

Andrzej SOWA

Politechnika Krakowska, Kraków

WYKORZYSTANIE WEKTORA CECH DIAGNOSTYCZNYCH W OCENIE STANU TECHNICZNEGO ZESTAWU KOŁOWEGO

Słowa kluczowe

Eksploatacja, diagnostyka techniczna, pojazdy szynowe, zestawy kołowe, stan techniczny, wektor cech diagnostycznych.

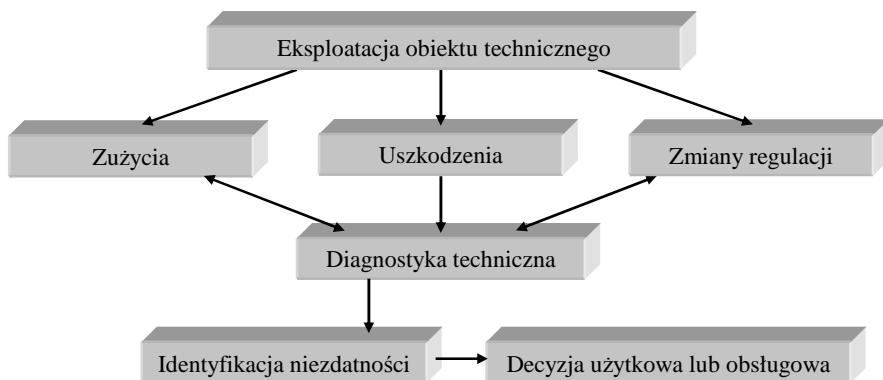
Streszczenie

Praca dotyczy problemu diagnostyki zestawów kołowych pojazdów szynowych. W artykule przedstawiono zbiory cech mierzonych podczas badań diagnostycznych zestawu kołowego, które są podstawą oceny jego stanu technicznego. Wartości te tworzą wektor cech diagnostycznych, który może być wykorzystany podczas identyfikacji stanu technicznego pojazdu. W tym celu, w artykule wyszczególniono wartości graniczne tych cech, a także ograniczenia dotyczące użytkowania oraz odnoszące się do działań, które należy wykonać w systemie obsługi, w razie przekroczenia tych wartości. Umożliwia to identyfikację stanów technicznych pojazdów szynowych w trakcie eksploatacji. Tego typu relacje pomiędzy wartościami cech diagnostycznych i ograniczeniami mogą być wykorzystane do automatyzacji procesu formułowania diagnozy stanu technicznego pojazdu szynowego.

Wprowadzenie

Pojazdy lądowe to grupa obiektów technicznych, w których podczas eksploatacji obserwuje się występowanie określonych procesów destrukcyjnych

[2], jak również zmiany regulacji uniemożliwiające dalsze ich użytkowanie. Procesy te obejmują elementy składowe pojazdów i z uwagi na dynamikę zmian mogą być zakwalifikowane jako zużycia lub uszkodzenia [6]. Wszystkie powstałe niezdatności powinny być zidentyfikowane podczas badań diagnostycznych eksploatowanego obiektu, a to stanowi podstawę sformułowania odpowiedniej decyzji użytkowej lub obsługowej (rys. 1).



Rys. 1. Diagnostyka techniczna w procesie eksploatacji obiektu technicznego

Jest rzeczą oczywistą, że wpływ niekorzystnie zmienionych elementów składowych pojazdów na jego funkcjonowanie jest niejednakowy. W każdym pojeździe lądowym wyróżnić można jednak takie elementy, które decydują o bezpieczeństwie jego użytkowania. Niekorzystne zmiany w nich zachodzące mogą być przyczyną podjęcia decyzji o wycofaniu pojazdu z użytkowania (ruchu) i podjęciu odpowiednich czynności obsługowych. Istnieje więc w takich przypadkach konieczność identyfikowania rozmiaru tych niekorzystnych zmian, po uprzednim określeniu wartości granicznych, które one mogą przyjmować. W najprostszym przypadku dla jednego elementu trzeba przyjąć przynajmniej jedną miarę tych zmian, w innych należy przyjąć ich kilka. A wtedy, w procesie wnioskowania, muszą one wszystkie być brane pod uwagę. Taka sytuacja zachodzi w przypadku zestawu kołowego, którego niekorzystne zmiany muszą być opisane szeregiem miar związanych z bezpieczeństwem użytkowania pojazdów szynowych. Zbiór tych wartości może definiować wektor wartości pewnych cech i może być wykorzystany, w aktualnym momencie eksploatacji, jako wskaźnik zdatności tego zespołu.

1. Cechy fizyczne w definicji stanu technicznego obiektu diagnostyki

Każdy obiekt techniczny w procesie projektowania i wytwarzania części, a następnie podczas ich montażu uzyskuje własności, które można opisać pew-

nym zbiorem cech fizycznych. Cechy te nazywane są cechami stanu [3], cechami stanu obiektu [1], parametrami struktury [5], zmiennymi stanu [4] lub parametrami stanu [7]. Odnoszą się one do struktury wewnętrznej [2] obiektu diagnostyki.

Wartości cech stanu mogą w trakcie eksploatacji ulegać zmianie – najczęściej pogorszeniu – na skutek występowania różnorodnych procesów, w tym procesów zużycia. Zmiany w poszczególnych elementach obiektu mogą zachodzić podczas eksploatacji w całej ich masie lub w warstwie wierzchniej. Można to opisać cechami stanu, które są funkcjami:

$$x_i = x_i[f_{i,a}(t)] \quad (1)$$

gdzie:

x_i – i -ta cecha stanu,

t – czas eksploatacji (przebieg),

$f_{i,a}$ – funkcja odwzorowująca t w wartości cechy stanu x_i w warunkach a .

Wpływ warunków eksploatacji na postacię funkcji f_i łatwo wykazać. Dla pojazdu trakcyjnego wystarczy porównać zużycie obrzeży kół jego zestawów kołowych podczas eksploatacji na terenach górzystych i nizinnych.

Jak już wspomniano, poszczególne elementy składowe pojazdów mogą być opisywane za pomocą jednej (co rzadko) lub wielu cech. W tym drugim przypadku należy wtedy wziąć pod uwagę zbiór wartości cech stanu o liczności n . Zbiór taki możemy traktować jako wektor stanu [7], który w danej chwili eksploatacji wyznacza punkt deskrypcyjny [2] w przestrzeni n -wymiarowej. Pozwala to na formalne zdefiniowanie **stanu technicznego** jako własności obiektu diagnozowanego determinowanej przez wektor cech stanu, czyli [10]:

$$\mathbf{X}(t,a) = [x_1[f_{1,a}(t)], x_2[f_{2,a}(t)], \dots, x_n[f_{n,a}(t)]] \quad (2)$$

gdzie:

$\mathbf{X}(t,a)$ – wektor stanu technicznego po okresie eksploatacji t w warunkach a ,

n – ilość składowych wektora stanu.

Z warunku ciągłości zmian wartości dla większości cech stanu wynika to, że punkt deskrypcyjny wyznaczony przez wektor $\mathbf{X}(t,a)$ przemieszcza się (pełza [2]) w przestrzeni n -wymiarowej β . Tak więc, podczas eksploatacji mamy do czynienia z nieprzeliczalnym zbiorem wektorów $\mathbf{X}(t,a)$, czyli nieprzeliczal-

nym zbiorem chwilowych stanów technicznych obiektu. Aby badania diagnostyczne mogły być podstawą do podejmowania określonych decyzji, w przestrzeni β należy wyznaczyć pewne granice obszarów utożsamianych z określonymi klasami stanów technicznych.

W [5] wykazano, że do diagnostyki technicznej oprócz cech stanu wykorzystuje się zbiory cech wyjściowych: roboczych i towarzyszących. Pozwala to, po przyjęciu wspólnego oznaczenia cech pochodzących z różnych grup oraz nowego oznaczenia dla wszystkich funkcji określających wartości tych cech, na sformułowanie pojęcia wektora cech diagnostycznych $\mathbf{Y}(t, a)$, który może być zapisany w następujący sposób [10]:

$$\mathbf{Y}(t, a) = [y_1[\varphi_{1,a}(t)], y_2[\varphi_{2,a}(t)], \dots, y_p[\varphi_{p,a}(t)]] \quad (3)$$

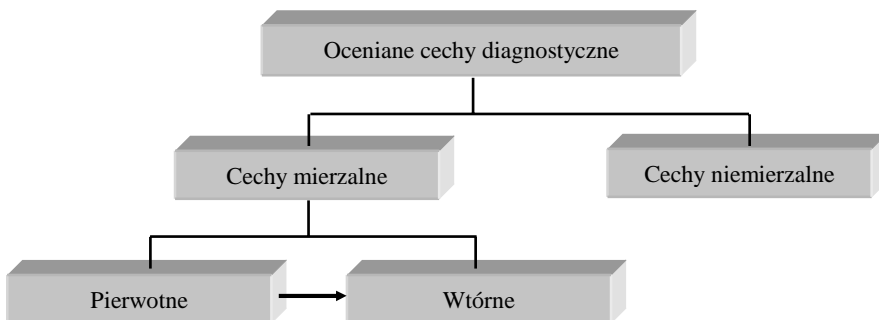
gdzie:

y_1, \dots, y_p – wybrane cechy diagnostyczne obiektu,

$\varphi_{p,a}$ – funkcja odwzorowująca t w wartości cechy diagnostycznej y_p w warunkach eksploatacji a .

Sprawdzenie wartości takich reprezentatywnych cech diagnostycznych umożliwia zaliczenie obiektu diagnostyki do odpowiedniej klasy stanów technicznych, ale wtedy, gdy wcześniej zostaną określone współzależności pomiędzy wartościami granicznymi cech i klasami stanów technicznych.

Oprócz wykorzystywanych w diagnostyce cech, które charakteryzują zasadnicze i pomocnicze funkcje (wektory \mathbf{Y}_z i \mathbf{Y}_d) [2], w przypadku pojazdów należy wyodrębnić zbiór cech bezpieczeństwa ruchu (wektor \mathbf{Y}_b) [8,10].



Rys. 2. Podział ocenianych cech diagnostycznych

Wartości graniczne cech bezpieczeństwa są, w przypadku pojazdów szynowych, przedmiotem specjalnych uregulowań przyjmowanych przez wszystkich użytkowników pojazdów i mają moc prawną.

Cechy diagnostyczne dotyczące zestawu kołowego, będące jednocześnie najczęściej cechami stanu, wchodzi w skład grupy cech bezpieczeństwa ruchu.

Poddawane ocenie cechy diagnostyczne mogą być podzielone także na dwie zasadnicze grupy: cech mierzalnych i niemierzalnych (rys. 2). Pierwsza z nich może obejmować cechy pierwotne i wtórne.

Cechy pierwotne to te, które mogą być zmierzone w sposób bezpośredni lub pośredni z użyciem odpowiednich przetworników wielkości fizycznych. Wtórne cechy dotyczą dodatkowych powiązań pomiędzy cechami pierwotnymi i posiadają odpowiednie wartości graniczne tych powiązań. Tego rodzaju powiązania występują między innymi w przypadku zestawu kołowego.

2. Cechy diagnostyczne zestawu kołowego

Zastosowanie wektorowej reprezentacji stanu technicznego jest szczególnie użyteczne podczas badań diagnostycznych zestawu kołowego pojazdów szynowych, który na skutek występujących procesów zużycia wymaga łącznej oceny wartości zmierzonych określonego zbioru cech.

W ocenie stanu technicznego zestawu kołowego należy wziąć pod uwagę wyniki pomiarów cech pierwotnych, wtórnych oraz jeszcze pewien dodatkowy zbiór cech, dotyczących charakterystycznych zużyć lub uszkodzeń zestawu kołowego. Zostały one szczegółowo wyspecyfikowane w [11].

Wewnętrzne przepisy PKP [12, 13] oraz Norma PN-92/K-91045 [14] przewidują określone wartości graniczne lub oceny jakościowe poszczególnych cech oraz ograniczenia w eksploatacji pojazdów szynowych, wynikające z ich przekroczenia. Wartości te zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości graniczne cech bezpieczeństwa dla zestawu kołowego z obręczą do lokomotywy elektrycznej (za [11], na podstawie [12,13,14])

Poz.	Nazwa i oznaczenie cechy	Warunki dodatkowe	Relacja do wartości granicznej	Rodzaj decyzji
1	grubość obręczy $O - y_1$		<40 mm	U_2
2			<30 mm	O_3
3	wysokość obrzeża maksimum $O_{w_{max}} - y_2$		>32 mm	U_1
4			>36 mm	O_1
5	wysokość obrzeża minimum $O_{w_{min}} - y_2$		<25 mm	O_1
6	grubość obrzeża $O_g - y_3$	Poz. 13	<25 mm	U_1
7			<22 mm	O_1
8	maksymalna grubość obrzeża $O_{g_{max}} - y_3$		$>32,5^{+0,5}$ mm	O_1
9	stromość obrzeża $q_R - y_4$		$<7,5$ mm	U_1
10			$<6,5$ mm	U_3
11			<5 mm	O_1
12	maksymalna stromość obrzeża $q_{R_{max}} - y_4$		$>10,8^{+0,2}$ mm	O_1

Poz.	Nazwa i oznaczenie cechy	Warunki dodatkowe	Relacja do wartości granicznej	Rodzaj decyzji
13	suma grubości obrzeży w zestawie $O_{g1}+O_{gp} - y_5$	Poz. 6,10,15,16	<53 mm	U_1
14		Poz. 6,10,15,16	<48 mm	U_3
15	odległość $Az' - y_6$		>1363 mm lub <1357 mm	O_3
16	odległość $Ez - y_7$		<1410 mm	O_1
17	bicie osiowe $G - y_8$		>0,5 mm	U_4
18			>0,8 mm	U_5
19			>1 mm	O_1
20	bicie promieniowe $H - y_9$		>0,3 mm	U_5
21			>0,5 mm	O_1
22	szerokość obręczy $b - y_{10}$		>141 mm	O_1
23			<138 mm	O_3
24	różnica średnic kół		>0,5 mm	U_1
25	D-D' w zestawie - y_{11}		>1 mm	O_1
26	różnica średnic kół		>2 mm	U_1
27	D-D' w wózku - y_{12}		>3 mm	O_1
28	różnica średnic kół D-D' między wózkami - y_{13}		>5 mm	O_1
29	chropowatość powierzchni tocznej i obrzeża - y_{14}		$Ra > 10 \mu\text{m}$ lub $Rz > 40 \mu\text{m}$	U_6
30	różnica odległości od czola przedpia- ścia C-C' - y_{15}		>1 mm	O_3
31	nawis na wierzchołku obrzeża P - y_{16}		>2 mm	O_1
32	nawis na powierzchni tocznej S - y_{17}		>3 mm	U_1
33			>6 mm	O_1
34	płaskie miejsce lub narost Op - y_{18}		>0,5 mm	U_1
35			>1 mm	O_1
36	niezdatność obręczy wykryta metodą defektoskopową - y_{19}		<i>tak</i>	O_3
37	niezdatność osi wykryta metodą defek- toskopową - y_{20}		<i>tak</i>	O_4
38	moment niewyważenia statycznego		>0,150 kgm	U_5
39	$M_{ws} - y_{21}$		>0,250 kgm	O_2
40	moment niewyważenia dynamicznego		>0,075 kgm	U_5
41	$M_{wd} - y_{22}$		>0,125 kgm	O_2
42	rezystancja zestawu R - y_{23}		>0,01 Ω	O_3
43	pokrywanie się znaków kontrolnych Zk - y_{24}		<i>nie</i>	O_3
44	czystość dźwięku Dz - y_{25}		<i>nie</i>	O_3
45	występowanie rdzy Rd - y_{26}		<i>tak</i>	O_3
46	szczelina obręcz - koło bosc (S_{ok}) - y_{27}		>0,15 mm	O_3
47	szczelina koło bosc - pierścień zaci- skowy (S_{zk}) - y_{28}		>0,15 mm	O_3
48	szczelina obręcz - pierścień zaciskowy (S_{zk}) - y_{29}		>0,15 mm	O_3

W kol. 5 tab. 1 zamieszczono symboliczne oznaczenia rodzajów decyzji dotyczących użytkowania lub obsługi pojazdu. Ich znaczenie przedstawia tab. 2.

Tabela 2. Rodzaje decyzji użytkowych i obsługowych ze względu na stan techniczny zestawu kołowego lokomotywy (za [11], na podstawie [12,13,14])

Lp.	Rodzaj decyzji	Opis decyzji	Typ decyzji
1	U_1	$v < 140$ km/h	użytkowa
2	U_2	ruch towarowy lub pasażerski $v < 70$ km/h	
3	U_3	ruch towarowy	
4	U_4	$v < 160$ km/h	
5	U_5	$v < 120$ km/h	
6	U_6	$v < 125$ km/h	
7	O_1	odtworzenie profilu	obsługowa
8	O_2	usunięcie niewyważenia	
9	O_3	wymiana obręczy	
10	O_4	wymiana osi	

3. Klasyfikacja stanów technicznych pojazdów szynowych ze względu na zestaw kołowy

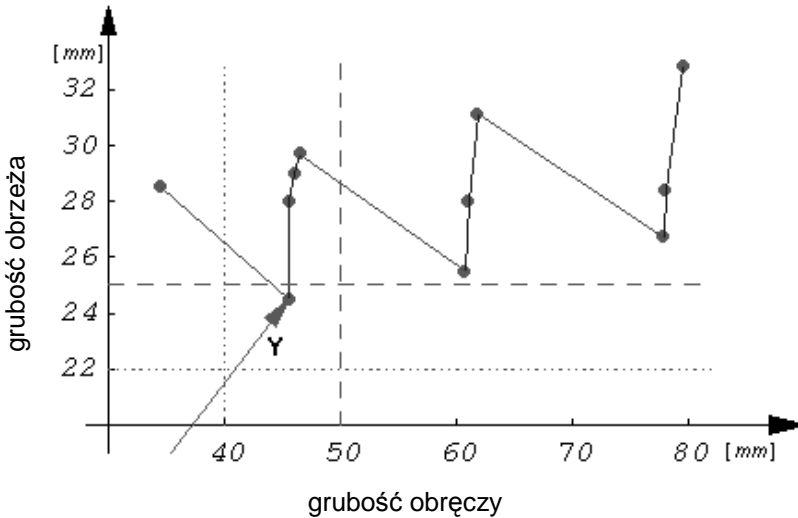
Przyjmując oznaczenia poszczególnych cech, zamieszczone w kolumnie 2 tabeli 1 oraz wartości graniczne lub binarne (1 dla spełnionej oceny jakościowej) z 4 kolumny tej tabeli, wektor cech diagnostycznych dla zestawu kołowego można zdefiniować jako:

$$\mathbf{Y}(t, a) = [y_1[\varphi_{1,a}(t)], y_2[\varphi_{2,a}(t)], \dots, y_{29}[\varphi_{29,a}(t)]] \quad (4)$$

gdzie:

y_1, \dots, y_{29} – cechy diagnostyczne zestawu kołowego.

Postaci poszczególnych funkcji $\varphi_{1,a}, \dots, \varphi_{29,a}$ są na ogół trudne do określenia ze względu na zmieniające się warunki użytkowania pojazdów, chociaż przy dzisiejszym rozwoju systemów informatycznych możliwe jest ich wyznaczenie dla pojazdów użytkowanych na określonych trasach. Nie stanowi to jednak szczególnego utrudnienia w realizacji zdań diagnostyki, ponieważ podczas formułowania diagnozy dokonuje się porównania bieżącej wartości cechy z jej poziomami wartości granicznych. Ilustracją tego może być przykład zawarty w [10] i zamieszczony na rys. 3, będący wizualnym przedstawieniem składowych wektora cech diagnostycznych odnoszących się do cech $\{y_1, y_3\}$ (wg tab. 1).



Rys. 3. Rzut przykładowego wektora stanu technicznego zestawu kołowego (Y) na płaszczyznę cech diagnostycznych $\{y_1, y_3\}$, tj. grubości obręczy i obrzeża [10]

Rysunek przedstawia zmiany grubości obrzeża i obręczy koła, ich wartości graniczne oraz rzut przykładowego wektora Y na płaszczyznę tych cech, a także linie graniczne: przerywaną – dla ruchu ekspresowego, kropkowaną – osobowego.

Każdy z wyników pomiaru (punkty na rys. 3) jest przedmiotem oceny – czy nie przekracza wartości granicznych, zawartych w tabeli 1. Jeśli zachodzi taki przypadek, to następuje zmiana klasy stanu technicznego obiektu. Zestaw kołowy ze stanu zdadności S_z może przejść do klasy stanów zdadności warunkowej S_{zw} , zdefiniowanej formalnie w [9] lub do klasy stanu niezdadności S_{nz} .

Gdy dla ograniczeń użytkowych z tab. 1 wprowadzimy przyporządkowanie typu:

$$U_i \Rightarrow Sw_i \quad (5)$$

w którym: i – identyfikator ograniczenia użytkowego,

Sw_i – podklasa stanu zdadności warunkowej dla ograniczenia i ,

to dla klasy stanu zdadności warunkowej S_{zw} możliwe jest wyróżnienie zbioru podklas stanów:

$$S_w = \{Sw_1, Sw_2, Sw_3, Sw_4, Sw_5, Sw_6\} \quad (6)$$

Drugie przyporządkowanie typu:

$$O_j \Rightarrow So_j \quad (7)$$

w którym: j – identyfikator rodzaju obsługi,

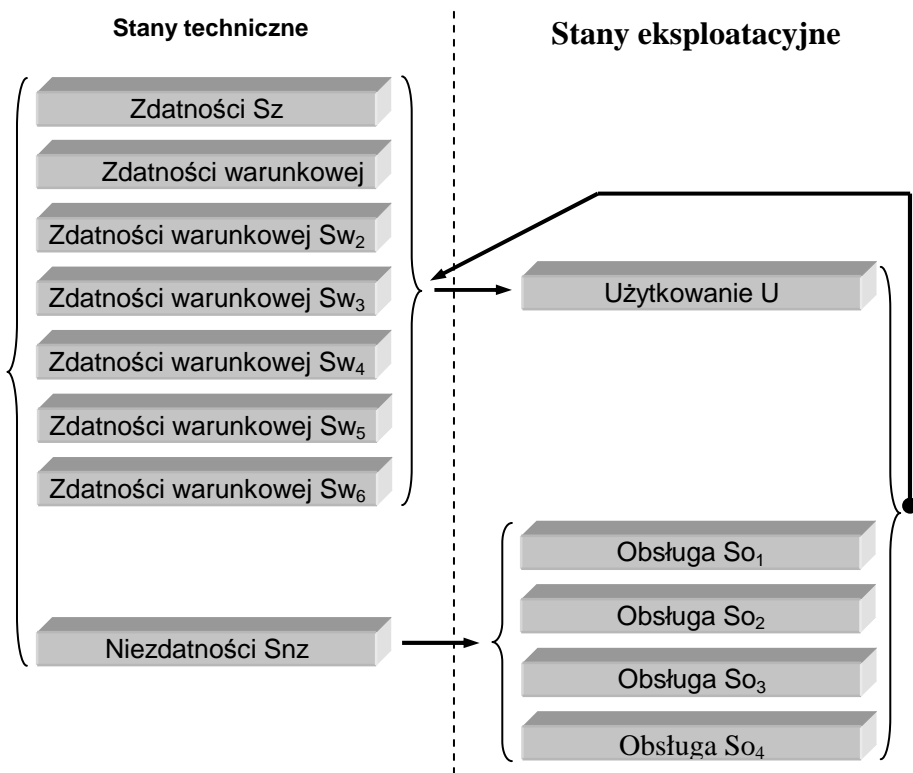
So_j – podklasa stanu niezdadności dla ograniczenia j ,

dla klasy stanu niezdatności S_{nz} , pozwala wyróżnić następujący zbiór podklas stanów obsługowych:

$$S_{nz} = \{So_1, So_2, So_3, So_4\} \quad (8)$$

Przejścia pomiędzy podklasami stanów technicznych i eksploatacyjnych zostały przedstawione na rys. 4. Ilustruje on warianty decyzji, które mogą być podejmowane w wyniku przeprowadzonych badań diagnostycznych.

Wymienione przyporządkowania sprawiają, że wektor cech diagnostycznych $Y(t, a)$ można traktować jako pewien uogólniony wskaźnik zdatności zestawu kołowego pojazdu szynowego. Relacje pomiędzy cechami diagnostycznymi, ograniczeniami oraz podklasami stanów technicznych przedstawionymi na rys. 4 mogą być wykorzystane do formułowania diagnozy stanu technicznego zestawu kołowego, w sposób zautomatyzowany.



Rys. 4. Stany pojazdu szynowego i warianty decyzji w procesie diagnostyki zestawu kołowego

Podobny sposób postępowania może być także wykorzystany w przypadku innych cech diagnostycznych, odnoszących się do innych zespołów, co w rezultacie umożliwi automatyzowanie procesu podejmowania decyzji eksploatacyjnych w stosunku do całego pojazdu szynowego.

Wymaga to oczywiście zaprojektowania odpowiedniej struktury bazy danych dla przechowywania wszystkich informacji niezbędnych dla procesu diagnozowania.

Są to informacje o wynikach pomiarów, wartościach granicznych zbiorów cech diagnostycznych zestawu kołowego i innych zespołów pojazdu, typu relacji powodujących zmiany podklas stanu technicznego, rodzaju ograniczeń i rodzajów obsługi. Innym niezbędnym warunkiem jest budowa odpowiedniego programu użytkowego, zapewniającego nie tylko rejestrację i archiwizację danych, ale ich przetwarzanie i odpowiednią interpretację.

Podsumowanie

Wektorowa interpretacja stanu technicznego, przeprowadzona na podstawie wyników pomiarów cech diagnostycznych, może dotyczyć każdego złożonego zespołu, układu bądź całego pojazdu szynowego. Usystematyzowanie wartości granicznych tych cech, zestawienie rodzajów ograniczeń użytkowych, generowanych przekroczeniem odpowiednich wartości granicznych oraz określenie rodzajów obsługi, koniecznych do przeprowadzenia w takiej sytuacji, pozwala na zdefiniowanie skończonego zbioru stanów technicznych pojazdu szynowego, będącego obiektem diagnostyki. Wykorzystujący to odpowiedni system automatycznej diagnostyki pojazdów może skutecznie eliminować człowieka z procesu podejmowania decyzji eksploatacyjnych, czyli eliminować potencjalne źródło błędów i subiektywnego działania.

Bibliografia

1. Będkowski L.: Elementy diagnostyki technicznej. WAT, Warszawa 1991, 70.
2. Będkowski L.: System dozoru-terapeutyczny w ujęciu wieloprocesorowym. Materiały V Krajowej Konferencji Diagnostyka Techniczna Urzędzeń i Systemów Diag' 2003, Ustroń 2003, 30.
3. Cholewa W.: Wspomaganie procesu wnioskowania w diagnostyce technicznej. Materiały V Krajowej Konferencji Diagnostyka Techniczna Urzędzeń i Systemów Diag' 2003, Ustroń 2003, 64.
4. Chudzikiewicz A.: Elementy diagnostyki pojazdów szynowych. ITeE, Radom 2002, 10.
5. Hebda M., Niziński S.: Pelc H.: Podstawy diagnostyki pojazdów mechanicznych. WKiŁ, Warszawa 1980, 14, 15, 22.

6. Magiera J., Piec P.: Ocena zużycia i niezawodności pojazdów szynowych. Ossolineum, Wrocław – Warszawa – Kraków 1994, 14.
7. Niziński St.: Elementy eksploatacji obiektów technicznych. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2000, 70,71.
8. Sowa A.: Klasyfikacja stanów technicznych dla systemu użytkowania pojazdów szynowych. Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej nr 86, seria Konferencje nr 26, tom 2, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, 279–286.
9. Sowa A.: Klasyfikacja stanów w eksploatacji pojazdów szynowych. Czasopismo Techniczne, seria Mechanika, Politechnika Krakowska 2005, z. 3-M, 269–278.
10. Sowa A.: Wykorzystanie krzywych zużycia w konstrukcji wektora stanu technicznego obiektu diagnostyki. Problemy Eksploatacji z. 2/2007. ITeE Radom 2007, 65–76.
11. Sowa A.: Wektor cech diagnostycznych jako uogólniony wskaźnik zdolności zestawu kołowego pojazdu szynowego. Materiały XVIII Konferencji Naukowej „Pojazdy Szynowe”, Politechnika Śląska, Katowice– Ustroń 2008, tom II, 435–448.
12. Instrukcja o utrzymaniu zestawów kołowych pojazdów szynowych – MT-11 (projekt). Dyrekcja Generalna PKP S.A. Warszawa 2001.
13. Szczegółowe parametry utrzymania technicznego zestawów kołowych pojazdów szynowych i wagonów (projekt). PKP S.A. Dyrekcja Kolejowych Przewozów Towarowych CARGO. Katowice 2001.
14. Norma PN-92/K-91045. Tabor kolejowy. Zestawy kołowe. Wymagania i badania.

Recenzent:

Franciszek TOMASZEWSKI

Diagnostic feature vector used in the evaluation of vehicle wheel set technical state

Key-words

Technical operation, technical diagnose, rail vehicle, wheel set, technical condition, diagnostic features vector.

Summary

The paper deals with the problem of diagnostics of vehicle wheel sets. In the article, a diagnostic of set features, which are measured during diagnostic

tests were presented. It is a basis for the technical condition evaluation of the vehicle wheel set. Values measured in these tests create the diagnostic features vector, which could be used for identification technical condition of a vehicle. For this, border values of these features and limitations for vehicle use as well as for kinds of working indispensable for realisation in the service system were also specified in the paper. The research makes identification of the technical conditions of rail vehicles for technical operation possible. This type of relationships between diagnostic features and limitations can be used for automation of the formulation processes of the diagnosis of rail vehicle technical condition.