Transport and Communications Science Journal

THE DETERMINATION OF INDICATORS FOR THE SAFETY ASSESSMENT OF MODERN TRAIN CONTROL SIGNAL SYSTEM

Nguyen Duy Viet*, Trinh Thi Huong, Trinh Van My, Vu Trong Thuat

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

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article
Received: 13/07/2023
Revised: 19/08/2023
Accepted: 22/08/2023
Published online: 15/10/2023
https://doi.org/10.47869/tcsj.74.8.5

* *Corresponding author*
Email: ndviet@utc.edu.vn; Tel: 0918928379

Abstract: The task of safety assessment of a train control signal system is an indispensable task for any railway transport system. The emergence of a train control signal system with today's modern technology based on computers and computer networks will require a new safety assessment method. The train control signal system is analyzed from the need, function, structure, technology background to give the most general model of the system. Analysis of possible errors of the train control signal system leads to dangerous unstable and unstable events to provide a safety assessment model, thereby forming a full range of concepts, safety indicators and risks for the system. The full determination of safety and risk indicators for a modern train control signal system will be the basis for further studies, finding quantitative methods for each indicator, serving service of evaluation, operation management, design for train control signal system with solutions to ensure train safety.

Keywords: Modern signal system, train safety, safety indicators, danger, quantification.

@ 2023 University of Transport and Communications

Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải

XÁC ĐỊNH CÁC CHỈ SỐ ĐÁNH GIÁ AN TOÀN HỆ THỐNG TÍN HIỆU ĐIỀU KHIỂN CHẠY TÀU HIỆN ĐẠI

Nguyễn Duy Việt*, Trịnh Thị Hương, Trịnh Văn Mỹ, Vũ Trọng Thuật

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

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học
Ngày nhận bài: 13/07/2023
Ngày nhận bài sửa: 19/08/2023
Ngày chấp nhận đăng: 22/08/2023
Ngày xuất bản Online: 15/10/2023
https://doi.org/10.47869/tcsj.74.8.5

* *Tác giả liên hệ*
Email: ndviet@utc.edu.vn; Tel: 0918928379

Tóm tắt: Nhiệm vụ đánh giá an toàn một hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu là nhiệm vụ không thể thiếu đối với bất cứ hệ thống vận tải đường sắt nào. Sự xuất hiện hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu với công nghệ hiện đại ngày nay trên cơ sở máy tính và mạng máy tính sẽ cần có được phương pháp đánh giá an toàn mới. Hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu được phân tích từ sự cần thiết, chức năng hoạt động, đặc điểm cấu trúc, nền tảng công nghệ để đưa ra mô hình chung nhất của hệ thống. Phân tích các lỗi có thể của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu dẫn tới các sự kiện bất ổn định, bất ổn định nguy hiểm để đưa ra mô hình đánh giá an toàn, từ đó hình thành được những khái niệm, những chỉ số an toàn, rủi ro đầy đủ cho hệ thống. Việc xác định đầy đủ các chỉ số an toàn, rủi ro cho một hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu hiện đại sẽ là cơ sở để cho những nghiên cứu tiếp theo, tìm ra những phương pháp định lượng cho từng chỉ số, phục vụ đánh giá, quản lý vận hành, thiết kế hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu với các giải pháp đảm bảo an toàn chạy tàu.

Từ khóa: Hệ thống tín hiệu hiện đại, an toàn chạy tàu, chỉ số an toàn, nguy hiểm, định lượng.

@ 2023 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đánh giá an toàn chạy tàu trong vận tải đường sắt là một trong những nhiệm vụ quan trọng. Khả năng vận chuyển khối lượng lớn lượng hành khách và hàng hóa, việc để xảy ra tai nạn, thậm chí chỉ mới ở mức độ sự cố cũng đã có thể gây thiệt hại đáng kể về người và hàng hóa, ảnh hưởng đến đến các hoạt động bình thường của xã hội. An toàn chạy tàu, nhiệm vụ đánh giá an toàn chạy tàu luôn là nội dung không thể thiếu từ khi bắt đầu thiết kế, lắp đặt, xây dựng cho

tới khi vận hành khai thác các thiết bị, hệ thống trong vận tải đường sắt.

An toàn chạy tàu và đánh giá an toàn chạy tàu là một phạm trù có tính tổng thể, có sự tham gia của nhiều yếu tố như như: hạ tầng, thiết bị, con người, quản lý vận hành, tác động của môi trường tự nhiên và môi trường xã hội.

Khi thiết kế, chế tạo, xây dựng, lắp đặt, vận hành một hệ thống vận tải đường sắt, tất cả các trang thiết bị, hệ thống đã được tính đến vấn đề an toàn. Có những tiêu chuẩn, có tổ chức quản lý đánh giá, kiểm tra của từng giai đoạn trong chu kỳ "sống" của các trang thiết bị, hệ thống. Thông thường trước khi đưa vào vận hành, khai thác chúng còn được thử nghiệm, đánh giá bởi một đơn vị độc lập có tính chuyên môn về an toàn để đảm bảo hệ thống đưa vào vận hành được an toàn [1,2].

Trong tất cả các trang thiết bị, hệ thống tham gia vào đảm bảo an toàn chạy tàu có các hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu. Sự có mặt của các hệ thống này trong tổng thể hệ thống vận tải đường sắt là không lớn, tuy nhiên nó là thành phần trực tiếp liên quan tới an toàn chạy tàu, trực tiếp tới việc đảm bảo an toàn cũng như tạo ra khả năng chống lại, loại bỏ các yếu tố gây mất an toàn. Hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu sinh ra là để kiểm soát tất cả các yếu tố liên quan đến vận hành an toàn của đoàn tàu, đó là kiểm tra sự đảm bảo của cơ sở hạ tầng, thiết bị, chuyển động của các đoàn tàu trên đường, mong muốn của con người về sự vận hành của các đoàn tàu nên hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu tự nó cần đảm bảo độ tin cậy và an toàn sẽ là yếu tố đầu tiên và quyết định trực tiếp kiểm soát được an toàn chạy tàu.

Nhiệm vụ quản lý, đánh giá an toàn ở Việt Nam đã và vẫn đang được thực hiện trên hệ thống đường sắt truyền thống của Việt Nam, một phần trên các hệ thống đường sắt đô thị đã và đang xây dựng nhưng cho đến nay cần có sự thay đổi về nội dung với những lý do sau:

- Các hệ thống vận tải đường sắt đã có sự thay đổi lớn về công nghệ đối với hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu cũng như mức độ đòi hỏi của xã hội đối với an toàn chạy tàu, có tính chất cụ thể và cao hơn so với trước đây. Các hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu trước đây được xây dựng trên cơ sở rơle điện từ, việc đánh giá độ tin cậy và an toàn thông qua độ tin cậy của các rơle điện từ và một số thiết bị liên quan, an toàn của hệ thống liên quan đến việc phân tích nguyên nhân các trở ngại, tai nạn. Tuyến đường sắt truyền thống Hà Nội - Vinh, các tuyến đường sắt đô thị tại Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh đã, đang và sẽ được trang bị các hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu trên cơ sở ứng dụng các công nghệ mới, trên cơ sở máy tính và mạng máy tính như: hệ thống liên khóa điện tử (CBI), hệ thống điều khiển tàu tự động (ATC), điều khiển tàu dựa trên truyền thông (CBTC) cùng các hệ thống thành phần khác. Các hệ thống này khác về công nghệ với các hệ thống trên cơ sở rơ le điện từ được xây dựng trước đây. Công nghệ mới và vấn đề an toàn cho hệ thống điều khiển tín hiệu đã có nhiều nghiên cứu, trong đó có A. Boussif và các cộng sự đã đề cập vấn đề an toàn gắn công nghệ với người tác nghiệp [3];

- Trên thế giới, việc đánh giá an toàn hệ thống giao thông đường sắt ở các nước phát triển được thực hiện nghiêm ngặt, có các tiêu chuẩn, quy chuẩn, có tổ chức đánh giá được cấp phép, có số liệu và có những phương pháp đánh giá, phương tiện đánh giá an toàn. Do vấn đề an toàn đối với các thiết bị, hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu trên cơ sở công nghệ mới, công nghệ điện tử, máy tính đang phát triển nên vấn đề an toàn cũng đang được mỗi nước phát triển các nghiên cứu khác nhau, vận dụng những phương pháp khác nhau. Nhưng tựu chung lại là các nước đều cần chủ động trong việc đánh giá an toàn và định lượng trong đánh giá an toàn cho mình. Vấn đề này cũng đã được đề cập trong Hệ thống tiêu chuẩn châu Âu: EN50126-2 - Các ứng dụng đường sắt—Độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo trì và các thông số kỹ thuật và

trình diễn an toàn (RAMS) Phần 2: Phương pháp tiếp cận hệ thống đối với an toàn [2].

- Hiện tại việc quản lý an toàn trong ngành Vận tải đường sắt ở Việt Nam đã có tiêu chuẩn, quy chuẩn nhưng chủ yếu được áp dụng của nước ngoài. Việc đưa các tiêu chuẩn, quy chuẩn vào quá trình quản lý an toàn chưa có nghiên cứu sự phù hợp, khả năng thực hiện và thậm chí thiếu đội ngũ nắm được bản chất của các chỉ số an toàn. Các công việc về đảm bảo an toàn mới chỉ dừng lại ở mức độ quản lý, ghi nhận những sự cố, tai nạn, thấy vấn đề nào xảy ra, xảy ra nghiêm trọng thì tập trung giải quyết. Việc quản lý an toàn trên các mặt: thiết bị, con người, môi trường (tự nhiên, xã hội) còn thiếu các tiêu chuẩn, quy chuẩn. Các báo cáo và thống kê về an toàn mang tính liệt kê, còn ít phân tích, đánh giá sát nội dung đảm bảo an toàn. Chưa có một hệ thống chỉ số hoàn chỉnh để đánh giá an toàn cho hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu hiện đại [4,5].

- Hiện tại Việt Nam khi thực hiện các dự án, chủ yếu vẫn dựa trên các tiêu chuẩn áp dụng do các nhà thầu cung cấp. Các dự án đang sử dụng công nghệ của một số nước như Nhật, Pháp, Trung Quốc v.v, nên chưa có sự thống nhất về quản lý an toàn. Sự cần thiết và các nội dung cần có khi đánh giá an toàn bắt đầu từ khi lập dự án chưa được đặt ra, việc vận dụng tiêu chuẩn an toàn của một tổ chức nước ngoài mà chưa xét đến các yếu tố công nghệ, thực tế thực hiện dự án cũng như nghiên cứu bản chất của các tiêu chuẩn sẽ dẫn đến bất cập khi đánh giá an toàn cho hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu ở nước ta.

Nói đến hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu, cũng như các hệ thống kỹ thuật khác là cần nói đến đến khái niệm về độ tin cậy và an toàn. Ở đây, độ tin cậy chủ yếu là của trang thiết bị, hệ thống; an toàn cũng là của trang thiết bị, hệ thống và còn thêm là của các yếu tố tác động tới khả năng đảm bảo an toàn của nó đối với công tác chạy tàu. Vậy chúng ta cần làm rõ các khái niệm độ tin cậy, độ an toàn của hệ thống điều khiển tín hiệu điều khiển chạy tàu. Muốn vậy cần phân tích chức năng hoạt động, đặc điểm cấu trúc, nền tảng công nghệ, phân tích các lỗi có thể của hệ thống dẫn tới các sự kiện bất ổn định, bất ổn định nguy hiểm để đưa ra mô hình đánh giá an toàn, hình thành được những khái niệm, những chỉ số an toàn, rủi ro đầy đủ cho hệ thống, xác định các chỉ số đặc trưng cho sự an toàn của hệ thống sẽ làm cơ sở xem xét vấn đề định lượng, vì chỉ có định lượng được thì chúng ta mới có khả năng tiêu chuẩn hóa, đánh giá và cấp phép cho các hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu và tiếp theo là an toàn chạy tàu, có những giải pháp để có thể nâng cao các chỉ số độ tin cậy và chỉ số an toàn của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu [1], [6].

2. HỆ THỐNG TÍN HIỆU ĐIỀU KHIỂN CHẠY TÀU HIỆN ĐẠI ĐẢM BẢO AN TOÀN CHẠY TÀU

An toàn hoạt động của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu được xem xét ở trong khả năng đảm bảo hoàn thành các điều kiện an toàn chạy tàu:

$$L > L_T \tag{1}$$

và $$V_{TT} < V_{GH} \tag{2}$$

Trong đó: L - khoảng cách từ đuôi tàu đi trước đến đầu đoàn tàu kế tiếp theo chiều di chuyển của các đoàn tàu cùng hướng (ở đây xét trường hợp tàu chạy theo một hướng trên một đường;

trường hợp theo hai hướng trên một đường, việc không để hai đoàn tàu đối đầu nhau phụ thuộc vào chức năng kiểm tra sự thanh thoát của khu đoạn, xác lập hướng của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu, không đề cập ở đây);

L_T - khoảng cách tính toán giữa các đoàn tàu;

V_{TT} – tốc độ thực tế của đoàn tàu;

V_{GH} – tốc độ giới hạn an toàn của khu đoạn đường mà tốc độ đoàn tàu không được vượt qua.

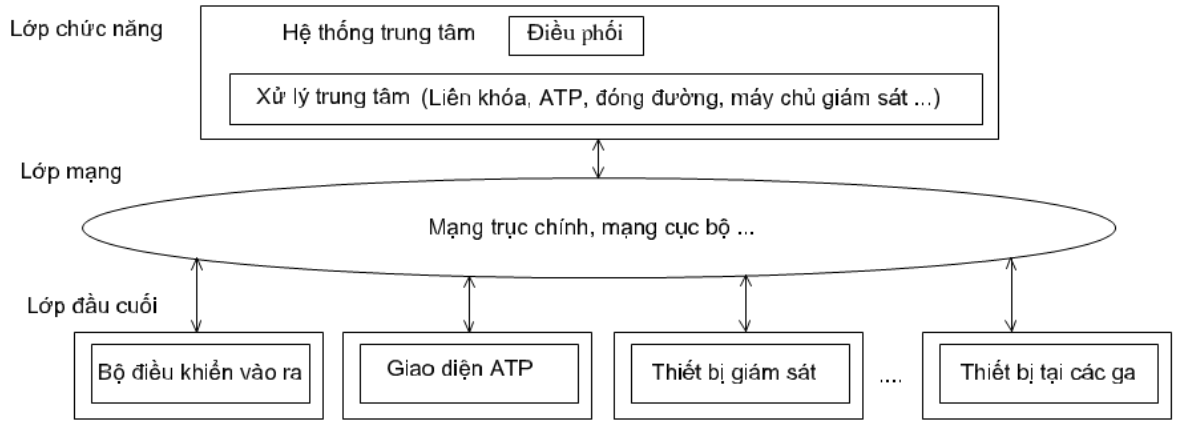
Rõ ràng là khi không đảm bảo điều kiện (1) tức là khoảng cách giữa các đoàn tàu bị nhỏ hơn các khoảng cách tính toán (cho phép) của điều kiện an toàn thì sẽ có thể xảy ra va chạm giữa các đoàn tàu. Còn khi mà không hoàn thành được điều kiện (2) tức là khi tốc độ thực tế của đoàn tàu vượt tốc độ giới hạn cho phép theo điều kiện an toàn thì sẽ xảy ra trật bánh tàu và các thành phần của đoàn tàu ra khỏi đường ray.

Trong cả hai trường hợp, các yếu tố gây sự cố phát sinh do quán tính của đoàn tàu với hành khách và hàng hóa tăng mạnh, tác động cơ học của kết cấu đầu máy, toa xe bị hỏng, việc đó có thể dẫn tới những nguy hiểm. Chính xác là những sự kiện hư hỏng sẽ tạo ra nguy hiểm của quá trình chạy tàu đối với hành khách và hàng hóa, đối với môi trường chung, môi trường kỹ thuật và cả trong chính hệ thống giao thông, vận tải đường sắt.

Trạng thái chuyển động, trong quá trình dịch chuyển của đoàn tàu mà các yếu tố hư hỏng phát sinh, được gọi là nguy hiểm. Theo loại tổn thất do tác động của các yếu tố gây thiệt hại, chúng được chia thành sự cố, tai nạn, những trường hợp đặc biệt nó có tính tác động liên hoàn của các sự cố, tai nạn [1].

Cấu trúc của hệ thống đường sắt là phân bố theo chiều dọc tuyến, tại mỗi điểm: ga và khu gian có nhiều đối tượng như ghi, đường chạy, tín hiệu cần để điều khiển chạy tàu. Các đối tượng bao gồm nhiều trạng thái và hoạt động suốt ngày đêm nên việc nắm được trạng thái của chúng và điều khiển chúng từ trung tâm phục vụ cho chạy tàu an toàn và hiệu quả là nhiệm vụ cần thiết trong vận tải đường sắt mà do hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu đảm nhận.

Bản chất của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu hoạt động với các đối tượng ở các khoảng cách xa nhau, việc truyền, nhận thông tin nhanh, nhiều, tin cậy sẽ quyết định đến chất lượng của hệ thống. Trong sự phát triển nhanh chóng của kỹ thuật điện tử, công nghệ thông tin, chức năng và cấu trúc của một hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu vẫn được xác định như các hệ thống trước đây. Tuy nhiên việc giao tiếp giữa trung tâm với các đối tượng và ngược lại cũng như việc thu thập, tổ chức dữ liệu làm cho hệ thống thông minh hơn, thực hiện các tác nghiệp được nhanh chóng, tin cậy, nhiều đối tượng, xa hơn về tầm kiểm soát sẽ được đảm bảo trên cơ sở một mạng máy tính. Hay nói cách khác, một mạng máy tính gắn với một hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu sẽ đưa hệ thống lên một mức phát triển mới. Các công nghệ hiện đại được áp dụng cho hệ thống mạng máy tính cũng được áp dụng trong các hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu và có xét đến những yêu cầu đặc thù của hệ thống này. Nhiều các vấn đề khó khăn của một hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu truyền thống như: đường truyền, khoảng cách, nhiễu, lượng tin tức lớn, sự tin cậy của tin tức, trễ v.v sẽ được hệ thống hiện đại khắc phục Nhưng ở những hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu cũng xuất hiện những vấn đề mới cần được đặt ra, đó là sự tin cậy, an toàn của các tín hiệu trong mạng máy tính chịu nhiều tác động ở những khoảng cách xa, cần có khả năng làm việc mọi thời điểm, làm sao giám sát, điều khiển các đối tượng để đảm bảo hoàn thành các được yêu cầu như biểu thức (1), (2). [7].



Hình 1. Cấu trúc điển hình của một hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu hiện đại.

Một trong những ảnh hưởng khi hệ thống điều khiển chạy tàu chuyển sang công nghệ mới đã được Trinh Thi Huong và các cộng sự cũng đã đề cập đến sự dịch chuyển tần số khi truyền các bản tin trong hệ thống điều khiển tàu cao tốc [8]. Đó chính là nhiệm vụ đánh giá an toàn và đánh giá khả năng thực hiện đảm bảo chạy tàu an toàn của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu. Hình 1 là cấu trúc điển hình của một hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu hiện đại, về bản chất là các chức năng điều khiển chạy tàu thực hiện trên một hệ thống mạng máy tính.

Để giải quyết nhiệm vụ điều khiển chạy tàu, hệ thống tín hiệu điều khiển cần phải có khả năng hoàn thành các chức năng được xác định, những chức năng này được chia thành chức năng điều khiển và chức năng thông tin. Chức năng điều khiển là thể hiện ở việc gián tiếp hoặc trực tiếp hình thành các lệnh điều khiển hãm và kéo động cơ của đoàn tàu còn chức năng thông tin là việc nhận được những thông tin cần thiết liên quan đến trạng thái các thiết bị, các số liệu để hình thành lệnh điều khiển. Khả năng hoàn thành với những chức năng này được thay đổi theo các trường hợp với sự thay đổi những yêu cầu đối với an toàn chạy tàu, khả năng thông qua, tốc độ của đoàn tàu, độ chính xác thực hiện biểu đồ chạy tàu cho từng khu đoạn chạy tàu cụ thể.

Như vậy, để đảm bảo các điều kiện (1) và (2) hệ thống cần phải có khả năng hoàn thành hàng loạt các chức năng thông tin và điều khiển. Nếu như nó không có khả năng hoàn thành những điều đó tức là không đảm bảo điều kiện an toàn chạy tàu.

3. CÁC CHỈ SỐ AN TOÀN CỦA HỆ THỐNG TÍN HIỆU ĐIỀU KHIỂN CHẠY TÀU

Nhìn nhận hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu hiện đại theo góc độ khả năng thực hiện đúng chức năng. Những yếu tố, những sự kiện liên quan đến chức năng thông tin và chức năng điều khiển của hệ thống có thể có những quan điểm và phương pháp quản lý khác nhau, ví dụ như quản lý theo mô hình 5M như H. Lin và các cộng sự đã trình bày hoặc một số phương pháp khác [9]. Các phương pháp đều có những ưu điểm và nhược điểm nhưng hướng chung là cần mô hình đánh giá đầy đủ các yếu tố an toàn và cần định lượng trong đánh giá.với cấu trúc đặc trưng của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu như hình 1, có thể thấy an toàn của hệ thống liên quan đến bốn nhóm: Thiết bị phần cứng; chương trình, phần mềm; tác nghiệp của nhân viên; lệnh điều khiển [2].

Nguyên nhân phổ biến chính khi chuyển chuyển động của đoàn tàu sang trạng thái nguy hiểm là các trở ngại nguy hiểm của các thiết bị phần cứng do điều kiện hoạt động không thuận

lợi của chúng. Tuy nhiên khi phát triển hệ thống sang loại hình có các phần tử vi xử lý, máy tính làm cơ sở thì liên quan đến việc mất an toàn chạy tàu sẽ còn là các lỗi của các chương trình, phần mềm. Các thuật toán của các hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu sử dụng máy tính tạo ra bởi nhà lập trình và vì vậy hệ thống tín hiệu điều khiển sẽ phụ thuộc vào lỗi của các chương trình, phần mềm.

Sự cần thiết phải tính đến các lỗi của nhân viên tác nghiệp là do thực tế các hệ thống tín hiệu điều khiển tàu trên tuyến hoạt động rất linh hoạt, tức là con người vận hành vẫn là yếu tố không thể thiếu của các hệ thống này. Các kết quả phân tích nguyên nhân sự cố và tai nạn cho thấy về sự cần thiết tính đến các lỗi nguy hiểm của các nhân viên tác nghiệp khi nghiên cứu các giải pháp nâng cao an toàn chạy tàu [3].

Các lỗi hình thành lệnh điều khiển là các lỗi mà chúng được tạo nên bởi các thông tin (tin tức) lỗi khi nhận được từ nguồn tin cung cấp của nó; hoặc là sự biến dạng thông tin ở các kênh truyền dẫn do sự không tin cậy của hệ thống chống nhiễu, trong số đó do hiệu quả không tin cậy của các phương pháp đảm bảo tương thích điện từ của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu và các hệ thống khác [8]; hoặc cũng chính là các lỗi thuật toán hình thành các lệnh điều khiển sinh ra bởi lỗi của những người xây dựng hệ thống.

Các lỗi nguy hiểm và các trở ngại nguy hiểm của hệ thống được gọi là các sự kiện bất ổn định nguy hiểm bởi chúng sẽ phá vỡ sự làm việc tiêu chuẩn của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu và hậu quả của nó là vi phạm tiêu chuẩn chạy tàu. Ngoài các khái niệm sự kiện bất ổn định nguy hiểm còn có khái niệm sự kiện bất ổn định không nguy hiểm. Chúng là nguyên nhân chuyển chuyển động của đoàn tàu sang trạng thái không đủ tiêu chuẩn chạy tàu nhưng không nguy hiểm, nó làm giảm hiệu quả của quá trình vận chuyển nhưng không ảnh hưởng tới mức độ an toàn [10]. Ví dụ là trở ngại nào đó dẫn tới động cơ sức kéo của đầu máy giảm sức kéo, nó sẽ dẫn đến làm giảm tốc độ của đoàn tàu là trở ngại không nguy hiểm.

Trong số những trạng thái bất ổn định không nguy hiểm của chuyển động đoàn tàu có trạng thái được gọi là trạng thái (được) bảo vệ, trạng thái này chính là khi bị tác động gây bất ổn đinh, khả năng chuyển hệ thống sang trạng thái bất ổn định nguy hiểm có xác suất rất nhỏ.

Như vậy để dẫn tới hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu hoạt động không đảm bảo an toàn chỉ có thể là những sự kiện bất ổn định xuất hiện tại bốn nhóm yếu tố liên quan đến an toàn của hệ thống tín hiệu:

- Trở ngại nguy hiểm của thiết bị phần cứng;
- Các lỗi của các chương trình, phần mềm;
- Lỗi tác nghiệp của các nhân viên kỹ thuật;
- Lỗi khi hình thành các lệnh điều khiển.

Với việc dẫn ra các khái niệm về trạng thái nguy hiểm của đoàn tàu và các sự kiện bất ổn bị nguy hiểm sẽ hình thành nên các khái niệm cơ bản của an toàn chạy tàu và hoạt động của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu [11]:

- An toàn chạy tàu là thuộc tính chuyển động của đoàn tàu không chuyển sang trạng thái nguy hiểm.
- An toàn hoạt động của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu là thuộc tính hệ thống hoạt động không có các sự kiện bất ổn định nguy hiểm.

Đối với đặc tính nguy hiểm của chuyển động sử dụng khái niệm rủi ro:

- Rủi ro chuyển chuyển động của đoàn tàu đến trạng thái nguy hiểm- là khả năng chuyển chuyển động của đoàn tàu đến trạng thái nguy hiểm.

Đối với đặc tính nguy hiểm hoạt động của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu cũng có sử dụng khái niệm rủi ro:

- Rủi ro xuất hiện sự kiện bất ổn định nguy hiểm của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu là khả năng xuất hiện sự kiện nguy hiểm bất ổn định của hệ thống.

Do các yếu tố bất ổn định nguy hiểm có tính ngẫu nhiên nên để đánh giá về lượng đối với an toàn và nguy hiểm sử dụng các chỉ số xác suất, đối với an toàn chạy tàu:

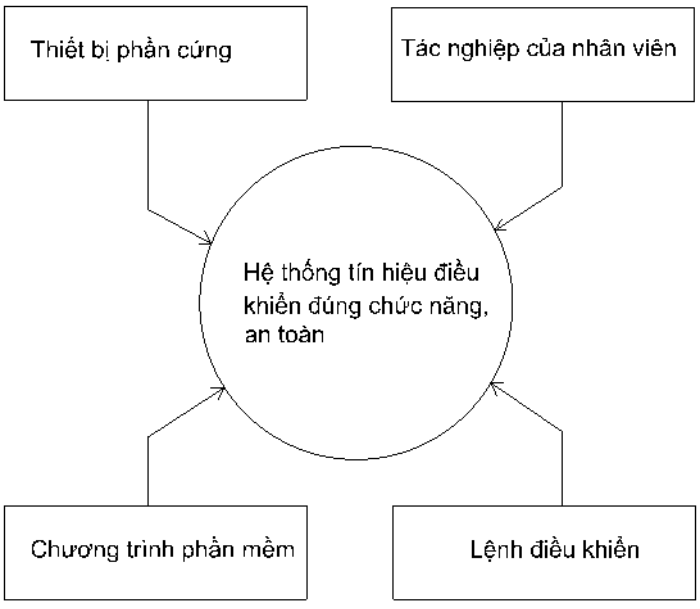
- Chỉ số an toàn chuyển động của đoàn tàu là xác suất đi qua của đoàn tàu trên một khu đoạn đường xác định mà không có sự kiện chuyển chuyển động sang trạng thái nguy hiểm;

- Chỉ số an toàn hoạt động của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu là xác suất hoạt động của hệ thống không có có sự kiện bất ổn định nguy hiểm khi có chuyển động của đoàn tàu trên một một khu đoạn đường xác định;

- Chỉ số rủi ro chuyển chuyển động của đoàn tàu sang trạng thái nguy hiểm là xác suất chuyển chuyển động của đoàn tàu sang trang thái nguy hiểm khi có sự chuyển động của đoàn tàu trên một khu đoạn đường xác định;

- Chỉ số rủi ro xuất hiện sự kiện bất ổn định nguy hiểm là xác suất xuất hiện sự kiện bất ổn định nguy hiểm khi có chuyển động của đoàn tàu trên một khu đoạn đường xác định.

Do các hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu dùng để đảm bảo an toàn khi đoàn tàu vận hành nên các chỉ số về lượng an toàn hoạt động của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu và chỉ số số rủi ro xuất hiện sự kiện bất ổn định nguy hiểm của hệ thống xem xét trong điều kiện chuyển động của đoàn tàu.



Hình 2. Các yếu tố an toàn của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu hiện đại.

Trên cơ sở mô hình an toàn của hệ thống thống tín hiệu điều khiển chạy tàu (Hình 2), các xác định tương tự được hình thành cả cho những hệ thống thành phần riêng biệt:

- Chỉ số an toàn hoạt động các thiết bị phần cứng của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu là xác suất hoạt động của các thiết bị phần cứng của hệ thống không có các trở ngại nguy hiểm khi có chuyển động của đoàn tàu trên một khu đoạn đường xác định;

- Chỉ số an toàn hoạt động các chương trình, phần mềm của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu là xác suất hoạt động của các chương trình, phần mềm của hệ thống không có các lỗi nguy hiểm khi có chuyển động của đoàn tàu trên một khu đoạn được xác định;

- Chỉ số an toàn hoạt động của các lái tàu là xác suất hoạt động của lái tàu không có các lỗi nguy hiểm khi có chuyển động của đoàn tàu trên một khu đoạn được xác định;

- Chỉ số an toàn hoạt động thuật toán của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu là xác suất hoạt động của hệ thống không có các lỗi thuật toán khi có chuyển động của đoàn tàu trên một khu đoạn đường xác định.

Đối lập với các chỉ số an toàn ta có các chỉ số rủi ro:

- Chỉ số rủi ro trở ngại nguy hiểm phần cứng của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu là xác suất có trở ngại nguy hiểm của phần cứng hệ thống khi có chuyển động của đoàn tàu trên một khu đoạn đường xác định;

- Chỉ số rủi ro lỗi nguy hiểm chương trình, phần mềm của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu là xác suất có lỗi nguy hiểm của chương trình, phần mềm khi có chuyển động của đoàn tàu trên một khu đoạn đường xác định;

- Chỉ số rủi ro cho lỗi nguy hiểm của lái tàu là xác suất có lỗi nguy hiểm của lái tàu khi đoàn tàu chuyển động trên một khu đoạn đường xác định;

- Chỉ số rủi ro cho lỗi thuật toán của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu là xác suất có lỗi nguy hiểm của thuật toán của hệ thống khi có chuyển động của đoàn tàu trên một khu đoạn đường xác định.

4. KẾT LUẬN

Với việc đưa ra mối quan hệ mật thiết của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu hiện đại với vấn đề an toàn chạy tàu; tìm hiểu bản chất công nghệ của các hệ thống này, khái quát hóa mô hình hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu trên cơ sở máy tính và mạng máy tính với những đặc điểm làm việc của hệ thống liên quan đến hạ tầng, thiết bị, con người, quản lý vận hành, tác động của môi trường tự nhiên và môi trường xã hội sẽ cho chúng ta có được mô hình đánh giá an toàn (Hình 2) của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu hiện đại. Phân tích các yếu tố trong mô hình theo góc độ an toàn, rủi ro để từ đó xác định các khái niệm rồi đưa ra các chỉ số an toàn và rủi ro một cách đầy đủ cho hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu.

Nước ta cần xây dựng một hệ thống đánh giá an toàn xuyên suốt phù hợp với điều kiện nước ta: từ tiêu chuẩn, quy chuẩn, phương pháp, số liệu v.v, để chủ động trong việc xây dựng các nhiệm vụ an toàn từ khâu lập dự án, thực hiện dự án, đánh giá an toàn, quản lý vận hành hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu, đặc biệt đối với hệ thống hiện đại trên cơ sở máy tính. Vì vậy, những khái niệm, những chỉ số được xây dựng trong bài báo có tính đại diện đủ cho một bức tranh đảm bảo an toàn chạy tàu của hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu, sẽ làm tiền đề cho những nghiên cứu tiếp theo đối với từng chỉ số an toàn với những mô hình toán học để định

lượng chúng, hình thành hệ thống đánh giá an toàn hệ thống tín hiệu điều khiển chạy tàu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. V. M. Lisenkov, Statistical theory of train safety, Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI RAS), Moscow, 1999.

[2]. EN50126-2; Railway Applications—Reliability, Availability, Maintainability and Safety Specifications and Demonstrations (RAMS) Part 2: A systems approach to safety. Center for European Standards Management (CEN-CENELEC): Brussels, Belgium, 2017.

[3]. A. Boussif, A.Tonk, J. Beugin, S. C. Dutilleu, Operational risk assessment of railway remote driving system, Safety and Reliability, (2023). https://doi.org/10.1080/09617353.2023.2226965

[4]. Nguyễn Duy Việt, Phân tích an toàn hệ thống đóng đường tự động đường đôi dòng một chiều trên cơ sở phân tích chức năng để xác định nguyên nhân dẫn tới trạng thái nguy hiểm, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Giao thông Vận tải, 56 (2017) 52-58.

[5]. Nguyễn Duy Việt, Xây dựng phần tử logic "AND" an toàn với tín hiệu kiểm tra chuyên dụng sử dụng trong hệ thống điều khiển chạy tàu, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Giao thông Vận tải, 64 (2018) 44-48.

[6]. Nguyễn Duy Việt, Độ tin cậy và an toàn hệ thống điều khiển giao thông, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, 2010.

[7]. R. Saddem, J. Beugin, M. Ghazel, Methodology Framework for Modelling ETCS - L3 Moving Block System, Conference: TRA 2022 - Transport Research Arena, At: Lisbon, 2022.

[8]. Trinh Thi Huong, Nguyen Manh Dat, To Thi Thao, Nguyen Duy Viet, Vu Van Yem, Compensating Doppler Frequency Shift of High Speed Rail Communications, International Journal of Applied Engineering Research, 13 (2018) 13344-13348.

[9]. H. Lin, T. Yuan, W. Bai, Z. Zhao, L. Ran, X. Li, Q. Lin, Railway Signaling Safety Factors Quantitative Analysis Using an Improved 5M Model, Sustainability, 14 (2022) 6247. https://doi.org/10.3390/su14106247

[10].K. C. Hsueh, Y. C. Lai, Automatic Evaluation Framework for Reliability and Safety of Multiple Train Detection Systems, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2677 (2022). https://doi.org/10.1177/03611981221130331

[11]. D. V. Efanov, V. V. Khoroshev, G. V. Osadchy, Principles of Safety Signalling and Traffic Control Systems Synthesis on Railways, 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russian Federation, (2023) 634-638. https://doi.org/10.1109/ICIEAM57311.2023.10139292