	24.528	2
464	HN004	M1	24-08-2024	24.528	2
465	HN004	Tc2	24-08-2024	24.528	2
466	HN005	Tc1	6-8-2024	24.096	2
467	HN005	M0	6-8-2024	24.096	2
468	HN005	Tc2	6-8-2024	24.096	2
469	HN006	Tc1	4-10-2024	25.512	2
470	HN006	M0	4-10-2024	25.512	2
471	HN007	Tc1	5-9-2024	24.816	2
472	HN007	M1	5-9-2024	24.816	2
473	HN007	Tc2	5-9-2024	24.816	2
474	HN007	Tc1	20-09-2024	25.176	2
475	HN008	M0	20-09-2024	25.176	2
476	HN008	M1	20-09-2024	25.176	2
477	HN008	Tc2	20-09-2024	25.176	2
478	HN009	Tc1	16-09-2024	25.080	2
479	HN009	M0	16-09-2024	25.080	2
480	HN009	Tc2	16-09-2024	25.080	2
481	HN010	Tc1	16-08-2024	24.336	2
482	HN010	M0	16-08-2024	24.336	2
483	HN010	M1	16-08-2024	24.336	2
484	HN010	Tc2	16-08-2024	24.336	2
485	HN011	Tc1	30-08-2024	24.672	2
486	HN011	M0	30-08-2024	24.672	2
487	HN011	M1	30-08-2024	24.672	2

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
488	HN011	Tc2	30-08-2024	24.672	2
489	HN012	Tc1	11-9-2024	24.960	2
490	HN012	M0	11-9-2024	24.960	2
491	HN012	M1	11-9-2024	24.960	2
492	HN012	M1	11-9-2024	24.960	2
493	HN013	Tc1	18-09-2024	25.128	2
494	HN013	M0	18-09-2024	25.128	2
495	HN013	M1	18-09-2024	25.128	2
496	HN013	Tc2	18-09-2024	25.128	2
497	HN005	M1	6-8-2024	24.096	2
498	HN006	M1	4-10-2024	25.512	2
499	HN006	Tc2	4-10-2024	25.512	2
500	HN009	M1	16-09-2024	25.080	2
501	HN012	M0	27-11-2021	504	1,5
502	HN001	M1	20-09-2023	16.392	0,75
503	HN001	M1	30-09-2023	240	1,5
504	HN006	Tc2	2-10-2023	16.68	1,5
505	HN008	Tc1	24-08-2023	15.744	1
506	HN002	Tc2	14-04-2022	3.816	0,25
507	HN008	Tc2	5-6-2023	13.524	0,25
508	HN004	Tc2	30-04-2025	30.504	0,25
509	HN001	Tc2	6-5-2023	13.104	1
510	HN004	Tc2	12-4-2023	12.528	2
511	HN006	Tc1	10-11-2023	17.616	0,25
512	HN006	Tc2	10-11-2023	17.616	0,25
513	HN012	Tc1	9-1-2022	1.536	1
514	HN012	Tc1	26-02-2022	1.152	0,417
515	HN002	Tc2	10-4-2025	30.024	0,5
516	HN009	Tc2	10-4-2025	30.024	0,5
517	HN011	Tc1	4-4-2025	29.88	0,5
518	HN002	M0	4-3-2023	11.592	0,75
519	HN002	Tc2	4-3-2023	11.592	0,75
520	HN004	M1	5-9-2023	16.032	1
521	HN005	M1	6-9-2023	16.056	0,333
522	HN007	M0	6-9-2023	16.056	1
523	HN009	Tc2	4-3-2023	11.692	1
524	HN001	M0	11-3-2023	11.760	1
525	HN002	Tc1	1-11-2023	17.400	3
526	HN002	Tc2	10-12-2021	816	0,5
527	HN003	M1	16-04-2023	12.624	0,5
528	HN003	M1	8-12-2023	5.664	0,5
529	HN003	Tc2	8-4-2022	3.672	1
530	HN003	Tc2	6-4-2023	3.624	0,75
531	HN003	Tc2	22-02-2024	16.488	0,5

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
532	HN004	M1	27-07-2022	6.312	0,75
533	HN005	Tc2	31-05-2022	4.944	1,25
534	HN006	M1	8-5-2023	13.152	0,25
535	HN007	Tc1	14-04-2022	3.816	1,25
536	HN007	Tc2	3-8-2022	6.480	0,833
537	HN009	Tc1	20-12-2022	9.816	3
538	HN013	M0	8-4-2023	12.432	1
539	HN001	M0	4-4-2024	9.360	0,75
540	HN001	M0	29-05-2024	1.320	0,75
541	HN001	Tc2	15-07-2024	23.568	0,75
542	HN003	M1	20-05-2024	3.936	0,5
543	HN004	M1	1-4-2024	14.736	2
544	HN004	M1	22-04-2024	504	0,5
545	HN005	M0	27-05-2024	22.392	0,75
546	HN006	Tc1	6-4-2024	21.168	1
547	HN006	Tc1	2-5-2024	624	0,5
548	HN006	Tc2	29-05-2024	22.440	0,5
549	HN007	M0	17-07-2024	23.616	1,5
550	HN008	M0	23-05-2024	22.296	1
551	HN013	M0	1-6-2024	10.080	0,75
552	HN004	Tc1	16-04-2024	11.256	0,75
553	HN001	M0	24-08-2024	24.528	2,5
554	HN001	M1	14-09-2024	25.032	2
555	HN002	Tc1	22-09-2024	7.824	1
556	HN006	Tc1	30-10-2024	4.344	1
557	HN007	M0	17-10-2024	2.208	2
558	HN007	M0	15-11-2024	696	2
559	HN007	M1	24-09-2024	25.272	2
560	HN008	M0	25-09-2024	3.000	8
561	HN009	M0	7-8-2024	24.120	0,25
562	HN009	M1	7-8-2024	24.120	0,25
563	HN001	M0	20-04-2025	5.736	0,75
564	HN001	M1	20-04-2025	5.232	0,25
565	HN002	Tc1	10-3-2025	4.056	1
566	HN002	M0	23-04-2025	30.336	0,25
567	HN006	Tc1	8-4-2025	3.840	1
568	HN007	M0	19-04-2025	3.720	0,25
569	HN007	M0	19-04-2025	3.720	0,25
570	HN013	Tc2	8-4-2025	29.976	0,5
571	HN009	Tc1	25-10-2023	17.232	1,5
572	HN009	Tc1	2-4-2024	3.840	1
573	HN002	M0	25-06-2023	14.304	0,5
574	HN004	Tc1	12-1-2022	8.904	0,75
575	HN004	Tc1	3-1-2023	1.248	0,5

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
576	HN004	M0	21-11-2021	360	0,25
577	HN008	M0	14-11-2022	8.952	0,5
578	HN009	M1	15-03-2022	3.096	0,75
579	HN010	M0	29-11-2022	9.312	0,75
580	HN013	Tc1	23-08-2023	15.720	0,667
581	HN002	M1	8-7-2024	23.400	0,5
582	HN009	M1	2-4-2024	17.976	1
583	HN001	M1	24-10-2024	25.992	0,25
584	HN007	M1	22-08-2024	24.48	0,75
585	HN010	Tc2	15-08-2024	24.312	0,75
586	HN011	M1	9-8-2024	24.168	0,75
587	HN006	M1	6-9-2024	24.840	0,75
588	HN004	Tc1	6-7-2023	14.568	0,5
589	HN004	Tc2	19-03-2022	3.192	0,25
590	HN006	Tc1	7-3-2023	11.664	0,75
591	HN007	Tc1	5-9-2023	16.032	0,333
592	HN007	Tc2	14-07-2023	14.760	0,417
593	HN007	Tc2	5-2-2024	19.704	0,5
594	HN012	Tc2	10-5-2023	13.200	0,333
595	HN012	Tc2	7-9-2023	2.880	0,333
596	HN003	Tc2	11-4-2024	21.288	0,25
597	HN008	Tc1	28-04-2024	21.696	0,5
598	HN009	Tc2	26-06-2024	23.112	0,25
599	HN004	Tc1	13-05-2024	7.488	0,5
600	HN009	Tc2	4-11-2024	3.144	0,25
601	HN011	Tc1	15-10-2024	25.776	0,25
602	HN001	Tc2	7-12-2024	27.048	0,5
603	HN004	Tc1	14-03-2025	7.320	0,5
604	HN008	Tc1	22-04-2025	8.616	0,25
605	HN012	Tc2	21-04-2025	14.208	0,25
606	HN005	Tc1	14-12-2023	18.432	0,417
607	HN008	Tc2	17-12-2022	9.744	0,417
608	HN008	Tc2	4-8-2023	15.264	3
609	HN008	Tc2	13-12-2023	18.408	0,25
610	HN010	Tc1	11-5-2023	13.224	0,333
611	HN011	Tc1	11-2-2022	2.328	0,75
612	HN012	Tc2	3-12-2022	9.408	0,25
613	HN013	Tc2	21-12-2023	18.600	0,25
614	HN006	Tc1	23-05-2024	22.296	0,25
615	HN011	Tc1	10-12-2022	9.576	1,25
616	HN006	Tc2	18-06-2022	5.376	0,5
617	HN003	Tc2	15-05-2023	13.320	0,5
618	HN004	Tc1	13-12-2022	9.408	0,417
619	HN004	Tc2	8-2-2023	11.016	0,75

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
620	HN005	Tc2	26-10-2023	17.256	0,5
621	HN006	Tc1	23-05-2023	15.720	0,5
622	HN007	Tc1	15-05-2023	13.320	0,833
623	HN009	Tc1	21-11-2022	9.120	0,583
624	HN010	Tc1	15-02-2024	19.944	0,333
625	HN003	Tc1	24-06-2024	23.064	0,75
626	HN004	Tc2	22-04-2024	10.536	0,75
627	HN009	Tc1	2-5-2024	12.672	0,75
628	HN009	Tc2	2-4-2024	21.072	1,25
629	HN001	Tc1	30-08-2024	24.672	0,75
630	HN001	Tc2	24-10-2024	25.992	0,5
631	HN007	Tc1	22-08-2024	11.160	0,5
632	HN011	Tc2	20-08-2024	24.432	0,5
633	HN002	Tc1	10-4-2025	30.024	0,75
634	HN013	Tc2	22-01-2025	28.152	0,75
635	HN001	Tc2	5-9-2022	7.272	0,833
636	HN001	Tc2	27-03-2023	4.872	0,75
637	HN002	Tc1	31-05-2023	13.704	0,5
638	HN004	Tc2	23-03-2024	20.832	0,25
639	HN005	Tc1	31-05-2023	13.704	0,417
640	HN005	Tc2	18-05-2023	13.392	0,417
641	HN006	Tc1	11-8-2023	15.432	0,333
642	HN006	Tc2	26-11-2022	9.240	0,25
643	HN007	Tc1	30-05-2023	13.68	0,417
644	HN009	Tc1	17-09-2022	7.560	0,25
645	HN009	Tc2	26-12-2021	1.200	1
646	HN009	Tc2	23-05-2022	3.552	1
647	HN009	Tc2	11-11-2022	4.128	0,25
648	HN010	Tc2	11-11-2022	8.880	0,25
649	HN011	Tc2	26-11-2021	480	0,25
650	HN011	Tc1	20-05-2023	18.744	0,25
651	HN012	Tc1	20-02-2022	2.544	0,25
652	HN013	Tc1	25-05-2023	13.440	0,417
653	HN007	Tc2	30-05-2023	13.680	0,417
654	HN008	Tc2	16-10-2024	25.800	0,25
655	HN009	Tc2	30-09-2024	16.536	0,25
656	HN012	Tc1	9-8-2024	21.624	0,25
657	HN012	Tc2	15-08-2024	24.312	0,25
658	HN006	Tc1	17-03-2025	14.016	0,25
659	HN008	Tc2	9-1-2025	2.040	0,5
660	HN003	Tc2	16-05-2023	9.720	0,417
661	HN004	Tc2	22-02-2024	20.112	0,25
662	HN007	M1	19-10-2023	17.088	0,25
663	HN009	M0	17-01-2024	19.248	0,25

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
664	HN009	M1	11-8-2023	15.432	0,417
665	HN009	M1	30-12-2023	3.384	0,25
666	HN010	M0	5-6-2023	13.824	0,25
667	HN010	M0	1-3-2024	6.480	0,25
668	HN010	Tc2	27-01-2024	19.488	0,25
669	HN011	Tc1	22-03-2023	12.024	0,25
670	HN011	M1	8-11-2023	10.272	0,25
671	HN013	M0	4-9-2023	16.008	0,25
672	HN003	Tc2	12-7-2024	10.152	0,25
673	HN004	M1	29-07-2024	23.904	0,25
674	HN004	Tc2	12-5-2024	1.920	0,25
675	HN005	M0	4-6-2024	22.584	0,25
676	HN005	M0	29-07-2024	1.320	0,25
677	HN006	Tc1	24-06-2024	23.064	0,25
678	HN006	Tc2	8-5-2024	21.936	0,25
679	HN007	Tc1	16-07-2024	23.592	0,25
680	HN007	M0	23-05-2024	22.296	0,25
681	HN007	M1	24-05-2024	5.232	0,25
682	HN007	M1	27-07-2024	1.536	0,25
683	HN007	Tc2	23-04-2024	21.576	0,25
684	HN008	Tc1	27-05-2024	22.392	0,25
685	HN009	M0	31-07-2024	4.704	0,25
686	HN009	M1	3-4-2024	2.280	0,25
687	HN009	M1	11-7-2024	2.376	0,25
688	HN010	Tc2	31-07-2024	4.464	0,25
689	HN011	M0	27-05-2024	22.392	0,25
690	HN013	M1	3-7-2024	23.280	0,25
691	HN002	M0	18-10-2024	25.848	0,25
692	HN004	M1	9-9-2024	1.008	0,25
693	HN005	Tc2	29-10-2024	26.112	0,25
694	HN006	Tc2	21-09-2024	3.264	0,25
695	HN007	M1	21-09-2024	1.344	0,25
696	HN007	M1	19-10-2024	672	0,25
697	HN008	M1	15-09-2024	25.056	0,25
698	HN010	M0	17-10-2024	5.520	0,25
699	HN010	Tc2	7-10-2024	1.632	0,25
700	HN011	Tc2	5-8-2024	24.072	0,25
701	HN013	M1	27-10-2024	5.616	0,25
702	HN007	M1	24-12-2024	1.584	0,25
703	HN009	M0	17-01-2025	4.080	0,25
704	HN009	M1	19-12-2024	1.008	0,25
705	HN009	M1	6-1-2025	432	0,25
706	HN012	Tc1	7-12-2024	27.048	0,25
707	HN012	M1	28-12-2024	27.552	0,25

TT	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày xảy ra sự cố	Thời gian làm việc giữa các lần xảy ra sự cố, h	Thời gian phục hồi, h
708	HN013	M1	11-12-2024	1.080	0,25
709	HN013	M1	25-02-2025	1.824	0,25
710	HN001	Tc1	20-05-2023	13.440	0,25
711	HN001	M1	5-2-2024	19.704	0,417
712	HN003	M1	5-8-2023	15.288	0,417
713	HN004	M0	1-9-2023	15.936	0,25
714	HN004	M0	2-9-2023	24	0,25
715	HN004	M0	9-9-2023	168	0,25
716	HN004	Tc2	9-4-2023	12.456	0,5
717	HN010	Tc1	1-12-2022	9.360	0,25
718	HN012	M1	4-8-2022	6.504	0,333
719	HN005	M1	13-07-2023	14.736	0,33
720	HN001	Tc1	5-6-2024	9.168	0,25
721	HN012	M1	22-05-2024	15.768	0,25
722	HN008	M1	21-10-2024	25.920	0,25
723	HN001	Tc2	24-10-2024	25.992	0,25
724	HN001	Tc1	20-02-2022	2.544	0,5
725	HN001	Tc1	13-05-2023	10.728	0,25
726	HN001	Tc2	20-06-2022	5.424	0,5
727	HN005	Tc2	27-07-2023	15.072	1,5
728	HN006	M0	22-01-2024	19.368	0,333
729	HN006	Tc2	7-3-2023	11.664	0,5
730	HN007	Tc1	13-02-2022	2.376	0,75
731	HN007	Tc1	20-02-2022	0.168	0,75
732	HN007	Tc1	21-08-2023	13.128	0,5
733	HN007	Tc2	11-8-2023	15.44	0,333
734	HN010	Tc2	13-11-2021	0.168	0,5
735	HN010	Tc2	10-3-2022	2.808	0,25
736	HN011	Tc1	24-05-2022	4.776	1,5
737	HN011	Tc1	26-09-2022	3.000	0,75
738	HN011	Tc1	17-01-2024	11.472	0,75
739	HN011	Tc2	28-06-2022	5.616	1,5
740	HN011	Tc2	17-01-2024	13.632	0,75
741	HN007	Tc1	16-04-2024	5.736	1
742	HN002	Tc1	13-11-2024	26.472	0,25
743	HN003	Tc1	17-08-2024	24.360	0,25
744	HN012	Tc1	21-04-2025	30.288	0,5

Tần suất xảy ra sự cố của các phần tử có số lượng sự cố lớn nhất trong từng phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong khoảng thời gian từ khi bắt đầu khai thác 06/11/2021 đến 30/4/2025 (42 tháng) thể hiện trong Bảng 1.63.

Bảng 1.63. Tần suất xảy ra sự cố của các phần tử có số lượng sự cố lớn nhất trong từng phân hệ

TT	Đối tượng	Số lượng sự cố	Thời gian hoạt động	Tần suất sự cố
1	Phần tử PT1.5.1 - Cửa hông khoang khách	141	3,5 năm	40,28571/năm
			42 tháng	3,357143/tháng
			1.2060 ngày	0,111905/ngày
			22.680 giờ	0,006217/h (6,217.10 ⁻³)/h
2	Phần tử PT4.4.7 - Van điều chỉnh độ cao	95	3,5 năm	27,14286/năm
			42 tháng	2,261905/tháng
			1.2060 ngày	0,075397/ngày
			22.680 giờ	0,004189/h (4,189.10 ⁻³)/h
3	Phần tử PT3.1.8 - Bộ gom dòng	86	3,5 năm	24,57143/năm
			42 tháng	2,047619/năm
			1.2060 ngày	0,068254/ngày
			22.680 giờ	0,003792/h (3,792.10 ⁻³)/h
4	Phần tử PT6.4.1- Chiếu sáng khoang khách	50	3,5 năm	14,28571/măm
			42 tháng	1,190476/tháng
			1.2060 ngày	0,039683/ngày
			22.680 giờ	0,002205/h (2,205.10 ⁻³)/h
5	Phần tử PT6.2.1-Tổ máy điều hòa toa khách	47	3,5 năm	13,42857/năm
			42 tháng	1,119048/tháng
			1.2060 ngày	0,037302/ngày
			22.680 giờ	0,002072/h (2,072.10 ⁻³)/h

Tần suất xảy ra sự cố của tổng thể phương tiện và các phân hệ trên đoàn tàu metro tuyến Cát Linh - Hà Đông trong khoảng thời gian từ khi bắt đầu khai thác 06/11/2021 đến 30/4/2025 (42 tháng) thể hiện trong Bảng 1.64.

Bảng 1.64. Tần suất xảy ra sự cố của tổng thể phương tiện và các phân hệ

TT	Đối tượng	Số lượng sự cố	Thời gian hoạt động	Tần suất sự cố
1	Tổng thể phương tiện	746	3,5 năm	213,143/năm
			42 tháng	17,7619/tháng
			1.2060 ngày	0,56825/ngày
			22.680 giờ	0,03289/h ($3,289.10^{-2}$)/h
2	Phân hệ thân xe	172	3,5 năm	49,14286/năm
			42 tháng	4,09524/tháng
			1.2060 ngày	0,014262/ngày
			22.680 giờ	$7,584.10^{-3}$ /h
3	Phân hệ bộ phận chạy	0		
4	Phân hệ truyền động	135	3,5 năm	38,57413/năm
			42 tháng	3,214286/tháng
			1.2060 ngày	0,011194/ngày
			22.680 giờ	$5,95238.10^{-3}$ /h
5	Phân hệ thiết bị hãm	197	3,5 năm	56,2857/năm
			42 tháng	46,90476/tháng
			1.2060 ngày	0,016335/ngày
			22.680 giờ	$8,68607.10^{-3}$ /h
6	Phân hệ điều khiển	4	3,5 năm	1,142857/năm
			42 tháng	0,095238/tháng
			1.2060 ngày	$3,31675.10^{-4}$ /ngày
			22.680 giờ	$1,763668.10^{-4}$ /h
7	Phân hệ thiết bị phụ	238	3,5 năm	68/năm
			42 tháng	5,666666/tháng
			1.2060 ngày	0,019735/ngày
			22.680 giờ	0,01049/h; ($1,049.10^{-2}$)/h

PHỤ LỤC 2

TỔNG HỢP SỐ LIỆU THỐNG KÊ VỀ HAO MÒN BÁNH XE CỦA ĐOÀN TÀU METRO TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH VẬN HÀNH TRÊN TUYẾN

Bảng 2.1. Độ mòn [I , mm] và cường độ hao mòn mặt lăn bánh xe [c , mm/10⁵ km] các đoàn tàu tuyến Cát Linh - Hà Đông

Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	km chạy	Trục số 1				Trục số 2				Trục số 3				Trục số 4			
				BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c
HN001	Tc1	11/3/24	170843	4,5	2,634	4,5	2,634	4,4	2,575	4,5	2,634	4,7	2,751	4,6	2,693	4,5	2,634	4,4	2,575
	M0	11/3/24	170843	4,5	2,634	4,8	2,810	4,8	2,810	4,6	2,693	4,6	2,693	4,6	2,693	4,7	2,751	4,6	2,693
	M1	11/3/24	170843	4,6	2,693	4,5	2,634	4,6	2,693	4,7	2,751	4,8	2,810	4,4	2,575	4,5	2,634	4,8	2,810
	Tc2	11/3/24	170843	4,4	2,575	4,5	2,634	4,8	2,810	4,6	2,693	4,4	2,575	4,5	2,634	4,6	2,693	4,8	2,810
HN002	Tc1	2/3/24	216753	4,7	2,168	4,8	2,215	5	2,307	4,7	2,168	4,6	2,122	4,8	2,215	4,8	2,215	4,8	2,215
	M0	2/3/24	216753	4,8	2,215	4,6	2,122	5	2,307	4,7	2,168	5	2,307	4,8	2,215	4,8	2,215	4,7	2,168
	M1	2/3/24	216753	5,2	2,399	5,1	2,353	4,6	2,122	4,5	2,076	4,9	2,261	5,1	2,353	5	2,307	4,5	2,076
	Tc2	2/3/24	216753	5	2,307	4,8	2,215	5	2,307	4,5	2,076	4,8	2,215	4,5	2,076	4,5	2,076	4,7	2,168
HN003	Tc1	8/3/24	210421	4,5	2,139	5,1	2,424	4,6	2,186	4,8	2,281	4,5	2,139	4,4	2,091	4,5	2,139	4,5	2,139
	M0	8/3/24	210421	4,8	2,281	4,6	2,186	4,9	2,329	4,6	2,186	4,5	2,139	5,1	2,424	4,6	2,186	5,1	2,424
	M1	8/3/24	210421	5	2,376	5	2,376	5,1	2,424	5	2,376	4,6	2,186	4,9	2,329	4,7	2,234	4,9	2,329
	Tc2	8/3/24	210421	4,7	2,234	4,7	2,234	4,8	2,281	5	2,376	4,6	2,186	5	2,376	4,5	2,139	5	2,376
HN004	Tc1	20/3/24	214450	4,7	2,192	4,6	2,145	4,7	2,192	4,6	2,145	4,6	2,145	4,6	2,145	4,6	2,145	4,7	2,192
	M0	20/3/24	214450	4,6	2,145	4,6	2,145	4,8	2,238	4,7	2,192	4,5	2,098	4,6	2,145	4,6	2,145	4,6	2,145
	M1	20/3/24	214450	4,7	2,192	4,8	2,238	4,8	2,238	4,7	2,192	4,7	2,192	4,5	2,098	4,6	2,145	4,5	2,098
	Tc2	20/3/24	214450	4,6	2,145	4,6	2,145	4,6	2,145	4,6	2,145	4,6	2,145	4,6	2,145	4,6	2,145	4,5	2,098
HN005	Tc1	22/3/24	209321	4,6	2,198	4,7	2,245	4,6	2,198	4,8	2,293	4,4	2,102	4,7	2,245	4,6	2,198	4,7	2,245
	M0	22/3/24	209321	4,7	2,245	4,6	2,198	4,5	2,150	4,7	2,245	4,62	2,207	4,7	2,245	4,5	2,150	4,7	2,245
	M1	22/3/24	209321	4,5	2,150	4,8	2,293	4,6	2,198	4,5	2,150	4,6	2,198	4,5	2,150	4,6	2,198	4,4	2,102
	Tc2	22/3/24	209321	5	2,389	5	2,389	4,8	2,293	4,4	2,102	4,5	2,150	4,5	2,150	4,5	2,150	4,5	2,150

Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	km chạy	Trục số 1				Trục số 2				Trục số 3				Trục số 4			
				BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c
HN006	Tc1	25/3/24	199672	5,8	2,905	5,5	2,755	5,5	2,755	5,7	2,855	5,5	2,755	5,5	2,755	5,3	2,654	5,5	2,755
	M0	25/3/24	199672	5,7	2,855	5,8	2,905	5,6	2,805	5,6	2,805	5,6	2,805	5,7	2,855	5,8	2,905	5,6	2,805
	M1	25/3/24	199672	5,7	2,855	6	3,005	5,6	2,805	5,5	2,755	5,8	2,905	5,7	2,855	5,6	2,805	5,6	2,805
	Tc2	25/3/24	199672	9,2	4,608	9,7	4,858	8,3	4,157	8	4,007	6,5	3,255	6	3,005	7	3,506	6,4	3,205
HN007	Tc1	4/3/24	215518	4,9	2,274	4,8	2,227	4,8	2,227	4,7	2,181	4,7	2,181	4,8	2,227	4,8	2,227	4,6	2,134
	M0	4/3/24	215518	4,7	2,181	4,6	2,134	4,4	2,042	4,7	2,181	4,6	2,134	4,5	2,088	4,8	2,227	4,9	2,274
	M1	4/3/24	215518	4,7	2,181	4,8	2,227	4,6	2,134	4,5	2,088	4,7	2,181	4,8	2,227	4,8	2,227	4,6	2,134
	Tc2	4/3/24	215518	4,4	2,042	4,6	2,134	4,5	2,088	4,7	2,181	4,4	2,042	4,6	2,134	4,8	2,227	4,5	2,088
HN008	Tc1	15/3/24	221235	4,8	2,170	4,6	2,079	5	2,260	4,5	2,034	4,9	2,215	4,4	1,989	5,4	2,441	4,9	2,215
	M0	15/3/24	221235	5,2	2,350	4,5	2,034	5,6	2,531	4,6	2,079	4,6	2,079	5,8	2,622	4,8	2,170	4,4	1,989
	M1	15/3/24	221235	4,8	2,170	4,4	1,989	4,9	2,215	4,7	2,124	4,4	1,989	4,5	2,034	5,9	2,667	5,5	2,486
	Tc2	15/3/24	221235	5	2,260	4,5	2,034	4,5	2,034	4,8	2,170	4,8	2,170	4,5	2,034	5,2	2,350	5,5	2,486
HN009	Tc1	1/3/24	213919	4,7	2,197	4,4	2,057	4,5	2,104	4,7	2,197	4,8	2,244	4,4	2,057	4,5	2,104	4,4	2,057
	M0	1/3/24	213919	4,8	2,244	4,5	2,104	4,5	2,104	4,7	2,197	4,5	2,104	4,3	2,010	4,5	2,104	4,2	1,963
	M1	1/3/24	213919	4,5	2,104	4,2	1,963	4,4	2,057	4,8	2,244	4,3	2,010	4,5	2,104	4,5	2,104	4,7	2,197
	Tc2	1/3/24	213919	4,4	2,057	4,5	2,104	4,6	2,150	4,8	2,244	4,4	2,057	4,4	2,057	4,2	1,963	4,3	2,010
HN0010	Tc1	6/3/24	215765	4,6	2,132	4,5	2,086	4,6	2,132	4,7	2,178	4,6	2,132	4,5	2,086	4,5	2,086	4,6	2,132
	M0	6/3/24	215765	4,7	2,178	4,7	2,178	4,8	2,225	4,6	2,132	4,6	2,132	4,5	2,086	4,8	2,225	4,6	2,132
	M1	6/3/24	215765	4,7	2,178	4,8	2,225	4,6	2,132	4,5	2,086	4,6	2,132	4,6	2,132	4,6	2,132	4,7	2,178
	Tc2	6/3/24	215765	4,6	2,132	4,9	2,271	4,7	2,178	4,8	2,225	4,6	2,132	4,5	2,086	4,7	2,178	4,4	2,039
HN0011	Tc1	27/3/24	231224	4,8	2,076	4,5	1,946	4,6	1,989	4,8	2,076	4,8	2,076	5	2,162	4,6	1,989	5	2,162
	M0	27/3/24	231224	5,4	2,335	6,5	2,811	5,5	2,379	6	2,595	5,7	2,465	5,6	2,422	6	2,595	4,4	1,903
	M1	27/3/24	231224	5,3	2,292	6,5	2,811	6	2,595	4,8	2,076	4,7	2,033	5	2,162	5,5	2,379	5,5	2,379
	Tc2	27/3/24	231224	5	2,162	4,7	2,033	6	2,595	5	2,162	4,6	1,989	5,8	2,508	5	2,162	5,5	2,379
HN0012	Tc1	18/3/24	216192	4,9	2,267	4,8	2,220	4,9	2,267	4,9	2,267	4,7	2,174	4,8	2,220	4,7	2,174	4,8	2,220
	M0	18/3/24	216192	4,8	2,220	4,8	2,220	4,7	2,174	4,8	2,220	4,7	2,174	4,7	2,174	4,9	2,267	4,8	2,220
	M1	18/3/24	216192	4,8	2,220	4,7	2,174	4,8	2,220	4,8	2,220	4,9	2,267	4,8	2,220	4,8	2,220	4,6	2,128

Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	km chạy	Trục số 1				Trục số 2				Trục số 3				Trục số 4			
				BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c
	Tc2	18/3/24	216192	4,8	2,220	4,8	2,220	4,8	2,220	4,8	2,220	4,8	2,220	4,8	2,220	4,7	2,174	4,7	2,174
HN0013	Tc1	13/3/24	215620	4,6	2,133	4,6	2,133	4,7	2,180	4,7	2,180	4,6	2,133	4,6	2,133	4,5	2,087	4,4	2,041
	M0	13/3/24	215620	4,5	2,087	4,7	2,180	4,6	2,133	4,6	2,133	4,7	2,180	4,7	2,180	4,7	2,180	4,8	2,226
	M1	13/3/24	215620	4,7	2,180	4,7	2,180	4,6	2,133	4,8	2,226	4,8	2,226	4,7	2,180	4,6	2,133	4,4	2,041
	Tc2	13/3/24	215620	4,6	2,133	4,6	2,133	4,8	2,226	4,5	2,087	4,4	2,041	4,8	2,226	4,6	2,133	4,5	2,087

Bảng 2.2. Độ mòn [I , mm] và cường độ hao mòn gờ bánh xe [c, mm/10⁵ km] các đoàn tàu tuyến Cát Linh - Hà Đông

Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	km chạy	Trục số 1				Trục số 2				Trục số 3				Trục số 4			
				BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c
HN001	Tc1	11/3/24	170843	1,5	0,878	1,6	0,937	1,8	1,054	1,5	0,878	1,8	1,054	1,5	0,878c	1,6	0,937	1,5	0,878
	M0	11/3/24	170843	1,6	0,937	1,6	0,937	1,4	0,819	1,5	0,878	1,6	0,937	1,4	0,819	1,5	0,878	1,5	0,878
	M1	11/3/24	170843	1,7	0,995	1,6	0,937	1,6	0,937	1,5	0,878	1,6	0,937	1,6	0,937	1,6	0,937	1,5	0,878
	Tc2	11/3/24	170843	1,6	0,937	1,8	1,054	1,5	0,878	1,6	0,937	1,6	0,937	1,5	0,878	1,6	0,937	1,7	0,995
HN002	Tc1	2/3/24	216753	1,8	0,830	1,7	0,784	1,8	0,830	1,9	0,877	1,9	0,877	1,6	0,738	1,8	0,830	1,8	0,830
	M0	2/3/24	216753	1,8	0,830	1,7	0,784	1,8	0,830	1,6	0,738	1,9	0,877	1,6	0,738	1,8	0,830	1,6	0,738
	M1	2/3/24	216753	1,6	0,738	1,8	0,830	1,8	0,830	1,9	0,877	1,5	0,692	1,8	0,830	1,6	0,738	1,7	0,784
	Tc2	2/3/24	216753	1,8	0,830	1,9	0,877	1,7	0,784	1,8	0,830	1,8	0,830	1,6	0,738	1,5	0,692	1,5	0,692
HN003	Tc1	8/3/24	210421	1,9	0,903	1,8	0,855	1,6	0,760	1,7	0,808	1,9	0,903	1,5	0,713	1,8	0,855	1,8	0,855
	M0	8/3/24	210421	1,9	0,903	1,8	0,855	1,8	0,855	1,9	0,903	1,7	0,808	1,8	0,855	1,6	0,760	1,6	0,760
	M1	8/3/24	210421	1,9	0,903	1,8	0,855	1,7	0,808	1,8	0,855	1,7	0,808	1,9	0,903	1,8	0,855	1,6	0,760
	Tc2	8/3/24	210421	1,8	0,855	1,9	0,903	1,8	0,855	1,9	0,903	1,7	0,808	1,9	0,903	1,8	0,855	1,9	0,903
HN004	Tc1	20/3/24	214450	1,5	0,699	1,6	0,746	1,5	0,699	2	0,933	2	0,933	1,5	0,699	2	0,933	2	0,933
	M0	20/3/24	214450	2	0,933	2	0,933	1,5	0,699	2	0,933	1,5	0,699	2	0,933	1,6	0,746	2	0,933
	M1	20/3/24	214450	2	0,933	1,7	0,793	1,5	0,699	2	0,933	1,5	0,699	2	0,933	1,5	0,699	1,5	0,699
	Tc2	20/3/24	214450	1,5	0,699	1,5	0,699	1,5	0,699	1,5	0,699	1,5	0,699	2	0,933	2	0,933	2	0,933
HN005	Tc1	22/3/24	209321	1,9	0,908	1,5	0,717	1,9	0,908	1,9	0,908	1,5	0,717	1,6	0,764	1,5	0,717	1,5	0,717

Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	km chạy	Trục số 1				Trục số 2				Trục số 3				Trục số 4			
				BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c
	M0	22/3/24	209321	1,7	0,812	1,8	0,860	1,8	0,860	1,8	0,860	1,8	0,860	1,5	0,717	1,7	0,812	1,8	0,860
	M1	22/3/24	209321	1,8	0,860	1,5	0,717	1,8	0,860	2	0,955	1,7	0,812	1,8	0,860	1,5	0,717	1,5	0,717
	Tc2	22/3/24	209321	1,8	0,860	1,5	0,717	1,8	0,860	1,8	0,860	1,5	0,717	1,6	0,764	1,7	0,812	1,8	0,860
HN006	Tc1	25/3/24	199672	1,5	0,751	1,6	0,801	1,5	0,751	1,8	0,901	1,6	0,801	1,6	0,801	1,6	0,801	1,8	0,901
	M0	25/3/24	199672	1,5	0,751	1,5	0,751	1,6	0,801	1,5	0,751	1,4	0,701	1,5	0,751	1,5	0,751	1,5	0,751
	M1	25/3/24	199672	1,5	0,751	1,5	0,751	1,4	0,701	1,4	0,701	1,6	0,801	1,5	0,751	1,6	0,801	1,5	0,751
	Tc2	25/3/24	199672	1,5	0,751	1,5	0,751	1,5	0,751	1,6	0,801	1,8	0,901	1,7	0,851	1,5	0,751	1,5	0,751
HN007	Tc1	4/3/24	215518	1,5	0,696	1,6	0,742	1,8	0,835	1,8	0,835	1,6	0,742	1,4	0,650	1,8	0,835	1,5	0,696
	M0	4/3/24	215518	1,5	0,696	1,8	0,835	1,7	0,789	1,8	0,835	1,5	0,696	1,8	0,835	1,6	0,742	1,5	0,696
	M1	4/3/24	215518	1,8	0,835	1,5	0,696	1,6	0,742	1,6	0,742	1,8	0,835	1,8	0,835	1,5	0,696	1,8	0,835
	Tc2	4/3/24	215518	1,7	0,789	1,6	0,742	1,8	0,835	1,8	0,835	1,6	0,742	1,7	0,789	1,8	0,835	1,7	0,789
HN008	Tc1	15/3/24	221235	1,9	0,859	1,8	0,814	1,7	0,768	1,9	0,859	1,9	0,859	1,7	0,768	1,7	0,768	1,5	0,678
	M0	15/3/24	221235	1,9	0,859	1,8	0,814	1,6	0,723	1,6	0,723	1,7	0,768	1,7	0,768	1,9	0,859	1,9	0,859
	M1	15/3/24	221235	1,8	0,814	1,9	0,859	1,5	0,678	1,6	0,723	1,8	0,814	1,7	0,768	1,6	0,723	1,7	0,768
	Tc2	15/3/24	221235	1,5	0,678	1,9	0,859	1,8	0,814	1,7	0,768	1,9	0,859	1,8	0,814	1,8	0,814	1,7	0,768
HN009	Tc1	1/3/24	213919	1,9	0,888	1,9	0,888	1,9	0,888	1,8	0,841	1,7	0,795	1,9	0,888	1,8	0,841	1,7	0,795
	M0	1/3/24	213919	1,9	0,888	1,8	0,841	1,9	0,888	1,8	0,841	1,9	0,888	1,9	0,888	1,8	0,841	1,9	0,888
	M1	1/3/24	213919	1,8	0,841	1,9	0,888	1,9	0,888	1,8	0,841	1,9	0,888	1,8	0,841	1,6	0,748	1,7	0,795
	Tc2	1/3/24	213919	1,7	0,795	1,7	0,795	1,5	0,701	1,6	0,748	1,7	0,795	1,8	0,841	1,8	0,841	1,7	0,795
HN0010	Tc1	6/3/24	215765	1,9	0,881	1,8	0,834	1,8	0,834	1,9	0,881	1,8	0,834	1,9	0,881	1,9	0,881	1,8	0,834
	M0	6/3/24	215765	1,9	0,881	1,9	0,881	1,9	0,881	1,6	0,742	1,8	0,834	1,7	0,788	1,8	0,834	1,7	0,788
	M1	6/3/24	215765	1,7	0,788	1,8	0,834	1,9	0,881	1,8	0,834	1,8	0,834	1,7	0,788	1,9	0,881	1,8	0,834
	Tc2	6/3/24	215765	1,8	0,834	1,9	0,881	1,8	0,834	1,9	0,881	1,9	0,881	1,8	0,834	1,7	0,788	1,8	0,834
HN0011	Tc1	27/3/24	231224	1,8	0,778	1,9	0,822	1,8	0,778	1,6	0,692	1,8	0,778	1,7	0,735	1,7	0,735	1,8	0,778
	M0	27/3/24	231224	1,9	0,822	1,8	0,778	1,8	0,778	1,9	0,822	1,9	0,822	1,8	0,778	1,9	0,822	1,8	0,778
	M1	27/3/24	231224	1,9	0,822	1,8	0,778	1,6	0,692	1,7	0,735	1,8	0,778	1,8	0,778	1,9	0,822	1,6	0,692
	Tc2	27/3/24	231224	1,8	0,778	1,8	0,778	1,8	0,778	1,9	0,822	1,8	0,778	1,9	0,822	1,8	0,778	1,9	0,822

Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	km chạy	Trục số 1				Trục số 2				Trục số 3				Trục số 4			
				BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c
HN0012	Tc1	18/3/24	216192	1,8	0,833	1,9	0,879	1,8	0,833	1,7	0,786	1,9	0,879	1,8	0,833	1,8	0,833	1,8	0,833
	M0	18/3/24	216192	1,9	0,879	1,8	0,833	1,9	0,879	1,8	0,833	1,9	0,879	1,9	0,879	1,8	0,833	1,9	0,879
	M1	18/3/24	216192	1,9	0,879	1,8	0,833	1,9	0,879	1,8	0,833	1,9	0,879	1,8	0,833	1,8	0,833	1,9	0,879
	Tc2	18/3/24	216192	1,8	0,833	1,8	0,833	1,9	0,879	1,8	0,833	1,9	0,879	1,8	0,833	1,9	0,879	1,8	0,833
HN0013	Tc1	13/3/24	215620	1,7	0,788	1,8	0,835	1,6	0,742	1,6	0,742	1,7	0,788	1,6	0,742	1,6	0,742	1,8	0,835
	M0	13/3/24	215620	1,7	0,788	1,7	0,788	1,6	0,742	1,8	0,835	1,6	0,742	1,7	0,788	1,6	0,742	1,6	0,742
	M1	13/3/24	215620	1,8	0,835	1,4	0,649	1,5	0,696	1,8	0,835	1,6	0,742	1,6	0,742	1,7	0,788	1,8	0,835
	Tc2	13/3/24	215620	1,8	0,835	1,6	0,742	1,7	0,788	1,8	0,835	1,9	0,881	1,9	0,881	1,7	0,788	1,6	0,742

Bảng 2.3. Độ gia tăng [I , mm] và cường độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe [c , mm/10⁵ km] các đoàn tàu tuyến Cát Linh - Hà Đông

Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	km chạy	Trục số 1				Trục số 2				Trục số 3				Trục số 4			
				BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c
HN001	Tc1	11/3/24	170843	1,7	0,995	1,7	0,995	1,5	0,878	1,6	0,937	1,7	0,995	1,5	0,878	1,5	0,878	1,7	0,995
	M0	11/3/24	170843	1,4	0,819	1,6	0,937	1,5	0,878	1,6	0,937	1,7	0,995	1,5	0,878	1,3	0,761	1,5	0,878
	M1	11/3/24	170843	1,5	0,878	1,6	0,937	1,5	0,878	1,4	0,819	1,7	0,995	1,5	0,878	1,6	0,937	1,5	0,878
	Tc2	11/3/24	170843	2	1,171	1,3	0,761	1,6	0,937	1,6	0,937	2	1,171	1,2	0,702	1,4	0,819	1,5	0,878
HN002	Tc1	2/3/24	216753	1,2	0,554	1,5	0,692	1,4	0,646	1,5	0,692	1,1	0,507	1,5	0,692	1,2	0,554	1,3	0,600
	M0	2/3/24	216753	1,6	0,738	1,5	0,692	1,5	0,692	1,4	0,646	1,2	0,554	1,5	0,692	1,3	0,600	1,4	0,646
	M1	2/3/24	216753	1,5	0,692	1,6	0,738	1,3	0,600	1,5	0,692	1,5	0,692	1,4	0,646	1,2	0,554	1,5	0,692
	Tc2	2/3/24	216753	1,6	0,738	1,5	0,692	1,3	0,600	1,5	0,692	1,5	0,692	1,4	0,646	1,4	0,646	1,3	0,600
HN003	Tc1	8/3/24	210421	1,2	0,570	1,2	0,570	1,4	0,665	1,3	0,618	1,3	0,618	1,5	0,713	1,2	0,570	1,4	0,665
	M0	8/3/24	210421	1,1	0,523	1,5	0,713	1,2	0,570	1,2	0,570	1,4	0,665	1,5	0,713	1,2	0,570	1,3	0,618
	M1	8/3/24	210421	1,3	0,618	1,4	0,665	1,4	0,665	1,4	0,665	1,5	0,713	1,5	0,713	1,4	0,665	1,5	0,713
	Tc2	8/3/24	210421	1,3	0,618	1,3	0,618	1,3	0,618	1,2	0,570	1,4	0,665	1,3	0,618	1,5	0,713	1,2	0,570
HN004	Tc1	20/3/24	214450	1,7	0,793	1,6	0,746	1,4	0,653	1,5	0,699	1,4	0,653	1,5	0,699	1,5	0,699	1,2	0,560
	M0	20/3/24	214450	1,7	0,793	1,8	0,839	1,7	0,793	1,5	0,699	1,6	0,746	1,5	0,699	1,6	0,746	1,5	0,699

Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	km chạy	Trục số 1				Trục số 2				Trục số 3				Trục số 4			
				BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c
	M1	20/3/24	214450	1,5	0,699	1,5	0,699	1,4	0,653	1,6	0,746	1,4	0,653	1,5	0,699	1,5	0,699	1,4	0,653
	Tc2	20/3/24	214450	1,6	0,746	1,7	0,793	1,6	0,746	1,5	0,699	1,6	0,746	1,7	0,793	1,8	0,839	1,6	0,746
HN005	Tc1	22/3/24	209321	1,5	0,717	1,4	0,669	1,6	0,764	1,7	0,812	1,5	0,717	1,2	0,573	1,5	0,717	1,6	0,764
	M0	22/3/24	209321	1,5	0,717	1,5	0,717	1,3	0,621	1,4	0,669	1,5	0,717	1,6	0,764	1,5	0,717	1,4	0,669
	M1	22/3/24	209321	1,3	0,621	1,5	0,717	1,6	0,764	1,5	0,717	1,4	0,669	1,3	0,621	1,5	0,717	1,6	0,764
	Tc2	22/3/24	209321	1,5	0,717	1,5	0,717	1,6	0,764	1,5	0,717	1,4	0,669	1,3	0,621	1,5	0,717	1,6	0,764
HN006	Tc1	25/3/24	199672	1,2	0,601	1,3	0,651	1,5	0,751	1,3	0,651	1,3	0,651	1,4	0,701	1,5	0,751	1,4	0,701
	M0	25/3/24	199672	1,5	0,751	1,5	0,751	1,4	0,701	1,2	0,601	1,2	0,601	1,3	0,651	1,3	0,651	1,5	0,751
	M1	25/3/24	199672	1,5	0,751	1,5	0,751	1,3	0,651	1,5	0,751	1,4	0,701	1,5	0,751	1,3	0,651	1,5	0,751
	Tc2	25/3/24	199672	1,2	0,601	1,2	0,601	1,3	0,651	1,2	0,601	1,2	0,601	1,5	0,751	1,2	0,601	1,1	0,551
HN007	Tc1	4/3/24	215518	1,5	0,696	1,3	0,603	1,2	0,557	1,3	0,603	1,5	0,696	1,3	0,603	1,5	0,696	1,3	0,603
	M0	4/3/24	215518	1,3	0,603	1,5	0,696	1,4	0,650	1,5	0,696	1,4	0,650	1,4	0,650	1,4	0,650	1,3	0,603
	M1	4/3/24	215518	1,3	0,603	1,2	0,557	1,3	0,603	1,3	0,603	1,3	0,603	1,4	0,650	1,3	0,603	1,3	0,603
	Tc2	4/3/24	215518	1,4	0,650	1,3	0,603	1,3	0,603	1,4	0,650	1,4	0,650	1,4	0,650	1,3	0,603	1,4	0,650
HN008	Tc1	15/3/24	221235	1,1	0,497	1,4	0,633	1,3	0,588	1,5	0,678	1,5	0,678	1,4	0,633	1,3	0,588	1,5	0,678
	M0	15/3/24	221235	1,4	0,633	1,5	0,678	1,3	0,588	1,2	0,542	1,1	0,497	1,3	0,588	1,3	0,588	1,4	0,633
	M1	15/3/24	221235	1,3	0,588	1,3	0,588	1,4	0,633	1,3	0,588	1,2	0,542	1,5	0,678	1,5	0,678	1,2	0,542
	Tc2	15/3/24	221235	1,5	0,678	1,4	0,633	1,3	0,588	1,3	0,588	1,2	0,542	1,2	0,542	1,3	0,588	1,3	0,588
HN009	Tc1	1/3/24	213919	1,1	0,514	1,5	0,701	1,2	0,561	1,3	0,608	1,3	0,608	1,5	0,701	1,1	0,514	1,5	0,701
	M0	1/3/24	213919	1,2	0,561	1,5	0,701	1,2	0,561	1,5	0,701	1,2	0,561	1,5	0,701	1,2	0,561	1,2	0,561
	M1	1/3/24	213919	1,3	0,608	1,3	0,608	1,3	0,608	1,5	0,701	1,5	0,701	1,4	0,654	1,4	0,654	1,4	0,654
	Tc2	1/3/24	213919	1,2	0,561	1,3	0,608	1,3	0,608	1,5	0,701	1,1	0,514	1,3	0,608	1,3	0,608	1,3	0,608
HN0010	Tc1	6/3/24	215765	1,5	0,695	1,6	0,742	1,5	0,695	1,4	0,649	1,3	0,603	1,6	0,742	1,5	0,695	1,5	0,695
	M0	6/3/24	215765	1,6	0,742	1,5	0,695	1,3	0,603	1,6	0,742	1,5	0,695	1,5	0,695	1,2	0,556	1,6	0,742
	M1	6/3/24	215765	1,6	0,742	1,3	0,603	1,5	0,695	1,6	0,742	1,5	0,695	1,4	0,649	1,6	0,742	1,5	0,695
	Tc2	6/3/24	215765	1,5	0,695	1,6	0,742	1,5	0,695	1,6	0,742	1,5	0,695	1,4	0,649	1,5	0,695	1,6	0,742
HN0011	Tc1	27/3/24	231224	1,2	0,519	1,4	0,605	1,3	0,562	1,3	0,562	1,5	0,649	1,4	0,605	1,3	0,562	1,3	0,562

Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	km chạy	Trục số 1				Trục số 2				Trục số 3				Trục số 4			
				BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c	BXT	c	BXP	c
	M0	27/3/24	231224	1,1	0,476	1,1	0,476	1,3	0,562	1,4	0,605	1,3	0,562	1,2	0,519	1,4	0,605	1,6	0,692
	M1	27/3/24	231224	1,2	0,519	1,2	0,519	1,3	0,562	1,4	0,605	1,4	0,605	1,5	0,649	1,1	0,476	1,5	0,649
	Tc2	27/3/24	231224	1,5	0,649	1,4	0,605	1,1	0,476	1,2	0,519	1,3	0,562	1,5	0,649	1,3	0,562	1,4	0,605
HN0012	Tc1	18/3/24	216192	1,2	0,555	1,2	0,555	1,4	0,648	1,5	0,694	1,2	0,555	1,3	0,601	1,1	0,509	1,3	0,601
	M0	18/3/24	216192	1,2	0,555	1,3	0,601	1,4	0,648	1,2	0,555	1,2	0,555	1,2	0,555	1,4	0,648	1,2	0,555
	M1	18/3/24	216192	1,5	0,694	1,4	0,648	1,3	0,601	1,4	0,648	1,5	0,694	1,2	0,555	1,1	0,509	1,2	0,555
	Tc2	18/3/24	216192	1,2	0,555	1,3	0,601	1,1	0,509	1,4	0,648	1,5	0,694	1,4	0,648	1,3	0,601	1,3	0,601
HN0013	Tc1	13/3/24	215620	1,4	0,649	1,3	0,603	1,7	0,788	1,7	0,788	1,5	0,696	1,4	0,649	1,5	0,696	1,6	0,742
	M0	13/3/24	215620	1,4	0,649	1,4	0,649	1,3	0,603	1,5	0,696	1,4	0,649	1,4	0,649	1,5	0,696	1,6	0,742
	M1	13/3/24	215620	1,5	0,696	1,4	0,649	1,4	0,649	1,5	0,696	1,6	0,742	1,5	0,696	1,4	0,649	1,4	0,649
	Tc2	13/3/24	215620	1,4	0,649	1,4	0,649	1,3	0,603	1,4	0,649	1,6	0,742	1,4	0,649	1,6	0,742	1,5	0,696

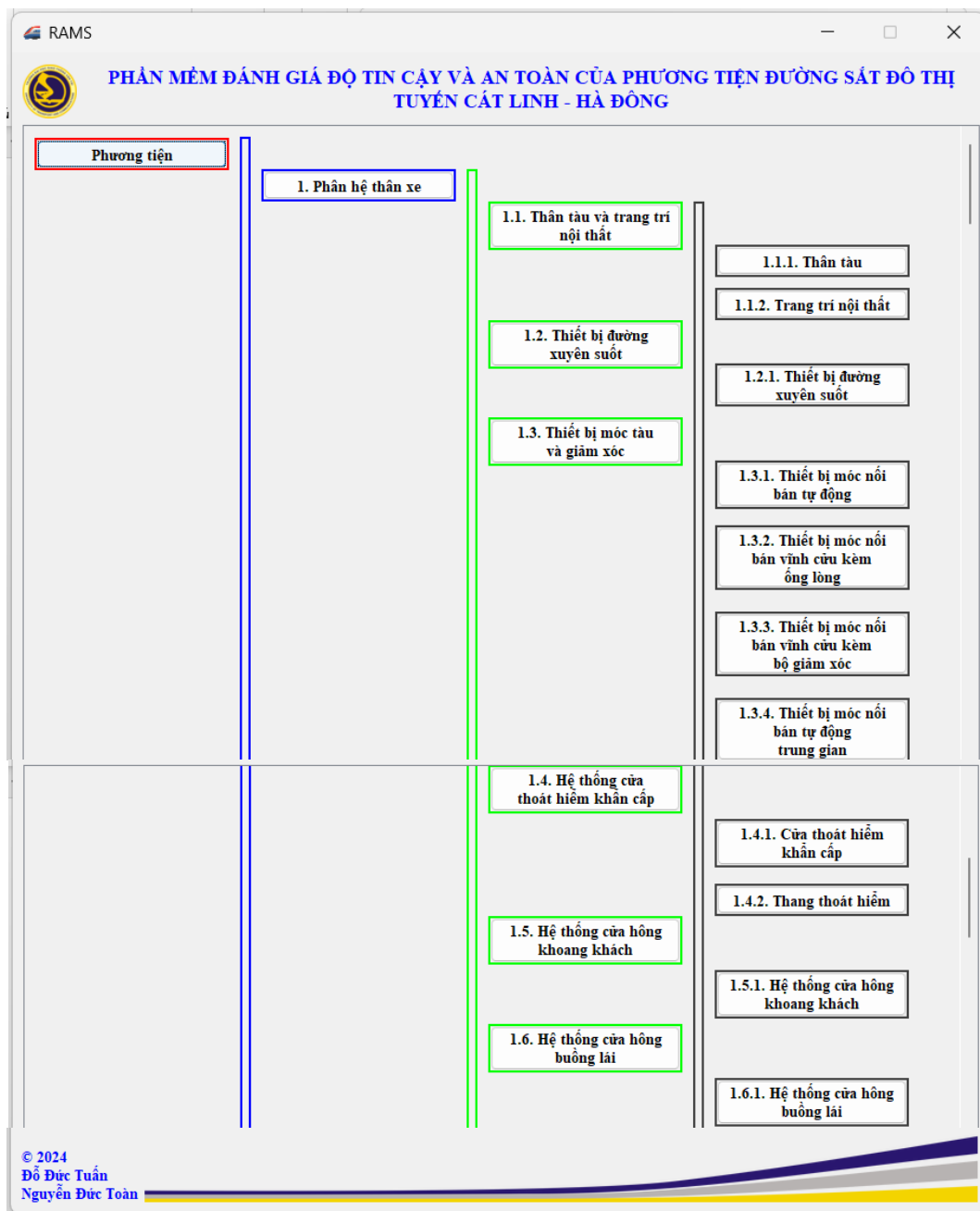
PHỤ LỤC 3

CÁC GIAO DIỆN CHÍNH VÀ MÃ NGUỒN CỦA PHẦN MỀM ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY, TÍNH SẴN SÀNG, KHẢ NĂNG BẢO DƯỠNG VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐÔNG

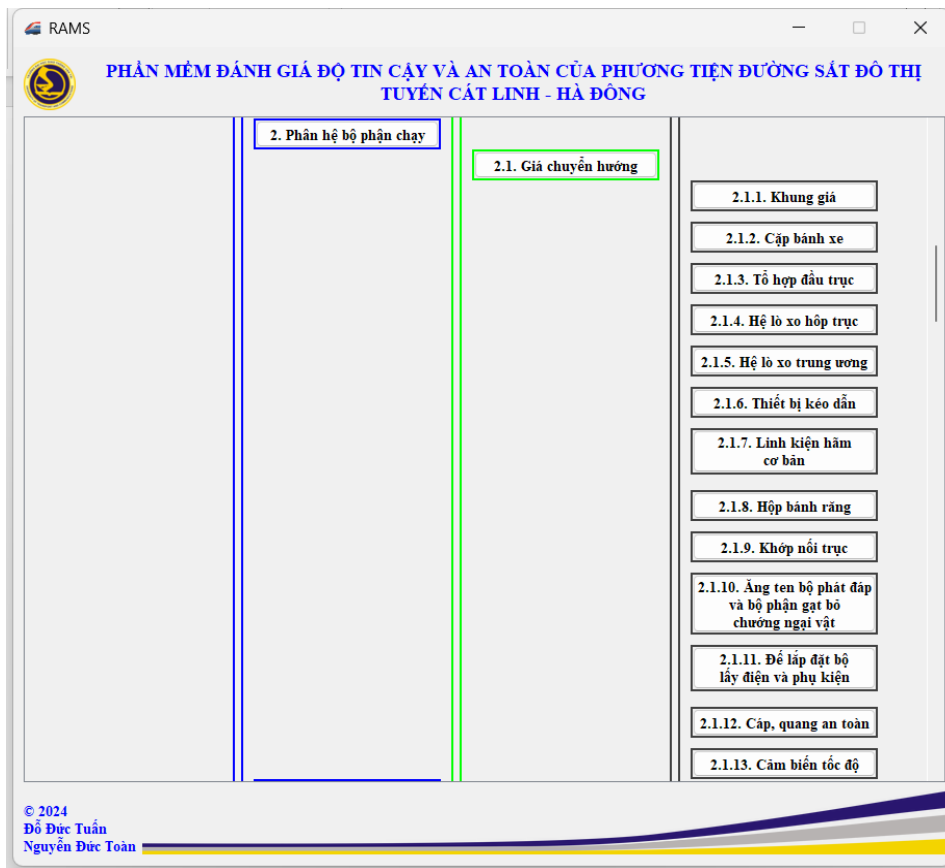
3.1. CÁC GIAO DIỆN CHÍNH CỦA PHẦN MỀM

3.1.1. Giao diện tổng quát của phương tiện, các phân hệ, các tiểu phân hệ và các phần tử

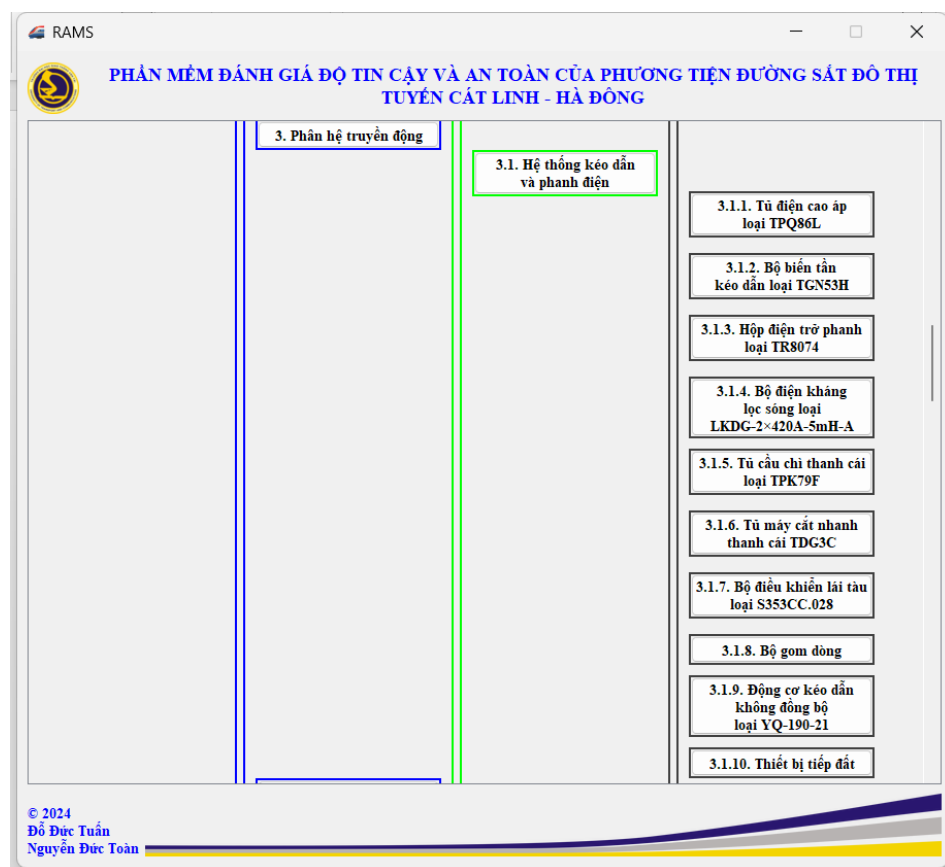
Giao diện tổng quát của phương tiện, các phân hệ, các tiểu phân hệ và các phần tử thể hiện trên các Hình 3.1 - 3.6.



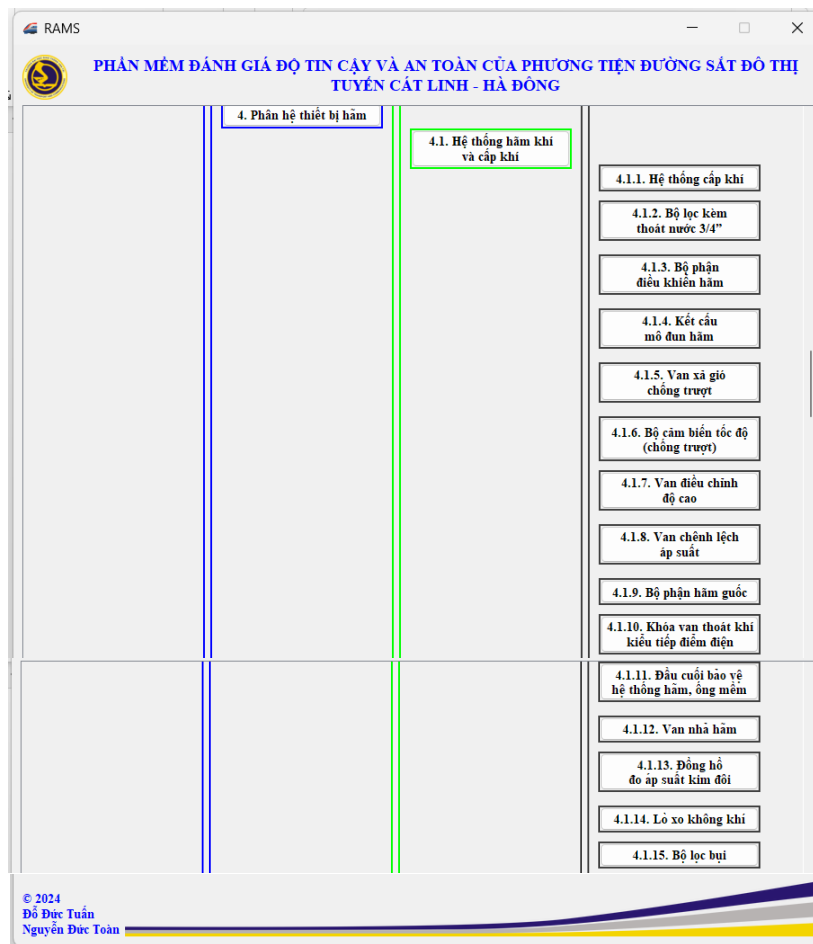
Hình 3.1. Giao diện phân hệ thân xe



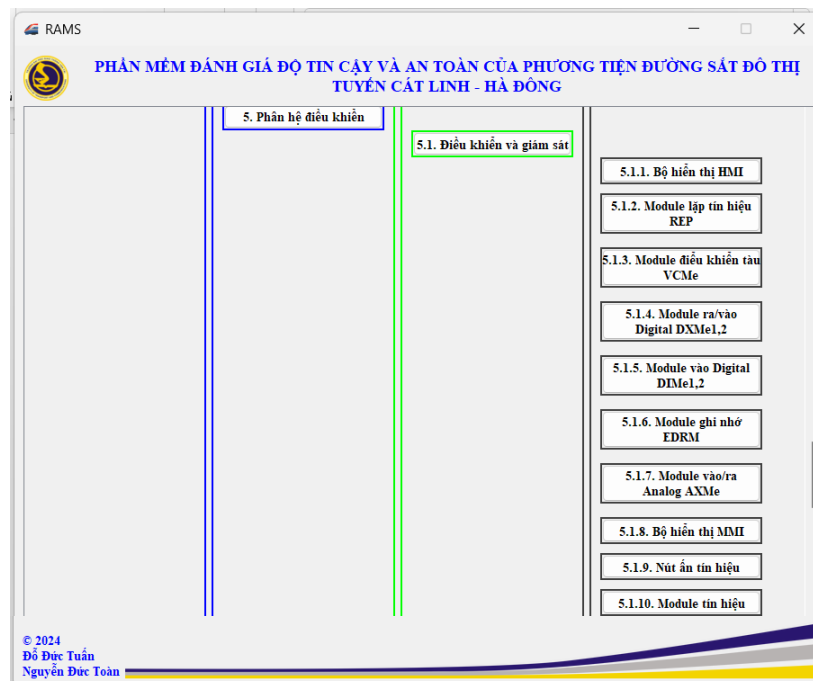
Hình 3.2. Giao diện phân hệ bộ phận chạy



Hình 3.3. Giao diện phân hệ truyền động



Hình 3.4. Giao diện phân hệ thiết bị hãm



Hình 3.5. Giao diện phân hệ điều khiển

RAMS


**PHẦN MỀM ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY VÀ AN TOÀN CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ
TUYẾN CÁT LINH - HÀ ĐỒNG**

6. Phân hệ thiết bị phụ

6.1. Hệ thống nguồn điện phụ trợ

6.2. Hệ thống điều hòa

6.3. Hệ thống điện buồng lái

6.4. Hệ thống điện khoang khách

6.5. Hệ thống phát thanh đoàn tàu

6.6. Thiết bị thông tin vô tuyến

6.1.1. Nguồn điện phụ trợ (SIV)

6.1.2. Tủ cao áp phụ trợ

6.1.3. Tủ cấp điện mở rộng

6.1.4. Tủ cầu dao tiếp đất

6.1.5. Ấc quy

6.1.6. Bộ nghịch lưu thông gió khẩn cấp

6.2.1. Tổ máy điều hòa toa khách

6.2.2. Bộ thông gió buồng lái

6.2.3. Quạt gió hướng tâm

6.2.4. Thiết bị bảo vệ an toàn

6.3.1. Bàn lái tàu

6.3.2. Tủ điều khiển

6.3.3. Tủ tổng hợp

6.3.4. Màn hình bên trái

6.3.5. Màn hình bên phải

6.3.6. Đèn chiếu trước

6.3.7. Bộ gạt nước

6.4.1. Chiếu sáng khoang khách

6.4.2. Thiết bị hệ thống phát thanh toa xe

6.4.3. Đèn báo phía ngoài toa xe

6.4.4. Thiết bị đầu nối điều hòa

6.4.5. Tủ điều khiển điện

6.4.6. Tủ điều khiển

6.4.6. Tủ điều khiển điều hòa

6.5.1. Tổ hợp thiết bị hệ thống

6.5.2. Đầu nối điện

6.6.1. Giới thiệu MDT-300

6.6.2. Kết cấu cơ bản

6.6.3. Máy chính

6.6.4. Hộp điều khiển

6.6.5. Ăng ten

© 2024

Đỗ Đức Tuấn

Nguyễn Đức Toàn

Hình 3.6. Giao diện phân hệ thiết bị phụ

3.1.2. Giao diện tổng quát tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện, các phân hệ, các tiểu phân hệ và các phần tử

Giao diện tổng quát tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và an toàn của phương tiện, các phân hệ, các tiểu phân hệ và các phần tử thể hiện trên các Hình 3.7 - 3.18.

PHƯƠNG TIỆN

Độ tin cậy | An toàn | Trạng thái giới hạn

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Thời gian làm việc trung bình $E(T_s)$ (h)	
Thời gian phục hồi trung bình $E(\tau_s)$ (h)	
Cường độ hỏng λ_s (1/h)	
Cường độ phục hồi μ_s (1/h)	
Hệ số sẵn sàng S_s	
Hệ số không sẵn sàng K_s	
Hàm sẵn sàng $S_s(t)$	S Đồ thị <math>S_s(t)</math>
Hàm không sẵn sàng $K_s(t)$	K Đồ thị <math>K_s(t)</math>

Hình 3.7. Giao diện tính toán độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của hệ thống (phương tiện)

PHƯƠNG TIỆN

Độ tin cậy | **An toàn** | Trạng thái giới hạn

Các chỉ tiêu đánh giá về an toàn

Tổng số người chết		Tổng số tai nạn đặc biệt nghiêm trọng (mức 1)	
Tổng số người bị thương nặng		Tần suất tai nạn đặc biệt nghiêm trọng (1/h)	
Tổng số người bị thương nhẹ		Tổng số tai nạn rất nghiêm trọng (mức 2)	
Tổng thiệt hại tài sản (triệu đồng)		Tần suất tai nạn rất nghiêm trọng (1/h)	
		Tổng số tai nạn nghiêm trọng (mức 3)	
		Tần suất tai nạn nghiêm trọng (1/h)	
		Tổng số tai nạn ít nghiêm trọng (mức 4)	
		Tần suất tai nạn ít nghiêm trọng (1/h)	
		Tổng số tai nạn không nghiêm trọng (mức 5)	
		Tần suất tai nạn không nghiêm trọng (1/h)	

Hình 3.8. Giao diện tính toán về an toàn của hệ thống (phương tiện)

Số liệu Đoàn tàu Toa xe Thời gian Chức năng

PHƯƠNG TIỆN

Độ tin cậy An toàn **Trạng thái giới hạn**

$\lambda_{1 \rightarrow 3}^{(1)} =$ (1/h)

$\mu_{3 \rightarrow 1}^{(1)} =$ (1/h)

$\lambda_{1 \rightarrow 5}^{(2)} =$ (1/h)

$\mu_{5 \rightarrow 1}^{(2)} =$ (1/h)

$\lambda_{1 \rightarrow 7}^{(3)} =$ (1/h)

$\mu_{7 \rightarrow 1}^{(3)} =$ (1/h)

$\lambda_{1 \rightarrow 9}^{(4)} =$ (1/h)

$\mu_{9 \rightarrow 1}^{(4)} =$ (1/h)

$\lambda_{1 \rightarrow 11}^{(5)} =$ (1/h)

$\mu_{11 \rightarrow 1}^{(5)} =$ (1/h)

$\lambda_{1 \rightarrow 13}^{(6)} =$ (1/h)

$\mu_{13 \rightarrow 1}^{(6)} =$ (1/h)

$P_1 =$

$P_3^{(1)} =$

$P_5^{(2)} =$

$P_7^{(3)} =$

$P_9^{(4)} =$

$P_{11}^{(5)} =$

$P_{13}^{(6)} =$

Hình 3.9. Giao diện tính toán trạng thái giới hạn của hệ thống (phương tiện)

Số liệu Đoàn tàu Toa xe Thời gian Chức năng

1. PHÂN HỆ THÂN XE

Độ tin cậy An toàn

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Thời gian làm việc trung bình $E(T_s)$ (h)

Thời gian phục hồi trung bình $E(\tau_s)$ (h)

Cường độ hỏng λ_s (1/h)

Cường độ phục hồi μ_s (1/h)

Hệ số sẵn sàng S_s

Hệ số không sẵn sàng K_s

Hàm sẵn sàng $S_s(t)$

Hàm không sẵn sàng $K_s(t)$

Hình 3.10. Giao diện tính toán độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phân hệ

Số liệu Đoàn tàu Toa xe Thời gian Chức năng

1. PHÂN HỆ THÂN XE

Độ tin cậy

An toàn

Các chỉ tiêu đánh giá về an toàn

Tổng số người chết

Tổng số người bị thương nặng

Tổng số người bị thương nhẹ

Tổng thiệt hại tài sản (triệu đồng)

Tổng số tai nạn đặc biệt nghiêm trọng (mức 1)

Tần suất tai nạn đặc biệt nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn rất nghiêm trọng (mức 2)

Tần suất tai nạn rất nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn nghiêm trọng (mức 3)

Tần suất tai nạn nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn ít nghiêm trọng (mức 4)

Tần suất tai nạn ít nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn không nghiêm trọng (mức 5)

Tần suất tai nạn không nghiêm trọng (1/h)

Hình 3.11. Giao diện tính toán về an toàn của phân hệ

Số liệu Đoàn tàu Toa xe Thời gian Chức năng

1.1. THÂN TÀU VÀ TRẠNG TRÍ NỘI THẤT

Độ tin cậy

An toàn

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Thời gian làm việc trung bình $E(T_s)$ (h)

Thời gian phục hồi trung bình $E(\tau_s)$ (h)

Cường độ hỏng λ_s (1/h)

Cường độ phục hồi μ_s (1/h)

Hệ số sẵn sàng S_s

Hệ số không sẵn sàng K_s

Hàm sẵn sàng $S_s(t)$

S

Đồ thị $S_s(t)$

Hàm không sẵn sàng $K_s(t)$

K

Đồ thị $K_s(t)$

Hình 3.12. Giao diện tính toán độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của tiểu phân hệ

69

Số liệu Đoàn tàu Toa xe Thời gian Chức năng

1.1. THÂN TÀU VÀ TRANG TRÍ NỘI THẤT

Độ tin cậy

An toàn

Các chỉ tiêu đánh giá về an toàn

Tổng số người chết

Tổng số người bị thương nặng

Tổng số người bị thương nhẹ

Tổng thiệt hại tài sản (triệu đồng)

Tổng số tai nạn đặc biệt nghiêm trọng (mức 1)

Tần suất tai nạn đặc biệt nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn rất nghiêm trọng (mức 2)

Tần suất tai nạn rất nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn nghiêm trọng (mức 3)

Tần suất tai nạn nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn ít nghiêm trọng (mức 4)

Tần suất tai nạn ít nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn không nghiêm trọng (mức 5)

Tần suất tai nạn không nghiêm trọng (1/h)

Hình 3.13. Giao diện tính toán về an toàn của tiểu phân hệ

Số liệu Đoàn tàu Toa xe Thời gian Chức năng

1.1.1. THÂN TÀU

Độ tin cậy

An toàn

Số liệu

ID	Số liệu	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	t (h)	τ (h)

ID

Thêm

Số liệu

Trên tuyến

Xóa

Đoàn tàu

HN001

Toa xe

Tc1

Sửa

Ngày

28-08-2024

Lưu

Thời gian làm việc t (h)

Hủy

Thời gian phục hồi t (h)

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Thời gian làm việc trung bình giữa các lần hỏng a_t (h)

Thời gian phục hồi trung bình a_r (h)

Cường độ hỏng λ (1/h)

Cường độ phục hồi μ (1/h)

Hệ số sẵn sàng S

Hệ số không sẵn sàng K

Hàm mật độ phân bố xác suất thời gian làm việc giữa các lần hỏng f(t)

T Đồ thị f(t)

Hàm mật độ phân bố xác suất thời gian phục hồi f(τ)

T Đồ thị f(τ)

Hàm sẵn sàng S(t)

S Đồ thị S(t)

Hàm không sẵn sàng K(t)

K Đồ thị K(t)

Không có số liệu nào trong bảng

Hình 0.14. Giao diện tính toán độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng của phân tử

70

Số liệu Đoàn tàu Toa xe Thời gian Chức năng

1.1.1. THÂN TÀU

Độ tin cậy An toàn

Số liệu

ID	Số liệu	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	Số người chết	Số người bị thương nặng	Số người bị thương nhẹ	Thiệt hại tài sản (triệu đồng)	Mức độ nghiêm trọng

ID

Số người chết

Thêm

Số liệu

Trên tuyến

Xóa

Đoàn tàu

HN001

Số người bị thương nặng

Sửa

Toa xe

Tc1

Số người bị thương nhẹ

Lưu

Ngày

Thiệt hại tài sản (triệu đồng)

Hủy

Các chỉ tiêu đánh giá về an toàn

Tổng số người chết

Tổng số người bị thương nặng

Tổng số người bị thương nhẹ

Tổng thiệt hại tài sản (triệu đồng)

Tổng số tai nạn đặc biệt nghiêm trọng (mức 1)

Tần suất tai nạn đặc biệt nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn rất nghiêm trọng (mức 2)

Tần suất tai nạn rất nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn nghiêm trọng (mức 3)

Tần suất tai nạn nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn ít nghiêm trọng (mức 4)

Tần suất tai nạn ít nghiêm trọng (1/h)

Tổng số tai nạn không nghiêm trọng (mức 5)

Tần suất tai nạn không nghiêm trọng (1/h)

Không có số liệu nào trong bảng

Hình 3.15. Giao diện tính toán về an toàn của phần tử

Số liệu Đoàn tàu Toa xe Trục số Phía Giới hạn Thời gian Chức năng

2.1.2. CẬP BÁNH 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

Số liệu

ID	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	Trục số	Phía	L (km)	I _{ml} (mm)	c (mm/10 ⁵ km)

ID

Đoàn tàu

Toa xe

Ngày

Trục số

Phía

Thêm

Đoàn tàu

HN001

Xóa

Toa xe

Tc1

Sửa

Ngày

Trục số

Phía

Lưu

Quãng đường chạy L (km)

Độ mòn I_{ml} (mm)

Hủy

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Kỳ vọng toán học a(c) (mm/10⁵ km)

Độ lệch chuẩn σ(c) (mm/10⁵ km)

Hệ số biến động v(c)

Thời hạn làm việc t_{γ=50%} (10⁵ km)

Thời hạn làm việc t_{γ=90%} (10⁵ km)

Thời hạn làm việc t_{γ=99,99%} (10⁵ km)

Hàm mật độ phân bố xác suất f(c)

Hàm độ tin cậy P(t)

Hàm độ tin cậy P(t)

Hàm xác suất hỏng Q(t)

Hàm độ tin cậy Q(t)

Không có số liệu nào trong bảng

Hình 3.16. Giao diện tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn bánh xe (đối với phần tử: Cặp bánh xe)

Số liệu

Đoàn tàu

Toa xe

Trục số

Phía

Giới hạn

Thời gian

Chức năng

2.1.2. CẬP BÁNH 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

Số liệu

ID	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	Trục số	Phía	L (km)	I _{gb} (mm)	c (mm/10 ⁵ km)
----	----------	--------	------	---------	------	--------	----------------------	---------------------------

ID

Đoàn tàu

Toa xe

Ngày

Trục số

Phía

Quãng đường chạy L (km)

Độ mòn I_{gb} (mm)

Thêm

Xóa

Sửa

Lưu

Hủy

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Kỷ vọng toán học a(c) (mm/10⁵ km)

Độ lệch chuẩn σ(c) (mm/10⁵ km)

Hệ số biến động v(c)

Thời hạn làm việc t_{γ=50%} (10⁵ km)

Thời hạn làm việc t_{γ=90%} (10⁵ km)

Thời hạn làm việc t_{γ=99,99%} (10⁵ km)

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)

Không có số liệu nào trong bảng

Hình 3.17. Giao diện tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh xe (đối với phân tử: Cặp bánh xe)

Số liệu

Đoàn tàu

Toa xe

Trục số

Phía

Giới hạn

Thời gian

Chức năng

2.1.2. CẬP BÁNH 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

Số liệu

ID	Đoàn tàu	Toa xe	Ngày	Trục số	Phía	L (km)	ΔH _{gb} (mm)	c (mm/10 ⁵ km)
----	----------	--------	------	---------	------	--------	-----------------------	---------------------------

ID

Đoàn tàu

Toa xe

Ngày

Trục số

Phía

Quãng đường chạy L (km)

Độ gia tăng ΔH_{gb} (mm)

Thêm

Xóa

Sửa

Lưu

Hủy

Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy

Kỷ vọng toán học a(c) (mm/10⁵ km)

Độ lệch chuẩn σ(c) (mm/10⁵ km)

Hệ số biến động v(c)

Thời hạn làm việc t_{γ=50%} (10⁵ km)

Thời hạn làm việc t_{γ=90%} (10⁵ km)

Thời hạn làm việc t_{γ=99,99%} (10⁵ km)

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)

Không có số liệu nào trong bảng

Hình 0.18. Giao diện tính toán độ tin cậy và thời hạn làm việc của bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe (đối với phân tử: Cặp bánh xe)

72

3.2. MÃ NGUỒN CỦA PHẦN MỀM

Tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy của phương tiện

```
private void XLSL_DTC() {
    try {
        // Inputs
        // Get So lieu
        if(jCheckBoxMenuItem18.isSelected()){
            ChonSoLieuTrenTuyen = "Trên tuyến";
            SoLieuTrenTuyen = " - Trên tuyến";
        }else{
            ChonSoLieuTrenTuyen = "";
            SoLieuTrenTuyen = "";
        }

        if(jCheckBoxMenuItem19.isSelected()){
            ChonSoLieuTaiDepot = "Tại Depot";
            SoLieuTaiDepot = " - Tại Depot";
        }else{
            ChonSoLieuTaiDepot = "";
            SoLieuTaiDepot = "";
        }

        // Get Doan tau
        if(jCheckBoxMenuItem1.isSelected()){
            ChonDoanTauHN001 = "HN001";
            DoanTauHN001 = " - HN001";
        }else{
            ChonDoanTauHN001 = "";
            DoanTauHN001 = "";
        }

        if(jCheckBoxMenuItem2.isSelected()){
            ChonDoanTauHN002 = "HN002";
            DoanTauHN002 = " - HN002";
        }else{
            ChonDoanTauHN002 = "";
            DoanTauHN002 = "";
        }

        if(jCheckBoxMenuItem3.isSelected()){
            ChonDoanTauHN003 = "HN003";
            DoanTauHN003 = " - HN003";
        }else{
            ChonDoanTauHN003 = "";
            DoanTauHN003 = "";
        }

        if(jCheckBoxMenuItem4.isSelected()){
            ChonDoanTauHN004 = "HN004";
            DoanTauHN004 = " - HN004";
        }else{
            ChonDoanTauHN004 = "";
            DoanTauHN004 = "";
        }
    }
}
```

```

if(jCheckBoxMenuItem5.isSelected()){
    ChonDoanTauHN005 = "HN005";
    DoanTauHN005 = " - HN005";
}else{
    ChonDoanTauHN005 = "";
    DoanTauHN005 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem6.isSelected()){
    ChonDoanTauHN006 = "HN006";
    DoanTauHN006 = " - HN006";
}else{
    ChonDoanTauHN006 = "";
    DoanTauHN006 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem7.isSelected()){
    ChonDoanTauHN007 = "HN007";
    DoanTauHN007 = " - HN007";
}else{
    ChonDoanTauHN007 = "";
    DoanTauHN007 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem8.isSelected()){
    ChonDoanTauHN008 = "HN008";
    DoanTauHN008 = " - HN008";
}else{
    ChonDoanTauHN008 = "";
    DoanTauHN008 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem9.isSelected()){
    ChonDoanTauHN009 = "HN009";
    DoanTauHN009 = " - HN009";
}else{
    ChonDoanTauHN009 = "";
    DoanTauHN009 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem10.isSelected()){
    ChonDoanTauHN010 = "HN010";
    DoanTauHN010 = " - HN010";
}else{
    ChonDoanTauHN010 = "";
    DoanTauHN010 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem11.isSelected()){
    ChonDoanTauHN011 = "HN011";
    DoanTauHN011 = " - HN011";
}else{
    ChonDoanTauHN011 = "";
    DoanTauHN011 = "";
}

```

```

if(jCheckBoxMenuItem12.isSelected()){
    ChonDoanTauHN012 = "HN012";
    DoanTauHN012 = " - HN012";
}else{
    ChonDoanTauHN012 = "";
    DoanTauHN012 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem13.isSelected()){
    ChonDoanTauHN013 = "HN013";
    DoanTauHN013 = " - HN013";
}else{
    ChonDoanTauHN013 = "";
    DoanTauHN013 = "";
}

// Get Toa xe
if(jCheckBoxMenuItem14.isSelected()){
    ChonToaXeTc1 = "Tc1";
    ToaXeTc1 = " - Tc1";
}else{
    ChonToaXeTc1 = "";
    ToaXeTc1 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem15.isSelected()){
    ChonToaXeM0 = "M0";
    ToaXeM0 = " - M0";
}else{
    ChonToaXeM0 = "";
    ToaXeM0 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem16.isSelected()){
    ChonToaXeM1 = "M1";
    ToaXeM1 = " - M1";
}else{
    ChonToaXeM1 = "";
    ToaXeM1 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem17.isSelected()){
    ChonToaXeTc2 = "Tc2";
    ToaXeTc2 = " - Tc2";
}else{
    ChonToaXeTc2 = "";
    ToaXeTc2 = "";
}

// Processes
this.XLSL_DTC_STEP1();
// DUA SO LIEU VAO FrameData0_DTC
DisplayFrameData0_DTC.jLabel2.setText("Số liệu:" + SoLieuTrenTuyen +
SoLieuTaiDepot);
DisplayFrameData0_DTC.jLabel3.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 +
DoanTauHN002 + DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 +

```

```

DoanTauHN007 + DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 +
DoanTauHN012 + DoanTauHN013);
    DisplayFrameData0_DTC.jLabel4.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 + ToaXeM1
+ ToaXeTc2);
    SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("dd-MM-yyyy");
    SimpleDateFormat sdf2 = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd");
    Date ngayDataBatDau, ngayDataKetThuc;
    String ngayTableBatDau, ngayTableKetThuc;
    ngayDataBatDau = sdf2.parse(Frame0.ngayBatDau);
    ngayTableBatDau = sdf.format(ngayDataBatDau);
    ngayDataKetThuc = sdf2.parse(Frame0.ngayKetThuc);
    ngayTableKetThuc = sdf.format(ngayDataKetThuc);
    DisplayFrameData0_DTC.jLabel5.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " +
ngayTableBatDau);
    DisplayFrameData0_DTC.jLabel6.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

    // Get table model của jTable1 của FrameData0_DTC
    DefaultTableModel tblModel1 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameData0_DTC.jTable1.getModel();
    tblModel1.setColumnCount(0);
    tblModel1.setRowCount(0);

    // Them vao 9 cot du lieu
    tblModel1.addColumn("TT");
    tblModel1.addColumn("Phần tử");
    tblModel1.addColumn("ID");
    tblModel1.addColumn("Số liệu");
    tblModel1.addColumn("Đoàn tàu");
    tblModel1.addColumn("Toa xe");
    tblModel1.addColumn("Ngày");
    tblModel1.addColumn("t (h)");
    tblModel1.addColumn("τ (h)");
    this.XLSL_DTC_STEP2_1();
    this.XLSL_DTC_STEP2_2();
    this.XLSL_DTC_STEP2_3();
    this.XLSL_DTC_STEP2_4();
    this.XLSL_DTC_STEP2_5();
    this.XLSL_DTC_STEP2_6();
    // Hien thi tong so so lieu
    int TSSL = DisplayFrameData0_DTC.jTable1.getRowCount();
    DisplayFrameData0_DTC.jLabel7.setText("Tổng số số liệu: " + Integer.toString(TSSL));

    // Dinh dang cac cot tieu de trong bang
    int soCot = 9;
    for (int j = 0; j < soCot; j++) {

DisplayFrameData0_DTC.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
    }
    // Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
    DefaultTableCellRenderer centerRenderer = new DefaultTableCellRenderer();
    centerRenderer.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
    for (int j = 0; j < soCot; j++) {

DisplayFrameData0_DTC.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerRenderer);

```

```

    }
    // Cai dat chieu cao cua cac hang
    //jTable1.setRowHeight(20);
    // Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
    //TableModel                                columnModel                                =
DisplayFrameData0_DTC jTable1.getColumnModel();
    //columnModel.getColumnModel(0).setWidth(10);
    //columnModel.getColumnModel(0).setPreferredWidth(10);
    // Khong cho phep sua bang
    DisplayFrameData0_DTC jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);
    // XU LY SO LIEU
    // Process
    double gamma_s_1 = 0;
    double gamma_s_2 = 0;
    double gamma_s_3 = 0;
    double gamma_s_4 = 0;
    double gamma_s_5 = 0;
    double gamma_s_6 = 0;
    double lambda_s = 0;
    double mu_s = 0;
    double S_s = 0;
    double K_s = 0;
    double E_T_s = 0;
    double E_tau_s = 0;

    if (mu_s_1 == 0 && mu_s_2 == 0 && mu_s_3 == 0 && mu_s_4 == 0 && mu_s_5 == 0 &&
mu_s_6 == 0) {
        jTextField5.setText("");
        jTextField6.setText("");
        jTextField4.setText("");
        jTextField3.setText("");
        jTextField7.setText("");
        jTextField8.setText("");
    } else {
        if (mu_s_1 > 0) {
            gamma_s_1 = lambda_s_1 / mu_s_1;
        } else

        if (mu_s_2 > 0) {
            gamma_s_2 = lambda_s_2 / mu_s_2;
        }

        if (mu_s_3 > 0) {
            gamma_s_3 = lambda_s_3 / mu_s_3;
        }

        if (mu_s_4 > 0) {
            gamma_s_4 = lambda_s_4 / mu_s_4;
        }

        if (mu_s_5 > 0) {
            gamma_s_5 = lambda_s_5 / mu_s_5;
        }

        if (mu_s_6 > 0) {
            gamma_s_6 = lambda_s_6 / mu_s_6;

```

```

    }

    lambda_s = lambda_s_1 + lambda_s_2 + lambda_s_3 + lambda_s_4 + lambda_s_5 +
lambda_s_6;
    mu_s = lambda_s / (gamma_s_1 + gamma_s_2 + gamma_s_3 + gamma_s_4 + gamma_s_5
+ gamma_s_6);
    S_s = mu_s / (lambda_s + mu_s);
    K_s = 1 - S_s;
    E_T_s = 1 / lambda_s;
    E_tau_s = 1 / mu_s;

    jTextField5.setText(String.format("%G", lambda_s));
    jTextField6.setText(String.format("%G", mu_s));
    jTextField4.setText(String.format("%G", E_T_s));
    jTextField3.setText(String.format("%G", E_tau_s));
    jTextField7.setText(String.format("%G", S_s));
    jTextField8.setText(String.format("%G", K_s));
}

// DUA SO LIEU VAO FrameKQ0_DTC
DisplayFrameKQ0_DTC.jLabel2.setText("Số    liệu:"    +    SoLieuTrenTuyen    +
SoLieuTaiDepot);
DisplayFrameKQ0_DTC.jLabel3.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 + DoanTauHN002
+ DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 + DoanTauHN007 +
DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 + DoanTauHN012 +
DoanTauHN013);
DisplayFrameKQ0_DTC.jLabel4.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 + ToaXeM1 +
ToaXeTc2);
DisplayFrameKQ0_DTC.jLabel5.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " +
ngayTableBatDau);
DisplayFrameKQ0_DTC.jLabel6.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

// Ham Ss(t)
double    TongLamdaMu    =    Double.parseDouble(jTextField5.getText())    +
Double.parseDouble(jTextField6.getText());
String ham_Ss_t = String.format("%G", S_s) + " + " + String.format("%G", K_s) + " exp(" +
String.format("%G", -TongLamdaMu) + " t)";
// Ham Ks(t)
String ham_Ks_t = String.format("%G", K_s) + " - " + String.format("%G", K_s) + " exp(" +
String.format("%G", -TongLamdaMu) + " t)";

int soCot2 = 4;
int soHang2 = 8;

// Data to be displayed in the JTable
Object[][] data2 = new Object[soHang2][soCot2];

// Du lieu cot 0: TT
data2[0][0] = "1";
data2[1][0] = "2";
data2[2][0] = "3";
data2[3][0] = "4";
data2[4][0] = "5";
data2[5][0] = "6";
data2[6][0] = "7";

```

```

data2[7][0] = "8";

// Du lieu cot 1: Thong so
data2[0][1] = "E(Ts)";
data2[1][1] = "E( $\tau$ )";
data2[2][1] = " $\lambda$ s";
data2[3][1] = " $\mu$ s";
data2[4][1] = "Ss";
data2[5][1] = "Ks";
data2[6][1] = "Ss(t)";
data2[7][1] = "Ks( $\tau$ )";

// Du lieu cot 2: Gia tri
data2[0][2] = String.format("%G", E_T_s);
data2[1][2] = String.format("%G", E_tau_s);
data2[2][2] = String.format("%G", lambda_s);
data2[3][2] = String.format("%G", mu_s);
data2[4][2] = String.format("%G", S_s);
data2[5][2] = String.format("%G", K_s);
data2[6][2] = ham_Ss_t;
data2[7][2] = ham_Ks_t;

// Du lieu cot 3: Don vi
data2[0][3] = "h";
data2[1][3] = "h";
data2[2][3] = "1/h";
data2[3][3] = "1/h";
data2[4][3] = "";
data2[5][3] = "";
data2[6][3] = "";
data2[7][3] = "";

// Column Names
String[] cols2 = new String[soCot2];
cols2[0] = "TT";
cols2[1] = "Thông số";
cols2[2] = "Giá trị";
cols2[3] = "Đơn vị";

// Them du lieu vao table
// Get table model cua jTable1 cua FrameKQ1_1_1_DTC
DefaultTableModel tblModel2 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameKQ0_DTC.jTable1.getModel();
tblModel2.setRowCount(0);
tblModel2.setDataVector(data2, cols2);

Font fontChu = new Font("Times New Roman", Font.BOLD, 16);
DisplayFrameKQ0_DTC.jTable1.setFont(fontChu);

// Dinh dang cac cot tieu de trong bang
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ0_DTC.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
}
// Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang

```

```

DefaultTableCellRenderer centerRenderer2 = new DefaultTableCellRenderer();
centerRenderer2.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ0_DTC.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerRenderer);
}
// Cai dat chieu cao cua cac hang
DisplayFrameKQ0_DTC.jTable1.setRowHeight(23);
// Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
TableColumnModel columnModel2 = DisplayFrameKQ0_DTC.jTable1.getColumnModel();
columnModel2.getColumnModel(0).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel(0).setPreferredWidth(5);

columnModel2.getColumnModel(1).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel(1).setPreferredWidth(5);

columnModel2.getColumnModel(2).setWidth(400);
columnModel2.getColumnModel(2).setPreferredWidth(400);

columnModel2.getColumnModel(3).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel(3).setPreferredWidth(5);
// Khong cho phep sua bang
DisplayFrameKQ0_DTC.jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);

// CAP NHAT STATUS
jLabel2.setText("Đã tính toán và cập nhật số liệu");
}
} catch (Exception e) {
jLabel2.setText("Lỗi khi xử lý số liệu: " + e.toString());
}
}
}

```

Tính toán các chỉ tiêu về an toàn của phương tiện

```

private void XLSL_AT() {
try {
// Inputs
// Get So lieu
if (jCheckBoxMenuItem18.isSelected()) {
ChonSoLieuTrenTuyen = "Trên tuyến";
SoLieuTrenTuyen = " - Trên tuyến";
} else {
ChonSoLieuTrenTuyen = "";
SoLieuTrenTuyen = "";
}

if (jCheckBoxMenuItem19.isSelected()) {
ChonSoLieuTaiDepot = "Tại Depot";
SoLieuTaiDepot = " - Tại Depot";
} else {
ChonSoLieuTaiDepot = "";
SoLieuTaiDepot = "";
}

// Get Doan tau
if (jCheckBoxMenuItem1.isSelected()) {
ChonDoanTauHN001 = "HN001";
}
}
}

```

```

        DoanTauHN001 = " - HN001";
    } else {
        ChonDoanTauHN001 = "";
        DoanTauHN001 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem2.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN002 = "HN002";
        DoanTauHN002 = " - HN002";
    } else {
        ChonDoanTauHN002 = "";
        DoanTauHN002 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem3.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN003 = "HN003";
        DoanTauHN003 = " - HN003";
    } else {
        ChonDoanTauHN003 = "";
        DoanTauHN003 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem4.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN004 = "HN004";
        DoanTauHN004 = " - HN004";
    } else {
        ChonDoanTauHN004 = "";
        DoanTauHN004 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem5.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN005 = "HN005";
        DoanTauHN005 = " - HN005";
    } else {
        ChonDoanTauHN005 = "";
        DoanTauHN005 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem6.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN006 = "HN006";
        DoanTauHN006 = " - HN006";
    } else {
        ChonDoanTauHN006 = "";
        DoanTauHN006 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem7.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN007 = "HN007";
        DoanTauHN007 = " - HN007";
    } else {
        ChonDoanTauHN007 = "";
        DoanTauHN007 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem8.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN008 = "HN008";

```

```

        DoanTauHN008 = " - HN008";
    } else {
        ChonDoanTauHN008 = "";
        DoanTauHN008 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem9.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN009 = "HN009";
        DoanTauHN009 = " - HN009";
    } else {
        ChonDoanTauHN009 = "";
        DoanTauHN009 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem10.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN010 = "HN010";
        DoanTauHN010 = " - HN010";
    } else {
        ChonDoanTauHN010 = "";
        DoanTauHN010 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem11.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN011 = "HN011";
        DoanTauHN011 = " - HN011";
    } else {
        ChonDoanTauHN011 = "";
        DoanTauHN011 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem12.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN012 = "HN012";
        DoanTauHN012 = " - HN012";
    } else {
        ChonDoanTauHN012 = "";
        DoanTauHN012 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem13.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN013 = "HN013";
        DoanTauHN013 = " - HN013";
    } else {
        ChonDoanTauHN013 = "";
        DoanTauHN013 = "";
    }

    // Get Toa xe
    if (jCheckBoxMenuItem14.isSelected()) {
        ChonToaXeTc1 = "Tc1";
        ToaXeTc1 = " - Tc1";
    } else {
        ChonToaXeTc1 = "";
        ToaXeTc1 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem15.isSelected()) {

```

```

        ChonToaXeM0 = "M0";
        ToaXeM0 = " - M0";
    } else {
        ChonToaXeM0 = "";
        ToaXeM0 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem16.isSelected()) {
        ChonToaXeM1 = "M1";
        ToaXeM1 = " - M1";
    } else {
        ChonToaXeM1 = "";
        ToaXeM1 = "";
    }

    if (jCheckBoxMenuItem17.isSelected()) {
        ChonToaXeTc2 = "Tc2";
        ToaXeTc2 = " - Tc2";
    } else {
        ChonToaXeTc2 = "";
        ToaXeTc2 = "";
    }
}

// Processes
this.XLSL_AT_STEP1();
// DUA SO LIEU VAO FrameData0_AT
DisplayFrameData0_AT.jLabel2.setText("Số liệu:" + SoLieuTrenTuyen + SoLieuTaiDepot);
DisplayFrameData0_AT.jLabel3.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 + DoanTauHN002
+ DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 + DoanTauHN007 +
DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 + DoanTauHN012 +
DoanTauHN013);
DisplayFrameData0_AT.jLabel4.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 + ToaXeM1 +
ToaXeTc2);
SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("dd-MM-yyyy");
SimpleDateFormat sdf2 = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd");
Date ngayDataBatDau, ngayDataKetThuc;
String ngayTableBatDau, ngayTableKetThuc;
ngayDataBatDau = sdf2.parse(Frame0.ngayBatDau);
ngayTableBatDau = sdf.format(ngayDataBatDau);
ngayDataKetThuc = sdf2.parse(Frame0.ngayKetThuc);
ngayTableKetThuc = sdf.format(ngayDataKetThuc);
DisplayFrameData0_AT.jLabel5.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " + ngayTableBatDau);
DisplayFrameData0_AT.jLabel6.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

// Get table model của jTable1 của FrameData0_DTC
DefaultTableModel tblModel1 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameData0_AT.jTable1.getModel();
tblModel1.setColumnCount(0);
tblModel1.setRowCount(0);

// Them vao 12 cot du lieu
tblModel1.addColumn("TT");
tblModel1.addColumn("Phần tử");
tblModel1.addColumn("ID");
tblModel1.addColumn("Số liệu");
tblModel1.addColumn("Đoàn tàu");

```

```

tblModel1.addColumn("Toa xe");
tblModel1.addColumn("Ngày");
tblModel1.addColumn("<html><center>Số người<br>chết</center></html>");
tblModel1.addColumn("<html><center>Số người<br>bị thương<br>nặng</center></html>");
tblModel1.addColumn("<html><center>Số người<br>bị thương<br>nhẹ</center></html>");
tblModel1.addColumn("<html><center>Thiệt hại<br>tài sản<br>(triệu đồng)</center></html>");
tblModel1.addColumn("<html><center>Mức độ<br>ngghiêm<br>trọng</center></html>");
this.XLSL_AT_STEP2_1();
this.XLSL_AT_STEP2_2();
this.XLSL_AT_STEP2_3();
this.XLSL_AT_STEP2_4();
this.XLSL_AT_STEP2_5();
this.XLSL_AT_STEP2_6();
// Hien thi tong so so lieu
int TSSL = DisplayFrameData0_AT.jTable1.getRowCount();
DisplayFrameData0_AT.jLabel7.setText("Tổng số số liệu: " + Integer.toString(TSSL));

// Dinh dang cac cot tieu de trong bang
int soCot = 12;
for (int j = 0; j < soCot; j++) {

DisplayFrameData0_AT.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
}
// Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
DefaultTableCellRenderer centerRenderer = new DefaultTableCellRenderer();
centerRenderer.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
for (int j = 0; j < soCot; j++) {

DisplayFrameData0_AT.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerRenderer);
}
// Cai dat chieu cao cua cac hang
//jTable1.setRowHeight(20);
// Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
TableColumnModel columnModel = DisplayFrameData0_AT.jTable1.getColumnModel();
columnModel.getColumnModel().getColumn(0).setWidth(30);
columnModel.getColumnModel().getColumn(0).setPreferredWidth(30);

columnModel.getColumnModel().getColumn(1).setWidth(60);
columnModel.getColumnModel().getColumn(1).setPreferredWidth(60);

columnModel.getColumnModel().getColumn(2).setWidth(30);
columnModel.getColumnModel().getColumn(2).setPreferredWidth(30);

// Khong cho phep sua bang
DisplayFrameData0_AT.jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);

// XU LY SO LIEU
// Inputs
int soHang = DisplayFrameData0_AT.jTable1.getRowCount();
// Get So nguoi chet
double SoNguoiChet[] = new double[soHang];
for (int j = 0; j < soHang; j++) {
    SoNguoiChet[j] = Double.parseDouble(tblModel1.getValueAt(j, 7).toString());
}

```

```

    }
    // Get So nguoi bi thuong nang
    double SoNguoiBiThuongNang[] = new double[soHang];
    for (int j = 0; j < soHang; j++) {
        SoNguoiBiThuongNang[j] = Double.parseDouble(tblModel1.getValueAt(j, 8).toString());
    }
    // Get So nguoi bi thuong nhe
    double SoNguoiBiThuongNhe[] = new double[soHang];
    for (int j = 0; j < soHang; j++) {
        SoNguoiBiThuongNhe[j] = Double.parseDouble(tblModel1.getValueAt(j, 9).toString());
    }
    // Get Thiet hai tai san
    double ThietHaiTaiSan[] = new double[soHang];
    for (int j = 0; j < soHang; j++) {
        ThietHaiTaiSan[j] = Double.parseDouble(tblModel1.getValueAt(j, 10).toString());
    }

    // Processes
    // Tinh tong so nguoi chet
    int TSNguoiChet = (int) StatUtils.sum(SoNguoiChet);
    // Tinh tong so nguoi bi thuong nang
    int TSNguoiBiThuongNang = (int) StatUtils.sum(SoNguoiBiThuongNang);
    // Tinh tong so nguoi bi thuong nhe
    int TSNguoiBiThuongNhe = (int) StatUtils.sum(SoNguoiBiThuongNhe);
    // Tinh tong thiet hai tai san, trieu dong
    double TongThietHaiTaiSan = StatUtils.sum(ThietHaiTaiSan);
    // Tinh thong so tai nan lan luot cho cac muc 1 -> 5
    int TSTaiNanMuc1 = 0;
    int TSTaiNanMuc2 = 0;
    int TSTaiNanMuc3 = 0;
    int TSTaiNanMuc4 = 0;
    int TSTaiNanMuc5 = 0;
    for (int j = 0; j < soHang; j++) {
        if (Integer.valueOf(tblModel1.getValueAt(j, 11).toString()) == 1) {
            TSTaiNanMuc1 = TSTaiNanMuc1 + 1;
        }
        if (Integer.valueOf(tblModel1.getValueAt(j, 11).toString()) == 2) {
            TSTaiNanMuc2 = TSTaiNanMuc2 + 1;
        }
        if (Integer.valueOf(tblModel1.getValueAt(j, 11).toString()) == 3) {
            TSTaiNanMuc3 = TSTaiNanMuc3 + 1;
        }
        if (Integer.valueOf(tblModel1.getValueAt(j, 11).toString()) == 4) {
            TSTaiNanMuc4 = TSTaiNanMuc4 + 1;
        }
        if (Integer.valueOf(tblModel1.getValueAt(j, 11).toString()) == 5) {
            TSTaiNanMuc5 = TSTaiNanMuc5 + 1;
        }
    }
    // Tinh tan suat cac tai nan lan luot cho cac muc 1 -> 5
    MyFunctions HamHuuIch = new MyFunctions();
    double F1 = HamHuuIch.TanSuatTaiNan(TSTaiNanMuc1, Frame0.ngayBatDau,
    Frame0.ngayKetThuc);
    double F2 = HamHuuIch.TanSuatTaiNan(TSTaiNanMuc2, Frame0.ngayBatDau,
    Frame0.ngayKetThuc);

```

```

        double F3 = HamHuuIch.TanSuatTaiNan(TSTaiNanMuc3, Frame0.ngayBatDau,
Frame0.ngayKetThuc);
        double F4 = HamHuuIch.TanSuatTaiNan(TSTaiNanMuc4, Frame0.ngayBatDau,
Frame0.ngayKetThuc);
        double F5 = HamHuuIch.TanSuatTaiNan(TSTaiNanMuc5, Frame0.ngayBatDau,
Frame0.ngayKetThuc);

```

```

// Danh gia rui ro lan luot cho cac muc 1 -> 5 dung mau
Color DanhGia1 = HamHuuIch.DanhGiaRuiRoColor(1, F1);
Color DanhGia2 = HamHuuIch.DanhGiaRuiRoColor(2, F2);
Color DanhGia3 = HamHuuIch.DanhGiaRuiRoColor(3, F3);
Color DanhGia4 = HamHuuIch.DanhGiaRuiRoColor(4, F4);
Color DanhGia5 = HamHuuIch.DanhGiaRuiRoColor(5, F5);

```

```

// Danh gia rui ro lan luot cho cac muc 1 -> 5 dung chu
String DanhGia1TXT = HamHuuIch.DanhGiaRuiRoText(1, F1);
String DanhGia2TXT = HamHuuIch.DanhGiaRuiRoText(2, F2);
String DanhGia3TXT = HamHuuIch.DanhGiaRuiRoText(3, F3);
String DanhGia4TXT = HamHuuIch.DanhGiaRuiRoText(4, F4);
String DanhGia5TXT = HamHuuIch.DanhGiaRuiRoText(5, F5);

```

```

// Outputs
jTextField15.setText(String.format("%d", TSNguoiChet));
jTextField16.setText(String.format("%d", TSNguoiBiThuongNang));
jTextField17.setText(String.format("%d", TSNguoiBiThuongNhe));
jTextField18.setText(String.format("%G", TongThietHaiTaiSan));
jTextField19.setText(String.format("%d", TSTaiNanMuc1));

```

```

jTextField20.setText(String.format("%.3e", F1));
jTextField20.setBackground(DanhGia1);
jTextField20.setToolTipText(DanhGia1TXT);

```

```

jTextField21.setText(String.format("%d", TSTaiNanMuc2));

```

```

jTextField22.setText(String.format("%.3e", F2));
jTextField22.setBackground(DanhGia2);
jTextField22.setToolTipText(DanhGia2TXT);

```

```

jTextField23.setText(String.format("%d", TSTaiNanMuc3));

```

```

jTextField24.setText(String.format("%.3e", F3));
jTextField24.setBackground(DanhGia3);
jTextField24.setToolTipText(DanhGia3TXT);

```

```

jTextField25.setText(String.format("%d", TSTaiNanMuc4));

```

```

jTextField26.setText(String.format("%.3e", F4));
jTextField26.setBackground(DanhGia4);
jTextField26.setToolTipText(DanhGia4TXT);

```

```

jTextField27.setText(String.format("%d", TSTaiNanMuc5));

```

```

jTextField28.setText(String.format("%.3e", F5));
jTextField28.setBackground(DanhGia5);
jTextField28.setToolTipText(DanhGia5TXT);

```

```

// DUA SO LIEU VAO FrameKQ0_AT
DisplayFrameKQ0_AT.jLabel2.setText("Số liệu:" + SoLieuTrenTuyen + SoLieuTaiDepot);
DisplayFrameKQ0_AT.jLabel3.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 + DoanTauHN002 +
DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 + DoanTauHN007 +
DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 + DoanTauHN012 +
DoanTauHN013);
DisplayFrameKQ0_AT.jLabel4.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 + ToaXeM1 +
ToaXeTc2);
DisplayFrameKQ0_AT.jLabel5.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " + ngayTableBatDau);
DisplayFrameKQ0_AT.jLabel6.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

int soCot2 = 5;
int soHang2 = 14;

// Data to be displayed in the JTable
Object[][] data2 = new Object[soHang2][soCot2];

// Du lieu cot 0: TT
data2[0][0] = "1";
data2[1][0] = "2";
data2[2][0] = "3";
data2[3][0] = "4";
data2[4][0] = "5";
data2[5][0] = "6";
data2[6][0] = "7";
data2[7][0] = "8";
data2[8][0] = "9";
data2[9][0] = "10";
data2[10][0] = "11";
data2[11][0] = "12";
data2[12][0] = "13";
data2[13][0] = "14";

// Du lieu cot 1: Thong so
data2[0][1] = "Tổng số người chết";
data2[1][1] = "Tổng số người bị thương nặng";
data2[2][1] = "Tổng số người bị thương nhẹ";
data2[3][1] = "Tổng thiệt hại tài sản";
data2[4][1] = "Tổng số tai nạn đặc biệt nghiêm trọng";
data2[5][1] = "Tần suất tai nạn đặc biệt nghiêm trọng";
data2[6][1] = "Tổng số tai nạn rất nghiêm trọng";
data2[7][1] = "Tần suất tai nạn rất nghiêm trọng";
data2[8][1] = "Tổng số tai nạn nghiêm trọng";
data2[9][1] = "Tần suất tai nạn nghiêm trọng";
data2[10][1] = "Tổng số tai nạn ít nghiêm trọng";
data2[11][1] = "Tần suất tai nạn ít nghiêm trọng";
data2[12][1] = "Tổng số tai nạn không nghiêm trọng";
data2[13][1] = "Tần suất tai nạn không nghiêm trọng";

// Du lieu cot 2: Gia tri
data2[0][2] = String.format("%d", TSNguoiChet);
data2[1][2] = String.format("%d", TSNguoiBiThuongNang);
data2[2][2] = String.format("%d", TSNguoiBiThuongNhe);
data2[3][2] = String.format("%G", TongThietHaiTaiSan);
data2[4][2] = String.format("%d", TSTaiNanMuc1);

```

```

data2[5][2] = String.format("%.3e", F1);
data2[6][2] = String.format("%d", TSTaiNanMuc2);
data2[7][2] = String.format("%.3e", F2);
data2[8][2] = String.format("%d", TSTaiNanMuc3);
data2[9][2] = String.format("%.3e", F3);
data2[10][2] = String.format("%d", TSTaiNanMuc4);
data2[11][2] = String.format("%.3e", F4);
data2[12][2] = String.format("%d", TSTaiNanMuc5);
data2[13][2] = String.format("%.3e", F5);

// Du lieu cot 3: Don vi
data2[0][3] = "";
data2[1][3] = "";
data2[2][3] = "";
data2[3][3] = "triệu đồng";
data2[4][3] = "";
data2[5][3] = "1/h";
data2[6][3] = "";
data2[7][3] = "1/h";
data2[8][3] = "";
data2[9][3] = "1/h";
data2[10][3] = "";
data2[11][3] = "1/h";
data2[12][3] = "";
data2[13][3] = "1/h";

// Du lieu cot 4: Danh gia
data2[0][4] = "";
data2[1][4] = "";
data2[2][4] = "";
data2[3][4] = "";
data2[4][4] = "Mức 1";
data2[5][4] = DanhGia1TXT;
data2[6][4] = "Mức 2";
data2[7][4] = DanhGia2TXT;
data2[8][4] = "Mức 3";
data2[9][4] = DanhGia3TXT;
data2[10][4] = "Mức 4";
data2[11][4] = DanhGia4TXT;
data2[12][4] = "Mức 5";
data2[13][4] = DanhGia5TXT;

// Column Names
String[] cols2 = new String[soCot2];
cols2[0] = "TT";
cols2[1] = "Thông số";
cols2[2] = "Giá trị";
cols2[3] = "Đơn vị";
cols2[4] = "Đánh giá";

// Them du lieu vao table
// Get table model cua jTable1 cua FrameKQ0_AT
DefaultTableModel tblModel2 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameKQ0_AT.jTable1.getModel();
tblModel2.setRowCount(0);
tblModel2.setDataVector(data2, cols2);

```

```

Font fontChu = new Font("Times New Roman", Font.BOLD, 16);
DisplayFrameKQ0_AT.jTable1.setFont(fontChu);

// Dinh dang cac cot tieu de trong bang
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ0_AT.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
}
// Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
DefaultTableCellRenderer centerRenderer2 = new DefaultTableCellRenderer();
centerRenderer2.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ0_AT.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerRenderer);
}
// Cai dat chieu cao cua cac hang
DisplayFrameKQ0_AT.jTable1.setRowHeight(22);
// Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
TableColumnModel columnModel2 = DisplayFrameKQ0_AT.jTable1.getColumnModel();
columnModel2.getColumnModel().getColumn(0).setWidth(10);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(0).setPreferredWidth(10);

columnModel2.getColumnModel().getColumn(1).setWidth(320);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(1).setPreferredWidth(320);

columnModel2.getColumnModel().getColumn(4).setWidth(170);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(4).setPreferredWidth(170);
// Khong cho phep sua bang
DisplayFrameKQ0_AT.jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);

// CAP NHAT STATUS
jLabel2.setText("Đã tính toán và cập nhật số liệu");
}

} catch (Exception e) {
jLabel2.setText("Lỗi kết nối CSDL: " + e.toString());
}
}
}

```

Tính toán trạng thái giới hạn của phương tiện

```

private void XLSL_TTGH() {
try {
// Inputs
// Get So lieu
if(jCheckBoxMenuItem18.isSelected()){
ChonSoLieuTrenTuyen = "Trên tuyến";
SoLieuTrenTuyen = " - Trên tuyến";
}else{
ChonSoLieuTrenTuyen = "";
SoLieuTrenTuyen = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem19.isSelected()){
ChonSoLieuTaiDepot = "Tại Depot";
}
}
}

```

```

        SoLieuTaiDepot = " - Tại Depot";
    }else{
        ChonSoLieuTaiDepot = "";
        SoLieuTaiDepot = "";
    }

    // Get Doan tau
    if(jCheckBoxMenuItem1.isSelected()){
        ChonDoanTauHN001 = "HN001";
        DoanTauHN001 = " - HN001";
    }else{
        ChonDoanTauHN001 = "";
        DoanTauHN001 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem2.isSelected()){
        ChonDoanTauHN002 = "HN002";
        DoanTauHN002 = " - HN002";
    }else{
        ChonDoanTauHN002 = "";
        DoanTauHN002 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem3.isSelected()){
        ChonDoanTauHN003 = "HN003";
        DoanTauHN003 = " - HN003";
    }else{
        ChonDoanTauHN003 = "";
        DoanTauHN003 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem4.isSelected()){
        ChonDoanTauHN004 = "HN004";
        DoanTauHN004 = " - HN004";
    }else{
        ChonDoanTauHN004 = "";
        DoanTauHN004 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem5.isSelected()){
        ChonDoanTauHN005 = "HN005";
        DoanTauHN005 = " - HN005";
    }else{
        ChonDoanTauHN005 = "";
        DoanTauHN005 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem6.isSelected()){
        ChonDoanTauHN006 = "HN006";
        DoanTauHN006 = " - HN006";
    }else{
        ChonDoanTauHN006 = "";
        DoanTauHN006 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem7.isSelected()){

```

```

        ChonDoanTauHN007 = "HN007";
        DoanTauHN007 = " - HN007";
    }else{
        ChonDoanTauHN007 = "";
        DoanTauHN007 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem8.isSelected()){
        ChonDoanTauHN008 = "HN008";
        DoanTauHN008 = " - HN008";
    }else{
        ChonDoanTauHN008 = "";
        DoanTauHN008 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem9.isSelected()){
        ChonDoanTauHN009 = "HN009";
        DoanTauHN009 = " - HN009";
    }else{
        ChonDoanTauHN009 = "";
        DoanTauHN009 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem10.isSelected()){
        ChonDoanTauHN010 = "HN010";
        DoanTauHN010 = " - HN010";
    }else{
        ChonDoanTauHN010 = "";
        DoanTauHN010 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem11.isSelected()){
        ChonDoanTauHN011 = "HN011";
        DoanTauHN011 = " - HN011";
    }else{
        ChonDoanTauHN011 = "";
        DoanTauHN011 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem12.isSelected()){
        ChonDoanTauHN012 = "HN012";
        DoanTauHN012 = " - HN012";
    }else{
        ChonDoanTauHN012 = "";
        DoanTauHN012 = "";
    }

    if(jCheckBoxMenuItem13.isSelected()){
        ChonDoanTauHN013 = "HN013";
        DoanTauHN013 = " - HN013";
    }else{
        ChonDoanTauHN013 = "";
        DoanTauHN013 = "";
    }
}

```

// Get Toa xe

```

if(jCheckBoxMenuItem14.isSelected()){
    ChonToaXeTc1 = "Tc1";
    ToaXeTc1 = " - Tc1";
}else{
    ChonToaXeTc1 = "";
    ToaXeTc1 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem15.isSelected()){
    ChonToaXeM0 = "M0";
    ToaXeM0 = " - M0";
}else{
    ChonToaXeM0 = "";
    ToaXeM0 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem16.isSelected()){
    ChonToaXeM1 = "M1";
    ToaXeM1 = " - M1";
}else{
    ChonToaXeM1 = "";
    ToaXeM1 = "";
}

if(jCheckBoxMenuItem17.isSelected()){
    ChonToaXeTc2 = "Tc2";
    ToaXeTc2 = " - Tc2";
}else{
    ChonToaXeTc2 = "";
    ToaXeTc2 = "";
}
// Processes
this.XLSL_DTC_STEP1();
// DUA SO LIEU VAO FrameData0_TTGH
    DisplayFrameData0_TTGH.jLabel2.setText("Số    liệu:"    +    SoLieuTrenTuyen    +
SoLieuTaiDepot);
    DisplayFrameData0_TTGH.jLabel3.setText("Đoàn    tàu:"    +    DoanTauHN001    +
DoanTauHN002 + DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 +
DoanTauHN007 + DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 +
DoanTauHN012 + DoanTauHN013);
    DisplayFrameData0_TTGH.jLabel4.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 + ToaXeM1
+ ToaXeTc2);
    SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("dd-MM-yyyy");
    SimpleDateFormat sdf2 = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd");
    Date ngayDataBatDau, ngayDataKetThuc;
    String ngayTableBatDau, ngayTableKetThuc;
    ngayDataBatDau = sdf2.parse(Frame0.ngayBatDau);
    ngayTableBatDau = sdf.format(ngayDataBatDau);
    ngayDataKetThuc = sdf2.parse(Frame0.ngayKetThuc);
    ngayTableKetThuc = sdf.format(ngayDataKetThuc);
    DisplayFrameData0_TTGH.jLabel5.setText("Thời    gian    bắt    đầu    khảo    sát:    "    +
ngayTableBatDau);
    DisplayFrameData0_TTGH.jLabel6.setText("Thời    gian    kết    thúc    khảo    sát:    "    +
ngayTableKetThuc);

    // Get table model của jTable1 của FrameData0_TTGH

```

```

DefaultTableModel tblModel1 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameData0_TTGH.jTable1.getModel();
tblModel1.setColumnCount(0);
tblModel1.setRowCount(0);

// Them vao 9 cot du lieu
tblModel1.addColumn("TT");
tblModel1.addColumn("Phần tử");
tblModel1.addColumn("ID");
tblModel1.addColumn("Số liệu");
tblModel1.addColumn("Đoàn tàu");
tblModel1.addColumn("Toa xe");
tblModel1.addColumn("Ngày");
tblModel1.addColumn("t (h)");
tblModel1.addColumn("τ (h)");
this.XLSL_DTC_STEP2_1();
this.XLSL_DTC_STEP2_2();
this.XLSL_DTC_STEP2_3();
this.XLSL_DTC_STEP2_4();
this.XLSL_DTC_STEP2_5();
this.XLSL_DTC_STEP2_6();
// Hien thi tong so so lieu
int TSSL = DisplayFrameData0_TTGH.jTable1.getRowCount();
DisplayFrameData0_TTGH.jLabel7.setText("Tổng số số liệu: " + Integer.toString(TSSL));

// Dinh dang cac cot tieu de trong bang
int soCot = 9;
for (int j = 0; j < soCot; j++) {

DisplayFrameData0_TTGH.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
}
// Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
DefaultTableCellRenderer centerRenderer = new DefaultTableCellRenderer();
centerRenderer.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
for (int j = 0; j < soCot; j++) {

DisplayFrameData0_TTGH.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerRenderere
r);
}
// Cai dat chieu cao cua cac hang
//jTable1.setRowHeight(20);
// Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
//TableModel columnModel =
DisplayFrameData0_TTGH.jTable1.getColumnModel();
//columnModel.getColumnModel(0).setWidth(30);
//columnModel.getColumnModel(0).setPreferredWidth(30);
// Khong cho phep sua bang
DisplayFrameData0_TTGH.jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);
// XU LY SO LIEU
// Process
double gamma_s_1 = 0;
double gamma_s_2 = 0;
double gamma_s_3 = 0;
double gamma_s_4 = 0;
double gamma_s_5 = 0;

```

```

double gamma_s_6 = 0;
double P0 = 0, P1 = 0, P2 = 0, P3 = 0, P4 = 0, P5 = 0, P6 = 0;

if (mu_s_1 == 0 && mu_s_2 == 0 && mu_s_3 == 0 && mu_s_4 == 0 && mu_s_5 == 0 &&
mu_s_6 == 0) {
    jTextField29.setText("");
    jTextField30.setText("");
    jTextField31.setText("");
    jTextField32.setText("");
    jTextField33.setText("");
    jTextField34.setText("");
    jTextField35.setText("");
    jTextField36.setText("");
    jTextField37.setText("");
    jTextField38.setText("");
    jTextField39.setText("");
    jTextField40.setText("");
    jTextField41.setText("");
    jTextField42.setText("");
    jTextField43.setText("");
    jTextField44.setText("");
    jTextField45.setText("");
    jTextField46.setText("");
    jTextField47.setText("");
} else {
    if (mu_s_1 > 0) {
        gamma_s_1 = lambda_s_1 / mu_s_1;
    }

    if (mu_s_2 > 0) {
        gamma_s_2 = lambda_s_2 / mu_s_2;
    }

    if (mu_s_3 > 0) {
        gamma_s_3 = lambda_s_3 / mu_s_3;
    }

    if (mu_s_4 > 0) {
        gamma_s_4 = lambda_s_4 / mu_s_4;
    }

    if (mu_s_5 > 0) {
        gamma_s_5 = lambda_s_5 / mu_s_5;
    }

    if (mu_s_6 > 0) {
        gamma_s_6 = lambda_s_6 / mu_s_6;
    }

    P0 = 1 / (1 + gamma_s_1 + gamma_s_2 + gamma_s_3 + gamma_s_4 + gamma_s_5 +
gamma_s_6);
    P1 = gamma_s_1 * P0;
    P2 = gamma_s_2 * P0;
    P3 = gamma_s_3 * P0;
    P4 = gamma_s_4 * P0;
    P5 = gamma_s_5 * P0;

```

```

P6 = gamma _s_6 * P0;

// Output
jTextField29.setText(String.format("%G", lambda_s_1));
jTextField30.setText(String.format("%G", mu_s_1));
jTextField31.setText(String.format("%G", lambda_s_2));
jTextField32.setText(String.format("%G", mu_s_2));
jTextField33.setText(String.format("%G", lambda_s_3));
jTextField34.setText(String.format("%G", mu_s_3));
jTextField35.setText(String.format("%G", lambda_s_4));
jTextField36.setText(String.format("%G", mu_s_4));
jTextField37.setText(String.format("%G", lambda_s_5));
jTextField38.setText(String.format("%G", mu_s_5));
jTextField39.setText(String.format("%G", lambda_s_6));
jTextField40.setText(String.format("%G", mu_s_6));
jTextField41.setText(String.format("%G", P0));
jTextField42.setText(String.format("%G", P1));
jTextField43.setText(String.format("%G", P2));
jTextField44.setText(String.format("%G", P3));
jTextField45.setText(String.format("%G", P4));
jTextField46.setText(String.format("%G", P5));
jTextField47.setText(String.format("%G", P6));
}

// DUA SO LIEU VAO FrameKQ0_TTGH
DisplayFrameKQ0_TTGH.jLabel2.setText("Số liệu:" + SoLieuTrenTuyen +
SoLieuTaiDepot);
DisplayFrameKQ0_TTGH.jLabel3.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 +
DoanTauHN002 + DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 +
DoanTauHN007 + DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 +
DoanTauHN012 + DoanTauHN013);
DisplayFrameKQ0_TTGH.jLabel4.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 + ToaXeM1
+ ToaXeTc2);
DisplayFrameKQ0_TTGH.jLabel5.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " +
ngayTableBatDau);
DisplayFrameKQ0_TTGH.jLabel6.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

int soCot2 = 4;
int soHang2 = 19;

// Data to be displayed in the JTable
Object[][] data2 = new Object[soHang2][soCot2];

// Du lieu cot 0: TT
data2[0][0] = "1";
data2[1][0] = "2";
data2[2][0] = "3";
data2[3][0] = "4";
data2[4][0] = "5";
data2[5][0] = "6";
data2[6][0] = "7";
data2[7][0] = "8";
data2[8][0] = "9";
data2[9][0] = "10";
data2[10][0] = "11";

```

```

data2[11][0] = "12";
data2[12][0] = "13";
data2[13][0] = "14";
data2[14][0] = "15";
data2[15][0] = "16";
data2[16][0] = "17";
data2[17][0] = "18";
data2[18][0] = "19";

// Du lieu cot 1: Thong so
data2[0][1] = " $\lambda$  1 $\rightarrow$ 3 (1)";
data2[1][1] = " $\mu$  3 $\rightarrow$ 1 (1)";
data2[2][1] = " $\lambda$  1 $\rightarrow$ 5 (2)";
data2[3][1] = " $\mu$  5 $\rightarrow$ 1 (2)";
data2[4][1] = " $\lambda$  1 $\rightarrow$ 7 (3)";
data2[5][1] = " $\mu$  7 $\rightarrow$ 1 (3)";
data2[6][1] = " $\lambda$  1 $\rightarrow$ 9 (4)";
data2[7][1] = " $\mu$  9 $\rightarrow$ 1 (4)";
data2[8][1] = " $\lambda$  1 $\rightarrow$ 11 (5)";
data2[9][1] = " $\mu$  11 $\rightarrow$ 1 (5)";
data2[10][1] = " $\lambda$  1 $\rightarrow$ 13 (6)";
data2[11][1] = " $\mu$  13 $\rightarrow$ 1 (6)";
data2[12][1] = "P1";
data2[13][1] = "P3 (1)";
data2[14][1] = "P5 (2)";
data2[15][1] = "P7 (3)";
data2[16][1] = "P9 (4)";
data2[17][1] = "P11 (5)";
data2[18][1] = "P13 (6)";

// Du lieu cot 2: Gia tri
data2[0][2] = String.format("%G", lambda_s_1);
data2[1][2] = String.format("%G", mu_s_1);
data2[2][2] = String.format("%G", lambda_s_2);
data2[3][2] = String.format("%G", mu_s_2);
data2[4][2] = String.format("%G", lambda_s_3);
data2[5][2] = String.format("%G", mu_s_3);
data2[6][2] = String.format("%G", lambda_s_4);
data2[7][2] = String.format("%G", mu_s_4);
data2[8][2] = String.format("%G", lambda_s_5);
data2[9][2] = String.format("%G", mu_s_5);
data2[10][2] = String.format("%G", lambda_s_6);
data2[11][2] = String.format("%G", mu_s_6);
data2[12][2] = String.format("%G", P0);
data2[13][2] = String.format("%G", P1);
data2[14][2] = String.format("%G", P2);
data2[15][2] = String.format("%G", P3);
data2[16][2] = String.format("%G", P4);
data2[17][2] = String.format("%G", P5);
data2[18][2] = String.format("%G", P6);

// Du lieu cot 3: Don vi
data2[0][3] = "1/h";
data2[1][3] = "1/h";
data2[2][3] = "1/h";
data2[3][3] = "1/h";

```

```

data2[4][3] = "1/h";
data2[5][3] = "1/h";
data2[6][3] = "1/h";
data2[7][3] = "1/h";
data2[8][3] = "1/h";
data2[9][3] = "1/h";
data2[10][3] = "1/h";
data2[11][3] = "1/h";
data2[12][3] = "";
data2[13][3] = "";
data2[14][3] = "";
data2[15][3] = "";
data2[16][3] = "";
data2[17][3] = "";
data2[18][3] = "";

// Column Names
String[] cols2 = new String[soCot2];
cols2[0] = "TT";
cols2[1] = "Thông số";
cols2[2] = "Giá trị";
cols2[3] = "Đơn vị";

// Them du lieu vao table
// Get table model cua jTable1 cua FrameKQ1_1_1_DTC
DefaultTableModel tblModel2 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameKQ0_TTGH.jTable1.getModel();
tblModel2.setRowCount(0);
tblModel2.setDataVector(data2, cols2);

Font fontChu = new Font("Times New Roman", Font.BOLD, 16);
DisplayFrameKQ0_TTGH.jTable1.setFont(fontChu);

// Dinh dang cac cot tieu de trong bang
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ0_TTGH.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
}
// Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
DefaultTableCellRenderer centerRenderer2 = new DefaultTableCellRenderer();
centerRenderer2.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ0_TTGH.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerRenderer)
;
}
// Cai dat chieu cao cua cac hang
DisplayFrameKQ0_TTGH.jTable1.setRowHeight(23);
// Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
TableModel columnModel2 =
DisplayFrameKQ0_TTGH.jTable1.getColumnModel();
columnModel2.getColumnModel().getColumn(0).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(0).setPreferredWidth(5);

columnModel2.getColumnModel().getColumn(1).setWidth(200);

```

```

columnModel2.getColumnModel(1).setPreferredWidth(200);

columnModel2.getColumnModel(2).setWidth(200);
columnModel2.getColumnModel(2).setPreferredWidth(200);

columnModel2.getColumnModel(3).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel(3).setPreferredWidth(5);
// Không cho phép sửa bảng
DisplayFrameKQ0_TTGH.jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);

// CAP NHAT STATUS
jLabel2.setText("Đã tính toán và cập nhật số liệu");
}
} catch (Exception e) {
jLabel2.setText("Lỗi khi xử lý số liệu: " + e.toString());
}
}
}

```

Tính toán độ tin cậy bộ trục bánh xe theo hao mòn mặt lăn bánh xe

```

private void XLSL_HMML() {
try {
// Inputs
// Get So lieu
/*String ChonSoLieuTrenTuyen = "";
String ChonSoLieuTaiDepot = "";

String SoLieuTrenTuyen = "";
String SoLieuTaiDepot = "";
if(jCheckBoxMenuItem18.isSelected()){
ChonSoLieuTrenTuyen = "Trên tuyến";
SoLieuTrenTuyen = " - Trên tuyến";
}
if(jCheckBoxMenuItem19.isSelected()){
ChonSoLieuTaiDepot = "Tại Depot";
SoLieuTaiDepot = " - Tại Depot";
}*/
// Get Doan tau
String ChonDoanTauHN001 = "";
String ChonDoanTauHN002 = "";
String ChonDoanTauHN003 = "";
String ChonDoanTauHN004 = "";
String ChonDoanTauHN005 = "";
String ChonDoanTauHN006 = "";
String ChonDoanTauHN007 = "";
String ChonDoanTauHN008 = "";
String ChonDoanTauHN009 = "";
String ChonDoanTauHN010 = "";
String ChonDoanTauHN011 = "";
String ChonDoanTauHN012 = "";
String ChonDoanTauHN013 = "";

String DoanTauHN001 = "";
String DoanTauHN002 = "";
String DoanTauHN003 = "";
String DoanTauHN004 = "";
String DoanTauHN005 = "";

```

```

String DoanTauHN006 = "";
String DoanTauHN007 = "";
String DoanTauHN008 = "";
String DoanTauHN009 = "";
String DoanTauHN010 = "";
String DoanTauHN011 = "";
String DoanTauHN012 = "";
String DoanTauHN013 = "";
if(jCheckBoxMenuItem1.isSelected()){
    ChonDoanTauHN001 = "HN001";
    DoanTauHN001 = " - HN001";
}
if(jCheckBoxMenuItem2.isSelected()){
    ChonDoanTauHN002 = "HN002";
    DoanTauHN002 = " - HN002";
}
if(jCheckBoxMenuItem3.isSelected()){
    ChonDoanTauHN003 = "HN003";
    DoanTauHN003 = " - HN003";
}
if(jCheckBoxMenuItem4.isSelected()){
    ChonDoanTauHN004 = "HN004";
    DoanTauHN004 = " - HN004";
}
if(jCheckBoxMenuItem5.isSelected()){
    ChonDoanTauHN005 = "HN005";
    DoanTauHN005 = " - HN005";
}
if(jCheckBoxMenuItem6.isSelected()){
    ChonDoanTauHN006 = "HN006";
    DoanTauHN006 = " - HN006";
}
if(jCheckBoxMenuItem7.isSelected()){
    ChonDoanTauHN007 = "HN007";
    DoanTauHN007 = " - HN007";
}
if(jCheckBoxMenuItem8.isSelected()){
    ChonDoanTauHN008 = "HN008";
    DoanTauHN008 = " - HN008";
}
if(jCheckBoxMenuItem9.isSelected()){
    ChonDoanTauHN009 = "HN009";
    DoanTauHN009 = " - HN009";
}
if(jCheckBoxMenuItem10.isSelected()){
    ChonDoanTauHN010 = "HN010";
    DoanTauHN010 = " - HN010";
}
if(jCheckBoxMenuItem11.isSelected()){
    ChonDoanTauHN011 = "HN011";
    DoanTauHN011 = " - HN011";
}
if(jCheckBoxMenuItem12.isSelected()){
    ChonDoanTauHN012 = "HN012";
    DoanTauHN012 = " - HN012";
}
}

```

```

if(jCheckBoxMenuItem13.isSelected()){
    ChonDoanTauHN013 = "HN013";
    DoanTauHN013 = " - HN013";
}
// Get Toa xe
String ChonToaXeTc1 = "";
String ChonToaXeM0 = "";
String ChonToaXeM1 = "";
String ChonToaXeTc2 = "";

String ToaXeTc1 = "";
String ToaXeM0 = "";
String ToaXeM1 = "";
String ToaXeTc2 = "";
if(jCheckBoxMenuItem14.isSelected()){
    ChonToaXeTc1 = "Tc1";
    ToaXeTc1 = " - Tc1";
}
if(jCheckBoxMenuItem15.isSelected()){
    ChonToaXeM0 = "M0";
    ToaXeM0 = " - M0";
}
if(jCheckBoxMenuItem16.isSelected()){
    ChonToaXeM1 = "M1";
    ToaXeM1 = " - M1";
}
if(jCheckBoxMenuItem17.isSelected()){
    ChonToaXeTc2 = "Tc2";
    ToaXeTc2 = " - Tc2";
}
// Get Truc so
String ChonTrucSo1 = "";
String ChonTrucSo2 = "";
String ChonTrucSo3 = "";
String ChonTrucSo4 = "";

String TrucSo1 = "";
String TrucSo2 = "";
String TrucSo3 = "";
String TrucSo4 = "";
if(jCheckBoxMenuItem20.isSelected()){
    ChonTrucSo1 = "1";
    TrucSo1 = " - 1";
}
if(jCheckBoxMenuItem21.isSelected()){
    ChonTrucSo2 = "2";
    TrucSo2 = " - 2";
}
if(jCheckBoxMenuItem22.isSelected()){
    ChonTrucSo3 = "3";
    TrucSo3 = " - 3";
}
if(jCheckBoxMenuItem23.isSelected()){
    ChonTrucSo4 = "4";
    TrucSo4 = " - 4";
}
}

```

```

// Get Phia
String ChonPhiaTrai = "";
String ChonPhiaPhai = "";

String PhiaTrai = "";
String PhiaPhai = "";
if(jCheckBoxMenuItem24.isSelected()){
    ChonPhiaTrai = "Trái";
    PhiaTrai = " - Trái";
}
if(jCheckBoxMenuItem25.isSelected()){
    ChonPhiaPhai = "Phải";
    PhiaPhai = " - Phải";
}

// Processes
// Khoi tao statement cho ket noi database
Statement st;
// Khoi tao doi tuong chua ket qua tra ve
ResultSet rs;
// Ket noi voi database
st = connect.connection();
// Cau lenh xem du lieu
String sql = "SELECT c FROM Frame2_1_2_HMML WHERE " + ChonDoanTau + " AND " +
ChonToaXe + " AND " + ChonTrucSo + " AND " + ChonPhia;
// Thuc thi cau lenh
rs = st.executeQuery(sql);
// So thu tu cua bang
TT = 0;
// DUA SO LIEU VAO FrameData2_1_2_HMML
DisplayFrameData2_1_2_HMML.jLabel2.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 +
DoanTauHN002 + DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 +
DoanTauHN007 + DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 +
DoanTauHN012 + DoanTauHN013);
DisplayFrameData2_1_2_HMML.jLabel3.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 +
ToaXeM1 + ToaXeTc2);
DisplayFrameData2_1_2_HMML.jLabel4.setText("Trục số:" + TrucSo1 + TrucSo2 +
TrucSo3 + TrucSo4);
DisplayFrameData2_1_2_HMML.jLabel5.setText("Phía:" + PhiaTrai + PhiaPhai);
DisplayFrameData2_1_2_HMML.jLabel6.setText("Độ mòn giới hạn (mm): " +
I_gh_MLBX);
SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("dd-MM-yyyy");
SimpleDateFormat sdf2 = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd");
Date ngayDataBatDau, ngayDataKetThuc;
String ngayTableBatDau, ngayTableKetThuc;
ngayDataBatDau = sdf.parse(Frame2_1_2.ngayBatDau);
ngayTableBatDau = sdf.format(ngayDataBatDau);
ngayDataKetThuc = sdf.parse(Frame2_1_2.ngayKetThuc);
ngayTableKetThuc = sdf.format(ngayDataKetThuc);
DisplayFrameData2_1_2_HMML.jLabel7.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " +
ngayTableBatDau);
DisplayFrameData2_1_2_HMML.jLabel8.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

// Get table model của jTable1 của FrameData2_1_2_DTC

```

```

DefaultTableModel tblModel1 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameData2_1_2_HMML.jTable1.getModel();
// So cot du lieu
int soCot = 10;
String[] cols = new String[soCot];
cols[0] = "TT";
cols[1] = "ID";
cols[2] = "Đoàn tàu";
cols[3] = "Toa xe";
cols[4] = "Ngày";
cols[5] = "Trục số";
cols[6] = "Phía";
cols[7] = "<html><center>L<br>(km)</center></html>";
cols[8] = "<html><center>Iml<br>(mm)</center></html>";
cols[9] = "<html><center>c<br>(mm/10<sup>5</sup>km)</center></html>";
// Dưa du lieu vao table
// Dem so hang du lieu
int soHang = 0;
while (rs.next()) {
    soHang = soHang + 1;
}
// Khoi tao data voi soHang va soCot
Object[][] data = new Object[soHang][soCot];
// Reset lai ResultSet bang cach gan lai lenh
rs = st.executeQuery(sql);
// Doc du lieu tu CSDL vao data
int i = 0;
Date ngayData;
String ngayTable;
while (rs.next()) {
    TT = TT + 1;
    data[i][0] = Integer.toString(TT);
    data[i][1] = rs.getString("ID");
    data[i][2] = rs.getString("DT");
    data[i][3] = rs.getString("TX");
    ngayData = sdf2.parse(rs.getString("Ngày"));
    ngayTable = sdf.format(ngayData);
    data[i][4] = ngayTable;
    data[i][5] = rs.getString("TrucSo");
    data[i][6] = rs.getString("Phia");
    data[i][7] = rs.getString("L");
    data[i][8] = rs.getString("Iml");
    data[i][9] = rs.getString("c");
    i = i + 1;
}
// Them du lieu vao table
tblModel1.setRowCount(0);
tblModel1.setDataVector(data, cols);

// Hien thi tong so so lieu
int TSSL = DisplayFrameData2_1_2_HMML.jTable1.getRowCount();
DisplayFrameData2_1_2_HMML.jLabel9.setText("Tổng số số liệu: " +
Integer.toString(TSSL));

// Dinh dang cac cot tieu de trong bang
for (int j = 0; j < soCot; j++) {

```

```

DisplayFrameData2_1_2_HMML jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
    }
    // Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
    DefaultTableCellRenderer centerRenderer = new DefaultTableCellRenderer();
    centerRenderer.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
    for (int j = 0; j < soCot; j++) {

DisplayFrameData2_1_2_HMML jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerRe
nderer);
    }
    // Cai dat chieu cao cua cac hang
    // jTable1.setRowHeight(20);
    // Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
    TableColumnModel                columnModel
DisplayFrameData2_1_2_HMML jTable1.getColumnModel();
    columnModel.getColumnModel().getColumn(0).setWidth(30);
    columnModel.getColumnModel().getColumn(0).setPreferredWidth(30);

    columnModel.getColumnModel().getColumn(1).setWidth(30);
    columnModel.getColumnModel().getColumn(1).setPreferredWidth(30);

    columnModel.getColumnModel().getColumn(9).setWidth(100);
    columnModel.getColumnModel().getColumn(9).setPreferredWidth(100);
    // Khong cho phep sua bang
    DisplayFrameData2_1_2_HMML jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);

    // XU LY SO LIEU
    // Inputs
    // Get Igh
    double I_gh = Double.parseDouble(I_gh_MLBX);
    // Get c
    double c[] = new double[soHang];
    for (int j = 0; j < soHang; j++) {
        c[j] = Double.parseDouble(tblModel1.getValueAt(j, 9).toString());
    }

    // Processes
    // Dua c vao c_temp
    c_temp_HMML.clear();
    for (int j = 0; j < c.length; j++) {
        c_temp_HMML.add(c[j]);
    }

    MyFunctions HamHuuIch = new MyFunctions();
    Object[] ketQua = new Object[2];
    ketQua = HamHuuIch.tinhKVTH_DLC(c);

    // KVTH ac
    double a_c = Double.parseDouble(ketQua[0].toString());
    // DLC sigma_c
    double sigma_c = Double.parseDouble(ketQua[1].toString());
    // HSBĐ epsilon_c
    double epsilon_c = sigma_c / a_c;
    // THLV gamma 50%

```

```

double t_gamma_50 = I_gh / a_c;
// THLV gamma 90%
double t_gamma_90 = I_gh / (1.282 * sigma_c + a_c);
// THLV gamma 99,99%
double t_gamma_9999 = I_gh / (3.719 * sigma_c + a_c);

// Outputs
jTextField33.setText(String.format("%G", a_c));
jTextField34.setText(String.format("%G", sigma_c));
jTextField35.setText(String.format("%G", epsilon_c));
jTextField36.setText(String.format("%G", t_gamma_50));
jTextField37.setText(String.format("%G", t_gamma_90));
jTextField38.setText(String.format("%G", t_gamma_9999));

// DUA SO LIEU VAO FrameKQ2_1_2_HMML
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jLabel2.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 +
DoanTauHN002 + DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 +
DoanTauHN007 + DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 +
DoanTauHN012 + DoanTauHN013);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jLabel3.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 +
ToaXeM1 + ToaXeTc2);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jLabel4.setText("Trục số:" + TrucSo1 + TrucSo2 +
TrucSo3 + TrucSo4);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jLabel5.setText("Phía:" + PhiaTrai + PhiaPhai);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jLabel6.setText("Độ mòn giới hạn (mm): " + I_gh_MLBX);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jLabel7.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " +
ngayTableBatDau);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jLabel8.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

// Ham f(c)
double hs1 = 1 / (sigma_c * Math.sqrt(2 * Math.PI));
double hs2 = -1 / (2 * sigma_c * sigma_c);
String ham_f = String.format("%G", hs1) + " exp[" + String.format("%G", hs2) + " (c - " +
String.format("%G", a_c) + ")^2]";

// Ham P(t)
double sigma = Double.parseDouble(jTextField34.getText());
double a = Double.parseDouble(jTextField33.getText());
hs1 = I_gh / sigma;
hs2 = a / sigma;
String ham_P_t = "Φ(" + String.format("%G", hs1) + " / t - " + String.format("%G", hs2) +
)";

// Ham Q(t)
hs1 = I_gh / sigma;
hs2 = a / sigma;
String ham_Q_t = "Φ(" + String.format("%G", hs2) + " - " + String.format("%G", hs1) + " /
t)";

int soCot2 = 4;
int soHang2 = 9;

// Data to be displayed in the JTable
Object[][] data2 = new Object[soHang2][soCot2];

```

```

// Du lieu cot 0: TT
data2[0][0] = "1";
data2[1][0] = "2";
data2[2][0] = "3";
data2[3][0] = "4";
data2[4][0] = "5";
data2[5][0] = "6";
data2[6][0] = "7";
data2[7][0] = "8";
data2[8][0] = "9";

// Du lieu cot 1: Thong so
data2[0][1] = "a(c)";
data2[1][1] = "σ(c)";
data2[2][1] = "υ(c)";
data2[3][1] = "t_γ=50%";
data2[4][1] = "t_γ=90%";
data2[5][1] = "t_γ=99.99%";
data2[6][1] = "f(c)";
data2[7][1] = "P(t)";
data2[8][1] = "Q(t)";

// Du lieu cot 2: Gia tri
data2[0][2] = String.format("%G", a_c);
data2[1][2] = String.format("%G", sigma_c);
data2[2][2] = String.format("%G", epsilon_c);
data2[3][2] = String.format("%G", t_gamma_50);
data2[4][2] = String.format("%G", t_gamma_90);
data2[5][2] = String.format("%G", t_gamma_9999);
data2[6][2] = ham_f;
data2[7][2] = ham_P_t;
data2[8][2] = ham_Q_t;

// Du lieu cot 3: Don vi
data2[0][3] = "mm/10^5 km";
data2[1][3] = "mm/10^5 km";
data2[2][3] = "";
data2[3][3] = "10^5 km";
data2[4][3] = "10^5 km";
data2[5][3] = "10^5 km";
data2[6][3] = "10^5 km/mm";
data2[7][3] = "";
data2[8][3] = "";

// Column Names
String[] cols2 = new String[soCot2];
cols2[0] = "TT";
cols2[1] = "Thông số";
cols2[2] = "Giá trị";
cols2[3] = "Đơn vị";

// Them du lieu vao table
// Get table model cua jTable1 cua FrameKQ2_1_2_HMML
DefaultTableModel tblModel2 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jTable1.getModel();
tblModel2.setRowCount(0);

```

```

tblModel2.setDataVector(data2, cols2);

Font fontChu = new Font("Times New Roman", Font.BOLD, 16);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jTable1.setFont(fontChu);

// Dinh dang cac cot tieu de trong bang
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
}
// Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
DefaultTableCellRenderer centerRenderer2 = new DefaultTableCellRenderer();
centerRenderer2.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerRen
derer);
}
// Cai dat chieu cao cua cac hang
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jTable1.setRowHeight(23);
// Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
TableModel columnModel2
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jTable1.getColumnModel();
columnModel2.getColumnModel().getColumn(0).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(0).setPreferredWidth(5);

columnModel2.getColumnModel().getColumn(1).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(1).setPreferredWidth(5);

columnModel2.getColumnModel().getColumn(2).setWidth(400);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(2).setPreferredWidth(400);

columnModel2.getColumnModel().getColumn(3).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(3).setPreferredWidth(5);
// Khong cho phep sua bang
DisplayFrameKQ2_1_2_HMML.jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);

// CAP NHAT STATUS
jLabel2.setText("Đã tính toán và cập nhật số liệu");
}

} catch (Exception e) {
jLabel2.setText("Lỗi khi xử lý số liệu: " + e.toString());
}
}

```

Tính toán độ tin cậy bộ trục bánh xe theo hao mòn gờ bánh xe

```

private void XLSL_HMGB() {
try {
// Inputs
// Get So lieu
/*String ChonSoLieuTrenTuyen = "";
String ChonSoLieuTaiDepot = "";

String SoLieuTrenTuyen = "";

```

```

String SoLieuTaiDepot = "";
if(jCheckBoxMenuItem18.isSelected()){
    ChonSoLieuTrenTuyen = "Trên tuyến";
    SoLieuTrenTuyen = " - Trên tuyến";
}
if(jCheckBoxMenuItem19.isSelected()){
    ChonSoLieuTaiDepot = "Tại Depot";
    SoLieuTaiDepot = " - Tại Depot";
}*/
// Get Doan tau
String ChonDoanTauHN001 = "";
String ChonDoanTauHN002 = "";
String ChonDoanTauHN003 = "";
String ChonDoanTauHN004 = "";
String ChonDoanTauHN005 = "";
String ChonDoanTauHN006 = "";
String ChonDoanTauHN007 = "";
String ChonDoanTauHN008 = "";
String ChonDoanTauHN009 = "";
String ChonDoanTauHN010 = "";
String ChonDoanTauHN011 = "";
String ChonDoanTauHN012 = "";
String ChonDoanTauHN013 = "";

String DoanTauHN001 = "";
String DoanTauHN002 = "";
String DoanTauHN003 = "";
String DoanTauHN004 = "";
String DoanTauHN005 = "";
String DoanTauHN006 = "";
String DoanTauHN007 = "";
String DoanTauHN008 = "";
String DoanTauHN009 = "";
String DoanTauHN010 = "";
String DoanTauHN011 = "";
String DoanTauHN012 = "";
String DoanTauHN013 = "";
if (jCheckBoxMenuItem1.isSelected()) {
    ChonDoanTauHN001 = "HN001";
    DoanTauHN001 = " - HN001";
}
if (jCheckBoxMenuItem2.isSelected()) {
    ChonDoanTauHN002 = "HN002";
    DoanTauHN002 = " - HN002";
}
if (jCheckBoxMenuItem3.isSelected()) {
    ChonDoanTauHN003 = "HN003";
    DoanTauHN003 = " - HN003";
}
if (jCheckBoxMenuItem4.isSelected()) {
    ChonDoanTauHN004 = "HN004";
    DoanTauHN004 = " - HN004";
}
if (jCheckBoxMenuItem5.isSelected()) {
    ChonDoanTauHN005 = "HN005";
    DoanTauHN005 = " - HN005";
}

```

```

    }
    if (jCheckBoxMenuItem6.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN006 = "HN006";
        DoanTauHN006 = " - HN006";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem7.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN007 = "HN007";
        DoanTauHN007 = " - HN007";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem8.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN008 = "HN008";
        DoanTauHN008 = " - HN008";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem9.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN009 = "HN009";
        DoanTauHN009 = " - HN009";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem10.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN010 = "HN010";
        DoanTauHN010 = " - HN010";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem11.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN011 = "HN011";
        DoanTauHN011 = " - HN011";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem12.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN012 = "HN012";
        DoanTauHN012 = " - HN012";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem13.isSelected()) {
        ChonDoanTauHN013 = "HN013";
        DoanTauHN013 = " - HN013";
    }
    // Get Toa xe
    String ChonToaXeTc1 = "";
    String ChonToaXeM0 = "";
    String ChonToaXeM1 = "";
    String ChonToaXeTc2 = "";

    String ToaXeTc1 = "";
    String ToaXeM0 = "";
    String ToaXeM1 = "";
    String ToaXeTc2 = "";
    if (jCheckBoxMenuItem14.isSelected()) {
        ChonToaXeTc1 = "Tc1";
        ToaXeTc1 = " - Tc1";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem15.isSelected()) {
        ChonToaXeM0 = "M0";
        ToaXeM0 = " - M0";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem16.isSelected()) {
        ChonToaXeM1 = "M1";
        ToaXeM1 = " - M1";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem17.isSelected()) {

```

```

        ChonToaXeTc2 = "Tc2";
        ToaXeTc2 = " - Tc2";
    }
    // Get Truc so
    String ChonTrucSo1 = "";
    String ChonTrucSo2 = "";
    String ChonTrucSo3 = "";
    String ChonTrucSo4 = "";

    String TrucSo1 = "";
    String TrucSo2 = "";
    String TrucSo3 = "";
    String TrucSo4 = "";
    if (jCheckBoxMenuItem20.isSelected()) {
        ChonTrucSo1 = "1";
        TrucSo1 = " - 1";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem21.isSelected()) {
        ChonTrucSo2 = "2";
        TrucSo2 = " - 2";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem22.isSelected()) {
        ChonTrucSo3 = "3";
        TrucSo3 = " - 3";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem23.isSelected()) {
        ChonTrucSo4 = "4";
        TrucSo4 = " - 4";
    }
    // Get Phia
    String ChonPhiaTrai = "";
    String ChonPhiaPhai = "";

    String PhiaTrai = "";
    String PhiaPhai = "";
    if (jCheckBoxMenuItem24.isSelected()) {
        ChonPhiaTrai = "Trái";
        PhiaTrai = " - Trái";
    }
    if (jCheckBoxMenuItem25.isSelected()) {
        ChonPhiaPhai = "Phải";
        PhiaPhai = " - Phải";
    }
    // Processes
    // Khoi tao statement cho ket noi database
    Statement st;
    // Khoi tao doi tuong chua ket qua tra ve
    ResultSet rs;
    // Ket noi voi database
    st = connect.connection();
    // Cau lenh xem du lieu
    String sql = "SELECT c FROM Frame2_1_2_ HMGB WHERE " + ChonDoanTau + " AND "
+ ChonToaXe + " AND " + ChonTrucSo + " AND " + ChonPhia;
    // Thuc thi cau lenh
    rs = st.executeQuery(sql);
    // So thu tu cua bang

```

```

TT = 0;
// DUA SO LIEU VAO FrameData2_1_2_HMGB
DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jLabel2.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 +
DoanTauHN002 + DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 +
DoanTauHN007 + DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 +
DoanTauHN012 + DoanTauHN013);
DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jLabel3.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 +
ToaXeM1 + ToaXeTc2);
DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jLabel4.setText("Trục số:" + TrucSo1 + TrucSo2 +
TrucSo3 + TrucSo4);
DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jLabel5.setText("Phía:" + PhiaTrai + PhiaPhai);
DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jLabel6.setText("Độ mòn giới hạn (mm): " + I_gh_GBx);
SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("dd-MM-yyyy");
SimpleDateFormat sdf2 = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd");
Date ngayDataBatDau, ngayDataKetThuc;
String ngayTableBatDau, ngayTableKetThuc;
ngayDataBatDau = sdf.parse(Frame2_1_2.ngayBatDau);
ngayTableBatDau = sdf.format(ngayDataBatDau);
ngayDataKetThuc = sdf.parse(Frame2_1_2.ngayKetThuc);
ngayTableKetThuc = sdf.format(ngayDataKetThuc);
DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jLabel7.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " +
ngayTableBatDau);
DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jLabel8.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

// Get table model của jTable1 của FrameData2_1_2_HMGB
DefaultTableModel tblModel1 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jTable1.getModel();
// So cot du lieu
int soCot = 10;
String[] cols = new String[soCot];
cols[0] = "TT";
cols[1] = "ID";
cols[2] = "Đoàn tàu";
cols[3] = "Toa xe";
cols[4] = "Ngày";
cols[5] = "Trục số";
cols[6] = "Phía";
cols[7] = "<html><center>L<br>(km)</center></html>";
cols[8] = "<html><center>Igb<br>(mm)</center></html>";
cols[9] = "<html><center>c<br>(mm/10<sup>5</sup>km)</center></html>";
// Dua du lieu vao table
// Dem so hang du lieu
int soHang = 0;
while (rs.next()) {
    soHang = soHang + 1;
}
// Khoi tao data voi soHang va soCot
Object[][] data = new Object[soHang][soCot];
// Reset lai ResultSet bang cach gan lai lenh
rs = st.executeQuery(sql);
// Doc du lieu tu CSDL vao data
int i = 0;
Date ngayData;
String ngayTable;
while (rs.next()) {

```

```

        TT = TT + 1;
        data[i][0] = Integer.toString(TT);
        data[i][1] = rs.getString("ID");
        data[i][2] = rs.getString("DT");
        data[i][3] = rs.getString("TX");
        ngayData = sdf2.parse(rs.getString("Ngay"));
        ngayTable = sdf.format(ngayData);
        data[i][4] = ngayTable;
        data[i][5] = rs.getString("TrucSo");
        data[i][6] = rs.getString("Phia");
        data[i][7] = rs.getString("L");
        data[i][8] = rs.getString("Igb");
        data[i][9] = rs.getString("c");
        i = i + 1;
    }
    // Them du lieu vao table
    tblModel1.setRowCount(0);
    tblModel1.setDataVector(data, cols);

    // Hien thi tong so so lieu
    int TSSL = DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jTable1.getRowCount();
    DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jLabel9.setText("Tổng số số liệu: " +
Integer.toString(TSSL));

    // Dinh dang cac cot tieu de trong bang
    for (int j = 0; j < soCot; j++) {

DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
    }
    // Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
    DefaultTableCellRenderer centerRenderer = new DefaultTableCellRenderer();
    centerRenderer.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
    for (int j = 0; j < soCot; j++) {

DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerRe
nderer);
    }
    // Cai dat chieu cao cua cac hang
    //jTable1.setRowHeight(20);
    // Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
    TableColumnModel columnModel =
DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jTable1.getColumnModel();
    columnModel.getColumnModel().setWidth(30);
    columnModel.getColumnModel().setPreferredWidth(30);

    columnModel.getColumnModel().setWidth(30);
    columnModel.getColumnModel().setPreferredWidth(30);

    columnModel.getColumnModel().setWidth(100);
    columnModel.getColumnModel().setPreferredWidth(100);
    // Khong cho phep sua bang
    DisplayFrameData2_1_2_HMGB.jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);
    // XU LY SO LIEU
    // Inputs
    // Get Igh

```

```

double I_gh = Double.parseDouble(I_gh_GBX);
// Get c
double c[] = new double[soHang];
for (int j = 0; j < soHang; j++) {
    c[j] = Double.parseDouble(tblModel1.getValueAt(j, 9).toString());
}

// Processes
// Dua c vao c_temp_HMGB
c_temp_HMGB.clear();
for (int j = 0; j < c.length; j++) {
    c_temp_HMGB.add(c[j]);
}

MyFunctions HamHuuIch = new MyFunctions();
Object[] ketQua = new Object[2];
ketQua = HamHuuIch.tinhKVTH_DLC(c);

// KVTH ac
double a_c = Double.parseDouble(ketQua[0].toString());
// DLC sigma_c
double sigma_c = Double.parseDouble(ketQua[1].toString());
// HSBD upsilon_c
double upsilon_c = sigma_c / a_c;
// THLV gamma 50%
double t_gamma_50 = I_gh / a_c;
// THLV gamma 90%
double t_gamma_90 = I_gh / (1.282 * sigma_c + a_c);
// THLV gamma 99,99%
double t_gamma_9999 = I_gh / (3.719 * sigma_c + a_c);

// Outputs
jTextField42.setText(String.format("%G", a_c));
jTextField43.setText(String.format("%G", sigma_c));
jTextField44.setText(String.format("%G", upsilon_c));
jTextField45.setText(String.format("%G", t_gamma_50));
jTextField46.setText(String.format("%G", t_gamma_90));
jTextField47.setText(String.format("%G", t_gamma_9999));

// DUA SO LIEU VAO FrameKQ2_1_2_HMGB
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jLabel2.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 +
DoanTauHN002 + DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 +
DoanTauHN007 + DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 +
DoanTauHN012 + DoanTauHN013);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jLabel3.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 +
ToaXeM1 + ToaXeTc2);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jLabel4.setText("Trục số:" + TrucSo1 + TrucSo2 + TrucSo3
+ TrucSo4);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jLabel5.setText("Phía:" + PhiaTrai + PhiaPhai);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jLabel6.setText("Độ mòn giới hạn (mm): " + I_gh_GBX);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jLabel7.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " +
ngayTableBatDau);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jLabel8.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

// Ham f(c)

```

```

double hs1 = 1 / (sigma_c * Math.sqrt(2 * Math.PI));
double hs2 = -1 / (2 * sigma_c * sigma_c);
String ham_f = String.format("%G", hs1) + " exp[" + String.format("%G", hs2) + " (c - " +
String.format("%G", a_c) + ")^2]";

// Ham P(t)
double sigma = Double.parseDouble(jTextField43.getText());
double a = Double.parseDouble(jTextField42.getText());
hs1 = I_gh / sigma;
hs2 = a / sigma;
String ham_P_t = "Φ(" + String.format("%G", hs1) + " / t - " + String.format("%G", hs2) +
");";

// Ham Q(t)
hs1 = I_gh / sigma;
hs2 = a / sigma;
String ham_Q_t = "Φ(" + String.format("%G", hs2) + " - " + String.format("%G", hs1) + " /
t)";

int soCot2 = 4;
int soHang2 = 9;

// Data to be displayed in the JTable
Object[][] data2 = new Object[soHang2][soCot2];

// Du lieu cot 0: TT
data2[0][0] = "1";
data2[1][0] = "2";
data2[2][0] = "3";
data2[3][0] = "4";
data2[4][0] = "5";
data2[5][0] = "6";
data2[6][0] = "7";
data2[7][0] = "8";
data2[8][0] = "9";

// Du lieu cot 1: Thong so
data2[0][1] = "a(c)";
data2[1][1] = "σ(c)";
data2[2][1] = "v(c)";
data2[3][1] = "t_γ=50%";
data2[4][1] = "t_γ=90%";
data2[5][1] = "t_γ=99.99%";
data2[6][1] = "f(c)";
data2[7][1] = "P(t)";
data2[8][1] = "Q(t)";

// Du lieu cot 2: Gia tri
data2[0][2] = String.format("%G", a_c);
data2[1][2] = String.format("%G", sigma_c);
data2[2][2] = String.format("%G", upsilon_c);
data2[3][2] = String.format("%G", t_gamma_50);
data2[4][2] = String.format("%G", t_gamma_90);
data2[5][2] = String.format("%G", t_gamma_9999);
data2[6][2] = ham_f;
data2[7][2] = ham_P_t;

```

```

data2[8][2] = ham_Q_t;

// Du lieu cot 3: Don vi
data2[0][3] = "mm/10^5 km";
data2[1][3] = "mm/10^5 km";
data2[2][3] = "";
data2[3][3] = "10^5 km";
data2[4][3] = "10^5 km";
data2[5][3] = "10^5 km";
data2[6][3] = "10^5 km/mm";
data2[7][3] = "";
data2[8][3] = "";

// Column Names
String[] cols2 = new String[soCot2];
cols2[0] = "TT";
cols2[1] = "Thông số";
cols2[2] = "Giá trị";
cols2[3] = "Đơn vị";

// Them du lieu vao table
// Get table model cua jTable1 cua FrameKQ2_1_2_HMGB
DefaultTableModel tblModel2 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jTable1.getModel();
tblModel2.setRowCount(0);
tblModel2.setDataVector(data2, cols2);

Font fontChu = new Font("Times New Roman", Font.BOLD, 16);
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jTable1.setFont(fontChu);

// Dinh dang cac cot tieu de trong bang
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
}
// Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
DefaultTableCellRenderer centerRenderer2 = new DefaultTableCellRenderer();
centerRenderer2.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerRen
derer);
}
// Cai dat chieu cao cua cac hang
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jTable1.setRowHeight(23);
// Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
TableModel columnModel2 =
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jTable1.getColumnModel();
columnModel2.getColumnModel().setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel().setPreferredWidth(5);

columnModel2.getColumnModel().setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel().setPreferredWidth(5);

columnModel2.getColumnModel().setWidth(400);

```

```

columnModel2.getColumnModel(2).setPreferredWidth(400);

columnModel2.getColumnModel(3).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel(3).setPreferredWidth(5);
// Không cho phép sửa bảng
DisplayFrameKQ2_1_2_HMGB.jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);

// CAP NHAT STATUS
jLabel2.setText("Đã tính toán và cập nhật số liệu");
}

} catch (Exception e) {
jLabel2.setText("Lỗi khi xử lý số liệu: " + e.toString());
}
}

```

Tính toán độ tin cậy bộ trục bánh xe theo độ gia tăng chiều cao gờ bánh xe

```

private void XLSL_GTCCGB() {
try {
// Inputs
// Get So lieu
/*String ChonSoLieuTrenTuyen = "";
String ChonSoLieuTaiDepot = "";

String SoLieuTrenTuyen = "";
String SoLieuTaiDepot = "";
if(jCheckBoxMenuItem18.isSelected()){
ChonSoLieuTrenTuyen = "Trên tuyến";
SoLieuTrenTuyen = " - Trên tuyến";
}
if(jCheckBoxMenuItem19.isSelected()){
ChonSoLieuTaiDepot = "Tại Depot";
SoLieuTaiDepot = " - Tại Depot";
}*/
// Get Doan tau
String ChonDoanTauHN001 = "";
String ChonDoanTauHN002 = "";
String ChonDoanTauHN003 = "";
String ChonDoanTauHN004 = "";
String ChonDoanTauHN005 = "";
String ChonDoanTauHN006 = "";
String ChonDoanTauHN007 = "";
String ChonDoanTauHN008 = "";
String ChonDoanTauHN009 = "";
String ChonDoanTauHN010 = "";
String ChonDoanTauHN011 = "";
String ChonDoanTauHN012 = "";
String ChonDoanTauHN013 = "";

String DoanTauHN001 = "";
String DoanTauHN002 = "";
String DoanTauHN003 = "";
String DoanTauHN004 = "";
String DoanTauHN005 = "";
String DoanTauHN006 = "";
String DoanTauHN007 = "";

```

```

String DoanTauHN008 = "";
String DoanTauHN009 = "";
String DoanTauHN010 = "";
String DoanTauHN011 = "";
String DoanTauHN012 = "";
String DoanTauHN013 = "";
if(jCheckBoxMenuItem1.isSelected()){
    ChonDoanTauHN001 = "HN001";
    DoanTauHN001 = " - HN001";
}
if(jCheckBoxMenuItem2.isSelected()){
    ChonDoanTauHN002 = "HN002";
    DoanTauHN002 = " - HN002";
}
if(jCheckBoxMenuItem3.isSelected()){
    ChonDoanTauHN003 = "HN003";
    DoanTauHN003 = " - HN003";
}
if(jCheckBoxMenuItem4.isSelected()){
    ChonDoanTauHN004 = "HN004";
    DoanTauHN004 = " - HN004";
}
if(jCheckBoxMenuItem5.isSelected()){
    ChonDoanTauHN005 = "HN005";
    DoanTauHN005 = " - HN005";
}
if(jCheckBoxMenuItem6.isSelected()){
    ChonDoanTauHN006 = "HN006";
    DoanTauHN006 = " - HN006";
}
if(jCheckBoxMenuItem7.isSelected()){
    ChonDoanTauHN007 = "HN007";
    DoanTauHN007 = " - HN007";
}
if(jCheckBoxMenuItem8.isSelected()){
    ChonDoanTauHN008 = "HN008";
    DoanTauHN008 = " - HN008";
}
if(jCheckBoxMenuItem9.isSelected()){
    ChonDoanTauHN009 = "HN009";
    DoanTauHN009 = " - HN009";
}
if(jCheckBoxMenuItem10.isSelected()){
    ChonDoanTauHN010 = "HN010";
    DoanTauHN010 = " - HN010";
}
if(jCheckBoxMenuItem11.isSelected()){
    ChonDoanTauHN011 = "HN011";
    DoanTauHN011 = " - HN011";
}
if(jCheckBoxMenuItem12.isSelected()){
    ChonDoanTauHN012 = "HN012";
    DoanTauHN012 = " - HN012";
}
if(jCheckBoxMenuItem13.isSelected()){
    ChonDoanTauHN013 = "HN013";

```

```

        DoanTauHN013 = " - HN013";
    }
    // Get Toa xe
    String ChonToaXeTc1 = "";
    String ChonToaXeM0 = "";
    String ChonToaXeM1 = "";
    String ChonToaXeTc2 = "";

    String ToaXeTc1 = "";
    String ToaXeM0 = "";
    String ToaXeM1 = "";
    String ToaXeTc2 = "";
    if(jCheckBoxMenuItem14.isSelected()){
        ChonToaXeTc1 = "Tc1";
        ToaXeTc1 = " - Tc1";
    }
    if(jCheckBoxMenuItem15.isSelected()){
        ChonToaXeM0 = "M0";
        ToaXeM0 = " - M0";
    }
    if(jCheckBoxMenuItem16.isSelected()){
        ChonToaXeM1 = "M1";
        ToaXeM1 = " - M1";
    }
    if(jCheckBoxMenuItem17.isSelected()){
        ChonToaXeTc2 = "Tc2";
        ToaXeTc2 = " - Tc2";
    }
    // Get Truc so
    String ChonTrucSo1 = "";
    String ChonTrucSo2 = "";
    String ChonTrucSo3 = "";
    String ChonTrucSo4 = "";

    String TrucSo1 = "";
    String TrucSo2 = "";
    String TrucSo3 = "";
    String TrucSo4 = "";
    if(jCheckBoxMenuItem20.isSelected()){
        ChonTrucSo1 = "1";
        TrucSo1 = " - 1";
    }
    if(jCheckBoxMenuItem21.isSelected()){
        ChonTrucSo2 = "2";
        TrucSo2 = " - 2";
    }
    if(jCheckBoxMenuItem22.isSelected()){
        ChonTrucSo3 = "3";
        TrucSo3 = " - 3";
    }
    if(jCheckBoxMenuItem23.isSelected()){
        ChonTrucSo4 = "4";
        TrucSo4 = " - 4";
    }
    // Get Phia
    String ChonPhiaTrai = "";

```

```

String ChonPhiaPhai = "";

String PhiaTrai = "";
String PhiaPhai = "";
if(jCheckBoxMenuItem24.isSelected()){
    ChonPhiaTrai = "Trái";
    PhiaTrai = " - Trái";
}
if(jCheckBoxMenuItem25.isSelected()){
    ChonPhiaPhai = "Phải";
    PhiaPhai = " - Phải";
}

// Processes
// Khoi tao statement cho ket noi database
Statement st;
// Khoi tao doi tuong chua ket qua tra ve
ResultSet rs;
// Ket noi voi database
st = connect.connection();
// Cau lenh xem du lieu
String sql = "SELECT c FROM Frame2_1_2_ GTCCGB WHERE " + ChonDoanTau + " AND
" + ChonToaXe + " AND " + ChonTrucSo + " AND " + ChonPhia;
// Thuc thi cau lenh
rs = st.executeQuery(sql);
// So thu tu cua bang
TT = 0;
// DUA SO LIEU VAO FrameData2_1_2_ GTCCGB
DisplayFrameData2_1_2_ GTCCGB.jLabel2.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 +
DoanTauHN002 + DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 +
DoanTauHN007 + DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 +
DoanTauHN012 + DoanTauHN013);
DisplayFrameData2_1_2_ GTCCGB.jLabel3.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 +
ToaXeM1 + ToaXeTc2);
DisplayFrameData2_1_2_ GTCCGB.jLabel4.setText("Trục số:" + TrucSo1 + TrucSo2 +
TrucSo3 + TrucSo4);
DisplayFrameData2_1_2_ GTCCGB.jLabel5.setText("Phía:" + PhiaTrai + PhiaPhai);
DisplayFrameData2_1_2_ GTCCGB.jLabel6.setText("Độ gia tăng giới hạn (mm): " +
DeltaH_gh_GBX);
SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("dd-MM-yyyy");
SimpleDateFormat sdf2 = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd");
Date ngayDataBatDau, ngayDataKetThuc;
String ngayTableBatDau, ngayTableKetThuc;
ngayDataBatDau = sdf2.parse(Frame2_1_2_ ngayBatDau);
ngayTableBatDau = sdf.format(ngayDataBatDau);
ngayDataKetThuc = sdf2.parse(Frame2_1_2_ ngayKetThuc);
ngayTableKetThuc = sdf.format(ngayDataKetThuc);
DisplayFrameData2_1_2_ GTCCGB.jLabel7.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " +
ngayTableBatDau);
DisplayFrameData2_1_2_ GTCCGB.jLabel8.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

// Get table model của jTable1 của FrameData2_1_2_ GTCCGB
DefaultTableModel tblModel1 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameData2_1_2_ GTCCGB.jTable1.getModel();
// So cot du lieu

```

```

int soCot = 10;
String[] cols = new String[soCot];
cols[0] = "TT";
cols[1] = "ID";
cols[2] = "Đoàn tàu";
cols[3] = "Toa xe";
cols[4] = "Ngày";
cols[5] = "Trục số";
cols[6] = "Phía";
cols[7] = "<html><center>L<br>(km)</center></html>";
cols[8] = "<html><center>&Delta;Hgb<br>(mm)</center></html>";
cols[9] = "<html><center>c<br>(mm/10<sup>5</sup>km)</center></html>";
// Dưa dữ liệu vào table
// Đếm số hàng dữ liệu
int soHang = 0;
while (rs.next()) {
    soHang = soHang + 1;
}
// Khởi tạo data với soHang và soCot
Object[][] data = new Object[soHang][soCot];
// Reset lại ResultSet bằng cách gán lại lệnh
rs = st.executeQuery(sql);
// Đọc dữ liệu từ CSDL vào data
int i = 0;
Date ngayData;
String ngayTable;
while (rs.next()) {
    TT = TT + 1;
    data[i][0] = Integer.toString(TT);
    data[i][1] = rs.getString("ID");
    data[i][2] = rs.getString("DT");
    data[i][3] = rs.getString("TX");
    ngayData = sdf2.parse(rs.getString("Ngày"));
    ngayTable = sdf.format(ngayData);
    data[i][4] = ngayTable;
    data[i][5] = rs.getString("TrucSo");
    data[i][6] = rs.getString("Phia");
    data[i][7] = rs.getString("L");
    data[i][8] = rs.getString("DeltaHgb");
    data[i][9] = rs.getString("c");
    i = i + 1;
}
// Thêm dữ liệu vào table
tblModel1.setRowCount(0);
tblModel1.setDataVector(data, cols);

// Hiện thị tổng số số liệu
int TSSL = DisplayFrameData2_1_2_GTCCGB.jTable1.getRowCount();
DisplayFrameData2_1_2_GTCCGB.jLabel9.setText("Tổng số số liệu: " +
Integer.toString(TSSL));

// Định dạng các cột tiêu đề trong bảng
for (int j = 0; j < soCot; j++) {
    DisplayFrameData2_1_2_GTCCGB.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
}

```

```

    }
    // Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
    DefaultTableCellRenderer centerRenderer = new DefaultTableCellRenderer();
    centerRenderer.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
    for (int j = 0; j < soCot; j++) {

DisplayFrameData2_1_2_GTCCGB.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(center
Renderer);
    }
    // Cai dat chieu cao cua cac hang
    //jTable1.setRowHeight(20);
    // Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
    TableColumnModel columnModel =
DisplayFrameData2_1_2_GTCCGB.jTable1.getColumnModel();
    columnModel.getColumnModel().getColumn(0).setWidth(30);
    columnModel.getColumnModel().getColumn(0).setPreferredWidth(30);

    columnModel.getColumnModel().getColumn(1).setWidth(30);
    columnModel.getColumnModel().getColumn(1).setPreferredWidth(30);

    columnModel.getColumnModel().getColumn(9).setWidth(100);
    columnModel.getColumnModel().getColumn(9).setPreferredWidth(100);
    // Khong cho phep sua bang
    DisplayFrameData2_1_2_GTCCGB.jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);

    // XU LY SO LIEU
    // Inputs
    // Get DeltaH_gh
    double DeltaH_gh = Double.parseDouble(DeltaH_gh_GBX);
    // Get c
    double c[] = new double[soHang];
    for (int j = 0; j < soHang; j++) {
        c[j] = Double.parseDouble(tblModel1.getValueAt(j, 9).toString());
    }

    // Processes
    // Dua c vao c_temp
    c_temp_GTCCGB.clear();
    for (int j = 0; j < c.length; j++) {
        c_temp_GTCCGB.add(c[j]);
    }

    MyFunctions HamHuuIch = new MyFunctions();
    Object[] ketQua = new Object[2];
    ketQua = HamHuuIch.tinhKVTH_DLC(c);

    // KVTH ac
    double a_c = Double.parseDouble(ketQua[0].toString());
    // DLC sigma_c
    double sigma_c = Double.parseDouble(ketQua[1].toString());
    // HSB delta upsilon_c
    double upsilon_c = sigma_c / a_c;
    // THLV gamma 50%
    double t_gamma_50 = DeltaH_gh / a_c;
    // THLV gamma 90%
    double t_gamma_90 = DeltaH_gh / (1.282 * sigma_c + a_c);

```

```

// THLV gamma 99,99%
double t_gamma_9999 = DeltaH_gh / (3.719 * sigma_c + a_c);

// Outputs
jTextField52.setText(String.format("%G", a_c));
jTextField53.setText(String.format("%G", sigma_c));
jTextField54.setText(String.format("%G", epsilon_c));
jTextField55.setText(String.format("%G", t_gamma_50));
jTextField56.setText(String.format("%G", t_gamma_90));
jTextField57.setText(String.format("%G", t_gamma_9999));

// DUA SO LIEU VAO FrameKQ2_1_2_GTCCGB
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jLabel2.setText("Đoàn tàu:" + DoanTauHN001 +
DoanTauHN002 + DoanTauHN003 + DoanTauHN004 + DoanTauHN005 + DoanTauHN006 +
DoanTauHN007 + DoanTauHN008 + DoanTauHN009 + DoanTauHN010 + DoanTauHN011 +
DoanTauHN012 + DoanTauHN013);
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jLabel3.setText("Toa xe:" + ToaXeTc1 + ToaXeM0 +
ToaXeM1 + ToaXeTc2);
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jLabel4.setText("Trục số:" + TrucSo1 + TrucSo2 +
TrucSo3 + TrucSo4);
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jLabel5.setText("Phía:" + PhiaTrai + PhiaPhai);
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jLabel6.setText("Độ gia tăng giới hạn (mm): " +
DeltaH_gh_GBX);
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jLabel7.setText("Thời gian bắt đầu khảo sát: " +
ngayTableBatDau);
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jLabel8.setText("Thời gian kết thúc khảo sát: " +
ngayTableKetThuc);

// Ham f(c)
double hs1 = 1 / (sigma_c * Math.sqrt(2 * Math.PI));
double hs2 = -1 / (2 * sigma_c * sigma_c);
String ham_f = String.format("%G", hs1) + " exp[" + String.format("%G", hs2) + " (c - " +
String.format("%G", a_c) + ")^2]";

// Ham P(t)
double sigma = Double.parseDouble(jTextField53.getText());
double a = Double.parseDouble(jTextField52.getText());
hs1 = DeltaH_gh / sigma;
hs2 = a / sigma;
String ham_P_t = "Φ(" + String.format("%G", hs1) + " / t - " + String.format("%G", hs2) +
)";

// Ham Q(t)
hs1 = DeltaH_gh / sigma;
hs2 = a / sigma;
String ham_Q_t = "Φ(" + String.format("%G", hs2) + " - " + String.format("%G", hs1) + " /
t)";

int soCot2 = 4;
int soHang2 = 9;

// Data to be displayed in the JTable
Object[][] data2 = new Object[soHang2][soCot2];

// Du lieu cot 0: TT
data2[0][0] = "1";

```

```

data2[1][0] = "2";
data2[2][0] = "3";
data2[3][0] = "4";
data2[4][0] = "5";
data2[5][0] = "6";
data2[6][0] = "7";
data2[7][0] = "8";
data2[8][0] = "9";

// Du lieu cot 1: Thong so
data2[0][1] = "a(c)";
data2[1][1] = "σ(c)";
data2[2][1] = "v(c)";
data2[3][1] = "t_γ=50%";
data2[4][1] = "t_γ=90%";
data2[5][1] = "t_γ=99.99%";
data2[6][1] = "f(c)";
data2[7][1] = "P(t)";
data2[8][1] = "Q(t)";

// Du lieu cot 2: Gia tri
data2[0][2] = String.format("%G", a_c);
data2[1][2] = String.format("%G", sigma_c);
data2[2][2] = String.format("%G", upsilon_c);
data2[3][2] = String.format("%G", t_gamma_50);
data2[4][2] = String.format("%G", t_gamma_90);
data2[5][2] = String.format("%G", t_gamma_9999);
data2[6][2] = ham_f;
data2[7][2] = ham_P_t;
data2[8][2] = ham_Q_t;

// Du lieu cot 3: Don vi
data2[0][3] = "mm/10^5 km";
data2[1][3] = "mm/10^5 km";
data2[2][3] = "";
data2[3][3] = "10^5 km";
data2[4][3] = "10^5 km";
data2[5][3] = "10^5 km";
data2[6][3] = "10^5 km/mm";
data2[7][3] = "";
data2[8][3] = "";

// Column Names
String[] cols2 = new String[soCot2];
cols2[0] = "TT";
cols2[1] = "Thông số";
cols2[2] = "Giá trị";
cols2[3] = "Đơn vị";

// Them du lieu vao table
// Get table model cua jTable1 cua FrameKQ2_1_2_GTCCGB
DefaultTableModel tblModel2 = (DefaultTableModel)
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jTable1.getModel();
tblModel2.setRowCount(0);
tblModel2.setDataVector(data2, cols2);

```

```

Font fontChu = new Font("Times New Roman", Font.BOLD, 16);
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jTable1.setFont(fontChu);

// Dinh dang cac cot tieu de trong bang
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setHeaderRenderer(new
SimpleHeaderRenderer(Color.YELLOW, Color.BLACK));
}
// Can le vao giua cho tat ca cac o trong bang
DefaultTableCellRenderer centerRenderer2 = new DefaultTableCellRenderer();
centerRenderer2.setHorizontalAlignment(JLabel.CENTER);
for (int j = 0; j < soCot2; j++) {

DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jTable1.getColumnModel().getColumn(j).setCellRenderer(centerR
enderer);
}
// Cai dat chieu cao cua cac hang
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jTable1.setRowHeight(23);
// Cai dat do rong cua cot dau tien trong bang va cac cot con lai
TableModel columnModel2 =
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jTable1.getColumnModel();
columnModel2.getColumnModel().getColumn(0).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(0).setPreferredWidth(5);

columnModel2.getColumnModel().getColumn(1).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(1).setPreferredWidth(5);

columnModel2.getColumnModel().getColumn(2).setWidth(400);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(2).setPreferredWidth(400);

columnModel2.getColumnModel().getColumn(3).setWidth(5);
columnModel2.getColumnModel().getColumn(3).setPreferredWidth(5);
// Khong cho phép sửa bảng
DisplayFrameKQ2_1_2_GTCCGB.jTable1.setDefaultEditor(Object.class, null);

// CAP NHAT STATUS
jLabel2.setText("Đã tính toán và cập nhật số liệu");
}

} catch (Exception e) {
jLabel2.setText("Lỗi khi xử lý số liệu: " + e.toString());
}
}

```