XIII KONFERENCJA NAUKOWA ZN POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
„POJAZDY SZYNOWE '98" Seria: TRANSPORT z.31, nr kol. 1392

Zbigniew DURZYŃSKI

DIAGNOSTYKA UKŁADÓW BIEGOWYCH POJAZDÓW SZYNOWYCH NA BAZIE SYGNAŁÓW WIBROAKUSTYCZNYCH

Streszczenie. W referacie przedstawiono ideę i perspektywy zastosowania nowoczesnych technik metrologicznych wykorzystujących sygnały wibroakustyczne generowane na styku koło-szyna do diagnozowania układów biegowych pojazdów szynowych. Referat zawiera także krótką informację o stosowanych w kraju sposobach diagnozowania niektórych podzespołów układu biegowego. Podana jest w nim geneza sformułowania ważnego dla obsługi systemu transportowego zadania badawczego. Zestawiono ponadto tematy niezbędnych etapów badawczych, których wykonanie jest konieczne dla oceny możliwości wdrożenia tej metody.

THE DIAGNOSTICS OF THE RAIL VEHICLE RUNNING SYSTEMS ON THE VIBRO-ACOUSTIC BASIS

Summary. In the paper an idea and a perspective of applying the modern metrological techniques taking advantage of vibro-acoustic signals generated by wheel-rail contact, for a diagnosis of running systems of the rail vehicles have been presented. Short information about currently used in Poland some methods of diagnosis of subassemblies of the running systems is also contained in the paper. The genesis of formulating of the research issue, important for the maintenance of the transport system is also contained. Furthermore the themes of the indispensable stages performing of which is necessary for estimation of possibilities of utilisation the method have been listed.

1. WSTĘP

Aktualne tendencje technologiczne powodują, że nowoczesne pojazdy szynowe wyposażane są w podzespoły o coraz wyższym poziomie technicznym, wymagającym, dla zapewnienia im wysokich współczynników gotowości technicznej, przeprowadzania automatycznej obsługi opartej na obiektywnej diagnostyce. Podstawowym podzespołem w pojazdach szynowych jest układ biegowy. We wszelkich typach pojazdów szynowych jego stan ma wyjątkowe znaczenie ze względu na bezpieczeństwo jazdy i trwałość torów, a w wagonach pasażerskich i pojazdach trakcyjnych także ze względu na komfort jazdy pasażerów i pracy maszynistów.

2. STOSOWANE METODY DIAGNOZOWANIA WÓZKÓW

Aktualnie w Polsce prace diagnostyczne przy układzie biegowym pojazdów szynowych, zwłaszcza podczas przeglądów bieżących i okresowych, wykonywane są prostymi środkami technicznymi, co powoduje, że są uciążliwe i czasochłonne, i co zatem idzie - kosztowne. Ponadto metody ocen są subiektywne, co powoduje, że ocena stanu technicznego pojazdu, zależna od sumienności i doświadczenia pracownika, z uwagi na rolę czynnika ludzkiego nie może być traktowana jako w pełni wiarygodna.

Nowoczesne środki techniczne obsługi pojazdów szynowych, także w zakresie układów biegowych w kraju, są stosowane sporadycznie, co przy dużej liczbie pojazdów (tysiące sztuk różnych typów) powoduje konieczność ponoszenia wysokich nakładów na przeglądy bieżące i okresowe.

Koszt przeglądów i napraw, wynikający z coraz droższych roboczogodzin w najbliższych latach będzie wzrastał, jeśli nie będą wprowadzane systemy prawidłowej diagnostyki eksploatacyjnej.

Dopiero w ostatnich latach, czyli zbyt niedawno, by mogłoby być to szeroko rozpowszechnione, zaczęto intensywnie pracować nad poprawieniem tego niezadowalającego stanu. Między innymi opracowano projekty różnych stanowisk diagnostycznych dotyczących obsługi wózków pojazdów szynowych, np. [1]:

- do pomiaru i kontroli momentu oporowego wózków (kontrolowane wychylanie wózka dla oceny histerezy momentu oporowego i ewentualnych nieprawidłowości w układzie zawieszenia),
- do wykrywania przegrzanych łożysk osiowych (z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego odczytywanego przez czujniki temperatury maźnic),
- do oceny deformacji bieżni kół (na podstawie detekcji utraty styku koła z szyną),
- do oceny i regulacji zawieszenia pojazdu (wichrowanie pojazdu na specjalnej, ruchomej wadze umożliwiającej wytrącenie tarcia wewnętrznego w układzie zawieszenia).

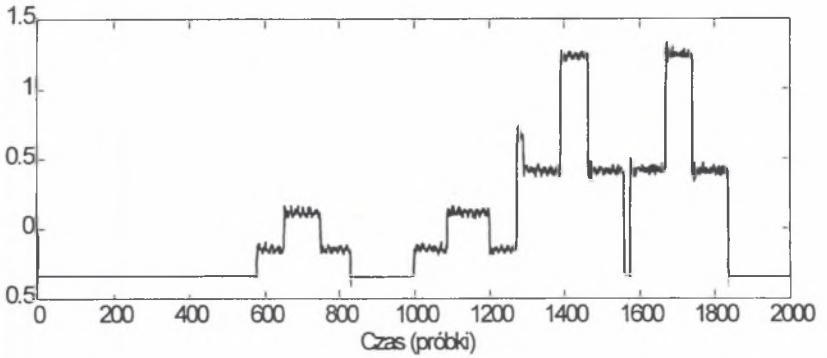
Metody badań stosowane na tych stanowiskach nie wykorzystują zatem efektów wibroakustycznych powstających podczas pracy układu biegowego pojazdu szynowego.

3. KONCEPCJA WYKORZYSTANIA SYGNAŁÓW WIBROAKUSTYCZNYCH W DIAGNOZOWANIU WÓZKÓW

3.1. Geneza koncepcji

Ideą przewodnią poszukiwania rozwiązań dla sformułowanego wyżej zadania badawczego jest teza, że chwilowe naprężenia w szynach lub naciski kół na szynę (sygnały wibroakustyczne powstające w wyniku wymuszenia dynamicznego na styku koła i szyny, generowane w układzie biegowym pojazdu szynowego w czasie ruchu nawet z niewielkimi prędkościami) niosą informacje o stanie technicznym tego układu biegowego.

Teza ta została wstępnie potwierdzona eksperymentami w czasie realizacji projektu celowego pt. *Elektroniczna waga pomostowa nowej generacji do dynamicznego i statycznego wyznaczania masy załadowanych i próżnych pojazdów szynowych*. Analiza sygnałów reprezentujących siły generowane w podparciu pomostu ważącego wagi dynamicznej wykazała, że są one silnie zakłócone przez defekty tego układu biegowego (np. przez zużyte obręcze koła). Zapis sygnału zakłóconego stanem technicznym wózka przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Zapis przykładowego sygnału z czujników ważenia [2]
Fig. 1. Record of an exemplary signal from load sensor [2]

Istotną zaletą podejścia wykorzystującego sygnały wibroakustyczne jest możliwość jego technicznej realizacji. Tensometryczna technika pomiarów naprężeń w szynach, generowanych w wyniku oddziaływania koła w ruchu, została w ostatnich latach rozwinięta do poziomu umożliwiającego ważenie pojazdów szynowych w ruchu z dokładnością wymaganą w rozliczeniach handlowych. Przykładem są tutaj wagi typu SATURN firmy Schenk lub urządzenie ważące WEIGHTLINE firmy Chronos Richardson. W odróżnieniu do sygnałów pomiarowych w systemach ważących dla celów diagnostycznych konieczne będzie nie odfiltrowanie sygnałów (pochodzenia dynamicznego), lecz odwrotnie, ich wzmocnienie, a potem przetworzenie i przeanalizowanie za pomocą odpowiednio opracowanych programów komputerowych.

Dotychczasowe doświadczenia z eksploatacji pojazdów wskazują na potrzebę podjęcia prac badawczych nad poszukiwaniem różnorodnych metod do diagnozowania wieloelementowego mechanizmu, jakim jest układ biegowy pojazdu szynowego, w tym także wykorzystujących sygnały wibroakustyczne.

Według wiedzy autora, zarówno w odniesieniu do przewidzianych do wytworzenia narzędzi wykorzystujących zjawiska wibroakustyczne, jak również w odniesieniu do diagnozowanego tymi narzędziami obiektu, jakim jest układ biegowego pojazdu szynowego, prezentowany temat badawczy nie był dotychczas w Polsce realizowany.

3.2. Ogólne założenia metody

Różny charakter sygnałów generowanych w czasie ruchu pojazdu jest wynikiem nie tylko własności konstrukcyjnych i materiałowych, lecz także stanu technicznego głównych elementów układu biegowego pojazdu szynowego, np.:
- powierzchni tocznej obrzeża kół,
- usprężynowania I i II stopnia,
- ramy wózka.
- łożysk maźniczych i przekładni głównej,
- zębów przekładni głównej.

Prace badawcze powinny dać odpowiedź na następujące pytania:
- jaki zasób informacji o stanie technicznym podzespołów układu biegowego dają sygnały z układu koło-szyna podczas ruchu pojazdu,

- czy analiza tych sygnałów (ich przebieg czasowy i parametry) pozwala oceniać sprawność techniczną głównych podzespołów,
- czy zasób tych informacji pozwala oceniać różnice w stanie technicznym tych samych podzespołów w różnych wózkach,
- które z podzespołów wózka mogą być obicktywnie diagnozowane za pomocą tych sygnałów.

Podstawowym zadaniem badawczym jest dobór takiego rodzaju układu pomiarowego oraz miejsc, w których będą mierzone naprężenia oraz siły i ich rodzaj, by uzyskane sygnały obiektowe były najbardziej wrażliwe na stan techniczny układu biegowego.

Drugim ważnym zadaniem jest optymalizacja metod przetwarzania sygnałów obiektowych zmierzająca do znalezienia parametrów najlepiej reprezentujących stan techniczny układu biegowego.

Praca ta prowadziłaby do opracowania katalogu typowych uszkodzeń i ich obrazu częstotliwościowo-amplitudowego. Do tego celu powinny być wykorzystane, jako sygnały odniesienia, sygnały z czujników zabudowanych bezpośrednio na wytypowanym podzespole z celowo wprowadzonym uszkodzeniem. Katalog taki może być podstawą metody diagnozowania stanu układu biegowego pojazdu, której bezpośrednim wynikiem będzie wczesne wychwycenie uszkodzeń, co w efekcie końcowym ograniczy skutki wykrytych uszkodzeń i obniży koszty eksploatacji taboru i torów.

Eksperymenty te, weryfikujące opracowane wcześniej modele symulacyjne, powinny być przeprowadzane na laboratoryjnym stanowisku badawczym układów biegowych. Jego istotną częścią, poza zbudowanymi dla potrzeb badań urządzeniami pomiarowymi na bazie procesorów sygnałowych, będzie układ czujników, które odbierać będą sygnały wibroakustyczne z układu koło-szyna generowane w pojeździe ze znanym uszkodzeniem w jego części biegowej. Uszkodzenia te w miarę możliwości powinny być maksymalnie wariantowane, a sygnały odpowiadające różnym uszkodzeniom, po odpowiednim przetworzeniu przez komputer sterujący procesem diagnostycznym, analizowane i katalogowane. Przewidywać należy także opracowanie odpowiedniej sieci neuronowej do przetwarzania parametrów diagnostycznych i udoskonalania systemu [3].

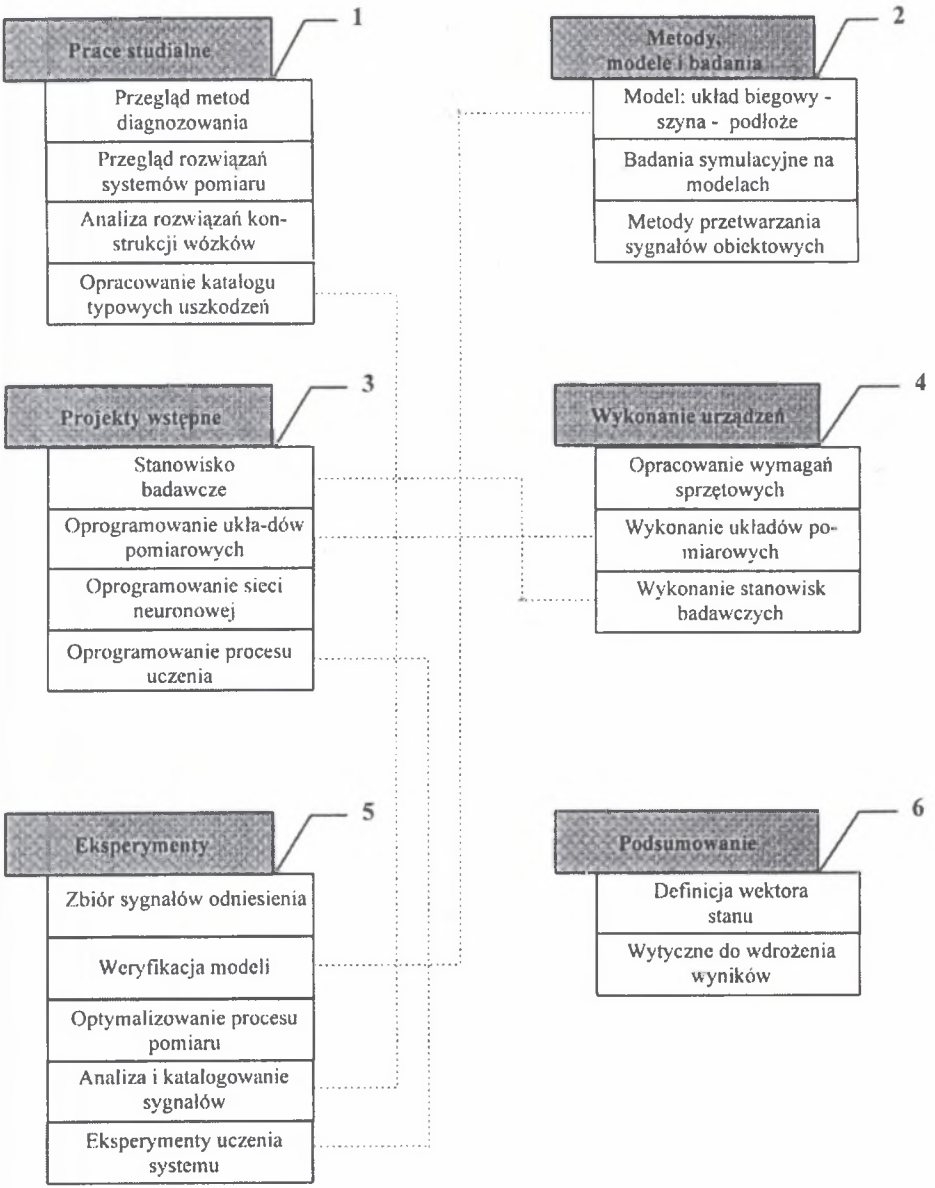
Dla tak realizowanych prac badawczych niezbędne wydaje się wytworzenie odpowiednich narzędzi m. in. wykorzystujących procesory najnowszej generacji (tzw. sygnałowe) do przetwarzania wibroakustycznych sygnałów z układu koło-szyna pojazdu szynowego oraz zróżnicowanie i skatalogowanie tych sygnałów i ich przyporządkowanie różnym stanom elementów układu.

Realizacja tak poważnego zadania badawczego będzie wymagała odpowiednich środków:
- zespołu, który będzie realizował projekt. Muszą być to wybitni naukowcy i specjaliści w koniecznych do realizacji tematu dziedzinach: konstrukcji i badań pojazdów szynowych, metrologii oraz informatyki i elektroniki z doświadczeniami uzyskanymi przy realizacji innych, zbliżonych tematycznie prac badawczych.
- bazy materialnej (naukowej, technicznej i badawczej), co oznacza potrzebę jego realizacji w odpowiednio wyposażonej instytucji badawczej,
- finansowania zapewniającego pełną realizację wszystkich etapów prac badawczych.

3.3. Charakterystyka problemów badawczych

Dla pełnej realizacji pracy badawczej należy przewidywać wykonanie szeregu zadań badawczych, takich jak: analizy konstrukcyjne, modele symulacyjne, budowa urządzeń pomiarowych i stanowiska, opracowanie oprogramowań oraz przeprowadzenie eksperymentów badawczych. Prace te można pogrupować następująco:

1. Prace studialne i analizy wstępne:
- analiza rozwiązań konstrukcyjnych podzespołów układów biegowych pod kątem ich niezawodności, trwałości i prognozowania uszkodzeń,
- opracowanie katalogu typowych uszkodzeń i defektów,



Rys. 2. Schemat organizacji prac badawczych
Fig. 2. Diagram of organizing the research works

- przegląd aktualnie stosowanych metod diagnozowania elementów układów biegowych,
- przegląd rozwiązań i wstępny dobór elementów systemu diagnostycznego.

2. Opracowanie modeli i wykonanie badań symulacyjnych oraz opracowanie wyników:
- model analityczny obiektu: *układ biegowy-szyna-podłoże* i jego implementacja komputerowa,
- badania symulacyjne zachowań modeli z różnymi uszkodzeniami (wariantowe układy pomiarowe),
- analiza i wybór sygnałów obiektowych oraz metod ich przetwarzania. Optymalizowanie metod przetwarzania.

3. Przygotowanie projektów stanowisk badawczych, narzędzi i oprogramowania:
- wykonanie projektu stanowiska diagnostycznego w kilku wariantach,
- opracowanie wytycznych do budowy urządzeń pomiarowych i oprogramowania prototypowego systemu diagnostycznego,
- opracowanie dwuwarstwowej nieliniowej sieci neuronowej do przetwarzania parametrów diagnostycznych,
- opracowanie oprogramowania procesu uczenia systemu diagnostycznego.

4. Zakupy, wykonanie urządzeń i przygotowanie stanowisk:
- sprecyzowanie wymagań sprzętowych i porównanie ofert przed zakupem urządzeń i oprogramowań,
- wykonanie urządzeń pomiarowych m. in. adaptacyjnych filtrów cyfrowych na bazie procesorów sygnałowych,
- przygotowanie stanowisk badawczych.

5. Wykonanie eksperymentów na stanowisku:
- wykonanie serii badań wstępnych dla uzyskania sygnałów wzorcowych,
- przeprowadzenie eksperymentów (weryfikujących modele) na stanowisku badawczym z pojazdem w ruchu,
- analiza relacji między sygnałami obiektowymi a warunkami pomiaru (rodzaj układu pomiarowego, lokalizacja miejsca pomiaru), optymalizacja procesu pomiaru,
- analiza zarejestrowanych sygnałów wzorcowych i obiektowych oraz opracowanie ich katalogu,
- przeprowadzenie eksperymentów uczenia się systemu diagnostycznego.

W fazie I badań sygnały obiektowe mogą być przetwarzane przez adaptacyjne filtry cyfrowe zrealizowane na bazie procesorów sygnałowych. Efektem tego przetwarzania byłby zbiór parametrów diagnostycznych - wektor stanu technicznego układu biegowego.

W fazie II celowe byłoby przeprowadzenie prób detekcji uszkodzeń, w której parametry diagnostyczne będą przetwarzane przez dwuwarstwową nieliniową sieć neuronową. Jej wyjściami byłyby informacje o defektach i awariach wyodrębnionych podzespołów układu biegowego, przy czym w odniesieniu do defektów można przewidywać przeprowadzanie ich oceny ilościowej.

W początkowej fazie wdrażania systemu zarówno filtry adaptacyjne, jak i sieć neuronowa mogą być dostrajane na podstawie sygnałów obiektowych zarejestrowanych podczas eksperymentalnych przejazdów pojazdów z celowo wprowadzonymi uszkodzeniami układu biegowego. Eksperymenty te powinny być przeprowadzane na dostosowanym do tego celu stanowisku badawczym. Ze względu na specyfikę obiektu badań należy przewidywać opracowanie i wytworzenie nowych narzędzi badawczych (urządzeń pomiarowych z procesorami sygnałowymi i ich oprogramowania).

Przewidywać należy przeanalizowanie, a ostatecznie nawet zbudowanie układu pomiarowego w następujących konfiguracjach:

a) z czujnikami umieszczonymi w szynach bez izolacji odcinka pomiarowego od reszty toru,
b) z czujnikami umieszczonymi w szynach z izolacją odcinka pomiarowego od reszty toru,

c) umożliwiającego pomiar zarówno sił pionowych, jak i bocznych, z tensometrami umieszczonymi między pomostem w postaci sztywnej płyty a szynami.

Każdy z powyższych układów będzie generował parzystą liczbę sygnałów obiektowych w paśmie $0 \div f_{max}$ ($f_{max} < 20$ kHz) i czasie trwania wynikającym z długości odcinka pomiarowego i prędkości pojazdu. Sygnały te reprezentują chwilowe naprężenia w szynach lub siły na podparciach torowiska na pomoście generowane podczas niezakłóconego przejazdu podczas badania symulacyjnego. Sygnały takie są mało wrażliwe na stan techniczny układu biegowego. Przeanalizowane i praktycznie wykorzystane zostaną zatem zjawiska w sytuacji, gdy układ biegowy zostanie wytrącony ze swojego naturalnego trybu pracy przez celowo wprowadzoną, odpowiednio ukształtowaną przeszkodę w torze (np. mały klin o dobranym profilu).

W czasie rzeczywistej eksploatacji systemu informacja o prawidłowo wykrytych uszkodzeniach i/lub fałszywych alarmach będzie na bieżąco wykorzystywana w procesie adaptacji filtrów cyfrowych i uczenia sieci neuronowych.

4. PRZEWIDYWANE EFEKTY

Pierwszym celem naukowym pracy jest ocena podatności podzespołów układu biegowego na diagnozowanie ich za pomocą sygnałów wibroakustycznych. Należy podjąć próbę odniesienia tej oceny zarówno do pojazdów trakcyjnych, jak i wagonów tocznych (osobowych i towarowych).

Celem dalszym przedstawianego zadania badawczego powinno być opracowanie obiektywnych metod oceny stanu technicznego układów biegowych pojazdów szynowych w ruchu. Metody te mogłyby być wykorzystane na budowanych na torach zakładów przeglądowych i naprawczych stanowiskach diagnostycznych, na których możliwe będzie automatyczne lokalizowanie uszkodzonych wózków i określanie ich uszkodzonych podzespołów.

Końcowym efektem pracy powinny być opracowane wyniki badań przeprowadzonych na modelu stanowiska na rzeczywistych obiektach (pojazdy z wózkami z typowymi uszkodzeniami). Wyniki powinny zawierać zestawienie sygnałów wibroakustycznych, zarówno dla stanów poprawnych, jak i uszkodzeń, a także analizę metod ich przetwarzania dla uzyskania ich największej wrażliwości na stan układu biegowego.

Podstawą przekonania o celowości realizacji prezentowanego zadania badawczego jest przeświadczenie uzyskane w wyniku realizacji innych prac, że na bazie wyników takiej pracy badawczej, tj. metod pomiaru sygnałów wibroakustycznych z układu biegowego i metod ich przetwarzania oraz zbudowanego dla realizacji prac modelu stanowiska laboratoryjnego, możliwe będzie bezpośrednie przyszłe wdrożenie wyników tej pracy do projektu prototypowego stanowiska diagnostycznego.

Realizacja takiego zadania badawczego przyniesie także wartości poznawcze. Da bowiem możliwość prezentowania, ze względu na interdyscyplinarność tematu, całego wachlarza artykułów i referatów. Można też przewidywać, że opracowane i wytworzone w ramach pracy badawczej urządzenia i metody będą podlegały ochronie autorskiej.

5. ZAKOŃCZENIE

Prace badawcze powinny być realizowane tak, by w efekcie końcowym możliwe było przedstawienie konkretnego sposobu ich bezpośredniego wdrożenia w postaci stanowisk dia-

gnostycznych (pracujących w oparciu o wibroakustyczne zjawiska na styku układu koło-szyna) w zakładach przeprowadzających przeglądy bieżące i okresowe taboru szynowego (lokomotyw, wagonów i tramwajów).

Praca powinna stworzyć podstawy do wdrożenia nowej metody diagnostycznej i wytyczne niezbędne do projektowania stanowiska diagnostycznego, które docelowo powinno się znaleźć na terenie każdego warsztatu wykonującego przeglądy i naprawy układów biegowych pojazdów szynowych. Stanowiska takie pozwolą na znaczne przyśpieszenie obsługi taboru szynowego, co poprzez zwiększenie wskaźnika gotowości technicznej pojazdów doprowadzi do zmniejszenia liczby taboru koniecznego do obsługi danego systemu przewozowego.

LITERATURA

1. Materiały informacyjne firmy TENSO. Sopot 1997.
2. Weiss M., Wrona A.: Estymacja masy w dynamicznych systemach ważących. Poznań. Pojazdy Szynowe 1998 nr 2.
3. Żurada J., Barski M., Jędruch W.: Sztuczne sieci neuronowe. Podstawy teorii i zastosowania.PWN, Warszawa 1996.

Recenzent: Dr hab.inż. Andrzej Chudzikiewicz
Profesor Politechniki Warszawskiej

Abstract

In the paper an idea and a perspective of applying the modern metrological techniques taking advantage of vibro-acoustic signals generated by wheel-rail contact, for a diagnosis of running systems of the rail vehicles have been presented.

Short information about currently used in Poland some methods of diagnosis of subassemblies of the running systems is also contained in the paper. The genesis of formulating of the research issue, important for the maintenance of the transport system is also contained in the paper.

It has been foreseen that the vibro-acoustic method could be applied for the automatic diagnosis of at least a few subassemblies of the bogie, e.g. the rolling surface of the wheel rim, the primary and secondary suspension, the bogie frame, the axle box bearings and the gear transmission and its teeth. The base of the diagnostic method would be a catalogue consisting a gauge and object signals. A proper software will compare those signals and estimate a state of the subassemblies. It has been also foreseen to work out a proper neurone net for the diagnostic parameters processing and for improving the system.

Furthermore the themes of the indispensable stages performing of which is necessary for estimation of possibilities of utilisation the method have been listed.