

Badania funkcjonalne urządzeń sterowania ruchem kolejowym

Paweł DRÓZD¹, Adam ROSIŃSKI², Lech KONOPIŃSKI³

Streszczenie

W artykule opisano problematykę badań funkcjonalnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Przedstawiono cel i zakres badań oraz wpływ realizacji testów na urządzenia srk. Zaproponowano metodykę dobierania testów w zależności od zakresu badań. W tym celu dokonano analizy urządzeń srk pod względem właściwości funkcjonalnych i diagnostycznych.

Słowa kluczowe: badania funkcjonalne, urządzenia srk, testy

1. Wstęp

Funkcjonalne badanie urządzeń sterowania ruchem kolejowym, szczególnie na dużej stacji, jest czasochłonne. Ponadto, wykonywanie testów pociąga za sobą ograniczenia w dostępności badanych urządzeń i w trakcie przeprowadzania prób wykorzystanie urządzeń do sterowania ruchem jest praktycznie niemożliwe lub bardzo utrudnione. Wykonanie próby wymaga doprowadzania urządzeń do określonego początkowego stanu, do którego konieczne jest zaangażowanie odpowiednich środków technicznych i zasobów ludzkich. Wynika stąd potrzeba poszukiwania optymalnych zestawów sprawdzeń (testów) niezbędnych do postawienia właściwej diagnozy o stanie funkcjonalnym urządzeń. W procesach diagnozowania stosowane są metody optymalizacji, z wykorzystaniem których otrzymujemy uporządkowane programy testów [1]. Ich kolejność jest określana w wyniku zastosowanego kryterium. Kryteria kosztowe, prawdopodobieństwa uszkodzeń lub przyrostu entropii o badanym obiekcie porządkują program pod względem ilości i chłonności (czasu, zasobów ludzkich, sprzętowych itp.) wykonania prób. Konieczna staje się analiza, czy zastosowanie metod znanych z diagnostyki technicznej podczas realizacji badań funkcjonalnych przełoży się na większą dostępność urządzeń do prowadzenia ruchu oraz czy możliwe jest wprowadzenie dodatkowych urządzeń i sygnałów innych niż naturalne [6, 9, 10].

W przypadku badania obiektów mało złożonych wystarczy doświadczenie i intuicja odpowiednio wy-

kwalifikowanego personelu i z reguły badania w ten sposób są wykonywane. Natomiast w przypadku dużych obiektów konieczne jest wprowadzenie uogólnień i formalizacji zagadnień potrzebnych do opracowania optymalnego programu badań. Dla obiektów złożonych trudno jest opracować właściwy i pełny program badań, jak to ma miejsce dla małych konfiguracji [9, 10].

2. Cel i zakres badań funkcjonalnych

Badania funkcjonalne urządzeń są formą sprawdzania, w których jest oceniana zgodność ze specyfikacją reakcji systemów na:

- wymuszenia generowane przez operatora,
- otoczenie systemowe,
- losowe, które mają charakter zakłóceń lub uszkodzeń.

Celem tych badań jest więc sprawdzenie wszystkich funkcjonalności systemu pod względem zgodności z zasadami prowadzenia ruchu i sygnalizacji na sieci kolejowej. Ponadto badania przeprowadza się w celu sprawdzenia zgodności z zasadami bezpieczeństwa zawartymi w dokumentacji normatywnej. Są to tzw. badania certyfikacyjne [3, 4, 11].

Kolejnym celem są testy przeprowadzane w procesie odbioru aplikacji i przekazania do eksploatacji [12]. Takie badania przeprowadza się dla urządzeń nowo zabudowanych, po modernizacji urządzeń lub też modernizacji urządzeń na sąsiednich posterun-

¹ Mgr inż.; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; e-mail: pdrozd@wt.pw.edu.pl.

² Dr hab. inż. Prof. PW; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; e-mail: adam.rosinski@pw.edu.pl.

³ Dr inż.; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; e-mail: lkonop@wt.pw.edu.pl.

kach (wpływ na funkcjonalność) oraz w przypadku napraw lub wymiany komponentów.

Urządzenia nowo zabudowane należy przetestować pod względem realizacji wszystkich zaimplementowanych funkcji na danym obiekcie. Jest to badanie aplikacji specyficznej, dostosowanej wyłącznie do określonego posterunku ruchu. Podczas testów sprawdzana jest zgodność oprogramowania aplikacyjnego i poprawności montażu z projektem i wymaganiami zarządcy infrastruktury. Testy przeprowadza się dla spełnionych i niespełnionych warunków realizacji poleceń, przy tym nie wykonuje się badań bezpieczeństwa, jak podczas testów certyfikacyjnych. Badania po modernizacji urządzeń na posterunku oraz modernizowanych urządzeń na sąsiednich posterunkach i liniach stycznych przeprowadza się w celu potwierdzenia poprawności współpracy urządzeń oraz poprawności działania interfejsów.

Ostatnią grupą testów są testy wykonywane w procesie eksploatacji podczas diagnostyki okresowej urządzeń. W tej grupie są sprawdzone wszystkie funkcje zaimplementowane w urządzeniach pod względem ich dostępności. Sprawdzenie dokonuje się podczas realizacji planu diagnostycznego, zgodnie z instrukcjami diagnostyki i przeglądów [7, 8]. Podczas realizacji zadań na posterunku ruchu, niektóre funkcje systemu są bardzo rzadko lub w ogóle nieużywane oraz mogą być nieuwzględnione w programie diagnostycznym dla posterunku. Testy funkcjonalne przeprowadzane są m.in.:

- w procesie certyfikacji urządzeń i ocenie zgodności urządzeń nowo wprowadzanych na rynek;
- podczas odbioru urządzeń i układów powiązań (przekazanie do eksploatacji):
 - nowo zabudowanych,
 - po modernizacji,
 - po przebudowie (np. układu torowego stacji, dodaniu nowych funkcji w urządzeniach),
 - czasowo wyłączonych, przed przywróceniem ich do eksploatacji;
- w procesie eksploatacji:
 - cyklicznie w stałych odstępach czasu zgodnie z instrukcjami utrzymania,
 - po stwierdzeniu zakłóceń w działaniu urządzeń,
 - po usunięciu usterek wymagających napraw, wymiany uszkodzonych elementów i regulacji,
 - po wypadkach kolejowych w ramach postępowania komisji ds. wypadków kolejowych.

Każdy wymieniony przypadek wiąże się z realizacją określonego zbioru testów. W zależności od konfiguracji funkcjonalnej urządzeń i celu testów, zestaw ten może się różnić liczebnością przypadków testowych. Należy podkreślić, że badania przeprowadza się na urządzeniach czynnych, będących podstawą prowadzenia ruchu, a na czas prób wprowadza się zamknię-

cia torowe, wyłączając część układu torowego z ruchu. Konieczne jest również zaangażowanie personelu, będącego na posterunku w czasie wykonywania testów, do obsługi urządzeń (nastawianie przebiegów, ustawianie kierunku blokady liniowej, symulacja zajętości). Te działania powodują ograniczenie dostępności urządzeń do prowadzenia ruchu i wpływają na sytuację ruchową posterunku, co może powodować perturbacje w ruchu pociągów. Oczywiście, prowadzenie ruchu pociągów jest priorytetowe, co wpływa również na przebieg testów, gdyż w czasie przejazdu pociągu rozkładowego badania należy przerwać. Pozytywnym czynnikiem jest fakt, że realizacja zadania – nastawienie przebiegu, przejazd pociągu, zwolnienie przebiegu jest również testem kontrolującym stan konfiguracji funkcjonalnej przebiegu. Podsumowując, przy realizacji badań funkcjonalnych urządzeń srk występują następujące problemy:

- wpływ testu na sytuację ruchową na posterunku lub szlaku,
- ograniczenie dostępności systemu srk do prowadzenia ruchu,
- zaangażowanie dyżurnego ruchu w obsługę urządzeń związaną z realizacją testów,
- wpływ sytuacji ruchowej na realizację testów,
- brak sformalizowanej metody wyznaczania testów dla określonych obiektów.

Powstają więc pytania: Czy można zminimalizować negatywne skutki realizacji testów funkcjonalnych? Jakże dostępne sygnały można wykorzystać do testowania urządzeń bez wprowadzania nowych sygnałów i stosowania dodatkowej aparatury? Aby odpowiedzieć na te pytania, konieczna jest: analiza urządzeń srk, właściwości funkcjonalnych i diagnostycznych, zdefiniowanie stanów urządzeń oraz dostępnych zadań i poleceń.

3. Analiza urządzeń srk względem właściwości funkcjonalnych i diagnostycznych

System sterowania ruchem kolejowym jest zbiorem urządzeń sterujących i sterowanych (elementów) i obejmuje swoim działaniem określony obszar sterowania [1, 5]. Urządzenia te tworzą strukturę techniczną systemu sterowania, a ich powiązania stanowią strukturę funkcjonalną systemu srk. Struktura systemu jest niepowtarzalna dla każdego obszaru sterowania. Sterowanie i kontrola stanu elementów odbywa się przez dedykowane karty sterujące. Karty te mają specjalne oprogramowanie wraz z odpowiednimi algorytmami sterowania i kontroli. W komputerowych urządzeniach srk wszystkie elementy sterowa-

ne mają w systemie odwzorowanie w formie obiektów logicznych. Obiekty te charakteryzują się tzw. statusem, którym może być:

- stan fizyczny obiektu, np. aktualne położenie zwrotnicy, stan niezajętości odcinka torowego;
- stan logiczny obiektu (nadawany przez jednostkę zależnościową):
 - wynikający z realizacji zadania procesu sterowania ruchem np. utwierdzenie,
 - wynikający z realizacji polecenia operatora, np. zastopowanie,
 - wynikające z procesu utrzymania, zakłóceń lub uszkodzeń.

W celu przybliżenia pojęcia statusu, przedstawiono przykładowo możliwe stany fizyczne oraz logiczne, w jakich może znajdować się zwrotnica.

Stany fizyczne zwrotnicy

- położenie:
 - zwrotnica w położeniu prawym (na wprost),
 - zwrotnica w położeniu lewym (przełożona),
 - zwrotnica w położeniu pośrednim (w trakcie przestawiania);
- zajętość przez tabor (kontrolowana przez odrębny układ kontroli niezajętości):
 - niezajęta,
 - zajęta;
- kontrola:
 - zwrotnica w trakcie przestawiania (brak kontroli),
 - brak kontroli położenia zwrotnicy w wyniku zakłóceń / uszkodzeń.

Stany logiczne zwrotnicy

- brak danych o elemencie sterowanym;
- zajętość logiczna (wynikająca np. z procedury resetu sekcji licznika osi);
- zastopowana dla przestawiania;
- zamknięta dla przebiegowego nastawiania;
- utwierdzona (w przebiegu pociągowym, manewrowym):
 - w drodze ochronnej,
 - w ochronie bocznej,
 - w drodze jazdy.

Wszystkie stany, w których może znajdować się zwrotnica N można przedstawić w postaci macierzy:

$$N = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \dots \\ n_n \end{bmatrix}.$$

Uzyskanie stanu „położenie lewe” i -tej zwrotnicy wymaga wykorzystania algorytmu sterowania a_{i2} .

Analogicznie, uzyskanie innego statusu pozostałych elementów konfiguracji zadania w macierzy wymaga wykorzystania algorytmu odpowiedniego dla tego elementu:

$$N_i = \begin{bmatrix} a_{i1}^N \\ a_{i2}^N \\ a_{i3}^N \\ a_{i4}^N \\ a_{i5}^N \\ a_{i6}^N \\ a_{i7}^N \end{bmatrix}.$$

Dla pozostałych urządzeń konfiguracji: układu kontroli niezajętości torów i rozjazdów T i sygnalizatora S zapis macierzowy z wykorzystaniem algorytmów sterowań pozostaje analogiczny (dla adekwatnych statusów urządzeń do typu urządzenia):

$$T_i = \begin{bmatrix} a_{i1}^T \\ a_{i2}^T \\ \dots \\ a_{in}^T \end{bmatrix}, \quad S_i = \begin{bmatrix} a_{i1}^S \\ a_{i2}^S \\ \dots \\ a_{in}^S \end{bmatrix}.$$

Przejście do określonego stanu jest wymuszone poleceniem nastawczym, wydanym z pulpitu nastawczego przez dyżurnego ruchu. Polecenie nastawcze może mieć postać polecenia indywidualnego, dotyczącego jednego elementu konfiguracji systemu lub kilku elementów. Obsługa polecenia indywidualnego spowoduje reakcję tylko tego elementu, do którego jest ono adresowane. Polecenie nastawienia przebiegu spod semafora polega na zaznaczeniu początku i końca drogi przebiegu oraz wybraniu rodzaju nastawionego przebiegu (pociągowy, manewrowy). Realizacja polega na zaznaczeniu wybranej drogi przebiegu, kontroli dostępności elementów, doprowadzeniu elementów do wymaganego stanu, zamknięciu przed przestawianiem i utwierdzeniu, a następnie wyświetleniu sygnału zezwalającego na jazdę.

Sterowanie elementami odbywa się z wykorzystaniem ściśle określonych algorytmów sterowania i kontroli a informacje i sygnały, na podstawie których jest realizowane to:

- polecenia nastawcze:
 - przebiegowe, np. nastawienie przebiegu,
 - indywidualne, np. przełożenie zwrotnicy;
- informacje z urządzeń przytorowych o ich stanie i predyspozycji do realizacji polecenia;
- informacje o sytuacji ruchowej w obszarze sterowania i w jego otoczeniu systemowym.

W konfiguracji nie są uwzględnione elementy systemu powiązanego funkcjonalnie, będącego w otoczeniu systemowym. Jego algorytmy sterowań nie są badane podczas testów funkcjonalnych elementów konfiguracji stacji. Należy jednak pamiętać, że właściwy stan elementów otoczenia systemowego będzie wpływał na realizację zadania na stacji. Przykładowo, nieustawiony kierunek blokady nie umożliwi nastawienia przebiegu wyjazdowego, podobnie jak w przypadku nieaktywowanej powiązanej / uzależnionej sygnalizacji przejazdowej.

Zbiór poleceń nastawczych (przebiegowych i indywidualnych) wraz z użytą konfiguracją funkcjonalną można przedstawić w formie tabelarycznej (tablica 1). Do poleceń przebiegowych przy zapisie z wykorzystaniem algorytmów sterowań można z powodzeniem wykorzystać tablicę zależności, gdyż precyzuje ona, które urządzenia są wykorzystywane w przebiegu i jaki jest ich wymagany status. Polecenia indywidualne będą dotyczyć wyłącznie tych elementów, dla których są one przeznaczone. Tak opracowana tablica jest zarazem zestawieniem wszystkich zadań możliwych do wykonania przez system.

Zapis tablicy zadań określonymi algorytmami sterowań zawiera wszystkie zaimplementowane algorytmy sterowania i kontroli w systemie. Zapisane są one

w nagłówku tablicy 1. Algorytmy używane są do realizacji poleceń przebiegowych i/albo indywidualnych. Istnieje zbiór algorytmów, które są używane tylko podczas poleceń przebiegowych lub indywidualnych. To, czy algorytm jest wykorzystywany w danym zadaniu jest określone w komórce jako „1”, jeśli nie jest wykorzystywany – jako „0”.

Liczba i zakres badań jest zależny od celu testów. W przypadku testów certyfikacyjnych, odbiorczych i cyklicznej diagnostyce, należy przetestować wszystkie funkcje systemu, ale ograniczając się do pokrycia testem każdej funkcji tylko raz. Dotyczą one aplikacji poprawnej logicznie i zweryfikowanej, więc nie ma potrzeby badać funkcji kilkakrotnie w innych konfiguracjach zadań. Do realizacji kontroli funkcji w trakcie eksploatacji urządzeń po naprawach, zakłóceniach w realizacji funkcji, testy zawęża się do kontroli określonych funkcji. Aby skontrolować realizację określonej funkcji, należy wyszukać zadania, w których występuje algorytm realizujący tę funkcję. Jeżeli dany kontrolowany algorytm występuje tylko w jednym zadaniu, zadanie to jest sprawdzeniem niezbędnym i koniecznym do zrealizowania. Przykładowo, jeśli wymieniono uszkodzoną kartę sterownika zewnętrznego napędu zwrotnicowego nr 1, to aby skontrolować poprawność naprawy i realizacji funkcji należy w tablicy wyszukać

Tablica 1

Tablica zadań realizowanych przez system srk w zapisie algorytmów sterowania [opracowanie własne]

			Algorytmy sterowania i kontroli											
			Zwrotnice						Semafor			Odcinki torowe i zwrotnicowe		
a_{11}^N	a_{12}^N	a_{1n}^N	a_{21}^N	a_{22}^N	a_{2n}^N	a_{A1}^S	a_{A2}^S	a_{An}^S	a_{A1}^T	a_{A2}^T	a_{An}^T			
Zadania	Polecenia przebiegowe	ZP ₁	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
		ZP ₂	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
		ZP ₃	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		ZP _n	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Polecenia indywidualne	ZI ₁	1	0	0	0	0	0	–	–	–	–	–	–
		ZI ₂	0	1	0	0	0	0	–	–	–	–	–	–
		ZI ₃	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		ZI _n	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0	0	1

gdzie:

ZP, ZI – zadania: polecenia przebiegowe ZP, polecenia indywidualne ZI,

ZP₁, ZP₂, ZP_n – zadania w postaci przebiegów – polecenia przebiegowe zgodne z tablicą zależności,

ZI₁ – polecenie przestawienia zwrotnicy w +,

ZI₂ – polecenie przestawienia zwrotnicy w –,

ZI_n – polecenie resetu LO.

zadania, w których zwrotnica 1 jest uwzględniona w konfiguracji zadania. Są to zadania ZP_1 , ZP_2 , ZI_1 , ZI_2 . Na tej podstawie otrzymuje się informacje o poprawności realizacji funkcji przez badany element, a co za tym idzie o stanie funkcjonalnym urządzeń.

5. Podsumowanie

Wykonywanie badań funkcjonalnych wiąże się z ograniczeniami w dostępności urządzeń oraz infrastruktury do realizacji zadań na posterunku ruchu, kosztami i zaangażowaniem personelu stacji. Minimalizację negatywnego wpływu testów można już przeprowadzić na poziomie doboru testów do realizacji. Dobór związany jest z celem testów i ich zakresem. Logiczne jest, że przy szerszym zakresie testów, np. przy badaniach certyfikacyjnych, wymaga się liczniejszego zbioru testów niż przy badaniu funkcji po prostej naprawie jednego z podzespołów konfiguracji. Zaproponowana metodyka polega na wykorzystaniu dostępnych zadań zdefiniowanych w dokumentacji projektowej i naturalnych sygnałów systemowych. Jest to wskazane podejście, gdyż nie wprowadza się obcych sygnałów oraz dodatkowej aparatury, a ponadto otrzymuje się rzeczywistą odpowiedź badanych urządzeń, którą można bezpośrednio skorelować z dokumentacją projektową i jednoznacznie określić stan funkcjonalny systemu. Dobór testów powinien znacząco ograniczyć negatywne wpływy badań. Dalsze prace związane z tematem będą polegać na analizach kosztu realizacji testów oraz możliwości wykorzystania zagadnień minimalizacji zbiorów testów znanych z diagnostyki urządzeń. Zastosowanie kryteriów kosztowych umożliwi uporządkowanie zbioru testów oraz wybór tych sprawdzeń, które będą miały najmniejszy wpływ na dostępność urządzeń srk podczas ich badania.

Literatura

1. Dąbrowa-Bajon M.: *Podstawy sterowania ruchem kolejowym. Funkcje, wymagania, zarys techniki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
2. Będkowski L., Dąbrowski T.: *Podstawy eksploatacji. Podstawy diagnostyki technicznej*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2000.
3. Drózd P., Konopiński L.: *Badania systemów sterowania ruchem kolejowym w procesie ich certyfikacji*, Problemy Kolejnictwa, 2011, z. 152.
4. Drózd P.: *Badania funkcjonalne w procesach certyfikacji i eksploatacji urządzeń sterowania ruchem kolejowym*, Logistyka, Instytut Logistyki i Magazynowania, 2015, nr 4, s. 176–182.
5. Drózd P.: *Analiza właściwości funkcjonalno-diagnostycznych urządzeń srk*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2016, nr 113, s. 121–130.
6. Fidali M., Wojciechowski P., Pełka A.: *Fault Detection of Railway Point Machine Using Diagnostic Models*, Springer International Publishing AG 2018, A. Timofiejczuk et al. (eds.), *Advances in Technical Diagnostics, Applied Condition Monitoring*, vol. 10.
7. Instrukcja diagnostyki technicznej i kontroli okresowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym Ie-7, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa, 2005.
8. Instrukcja konserwacji, przeglądów oraz napraw bieżących urządzeń sterowania ruchem kolejowym Ie-12, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa, 2017.
9. Jidong Lv. et.al.: *A Model-based Test Case Generation Method for Function Testing of Train Control Systems*, IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation, ICIRT, 2016.
10. Liu B., Ghazel M., Toguyeni A.: *Model-Based Diagnosis of Multi-Track Level Crossing Plants*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2016, Volume 17, Issue 2, pp. 546–556.
11. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych Dz.U. z dnia 30 maja 2014 r. poz. 720.
12. Wytczne odbioru technicznego oraz przekazywania do eksploatacji urządzeń sterowania ruchem kolejowym Ie-6, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2005.