ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1991

Seria: BUDOWNICTWO z. 73 Nr kol. 1126

Kazimierz KŁOSEK
Jan MADEY
Politechnika Śląska, Gliwice

REJESTRACJA I ANALIZA WYBRANYCH CHARAKTERYSTYK DYNAMICZNYCH DROGI KOLEJOWEJ Z ZASTOSOWANIEM MIKROKOMPUTEROWEGO ANALIZATORA SYGNAŁÓW

Streszczenie. W referacie zamieszczono doświadczenia autorów z wykorzystania mikrokomputerowego analizatora sygnałów "PAS 6" do rejestracji i analizy charakterystyk dynamicznych drogi kolejowej dla odcinka doświadczalnego Kolejowego Ruchu Regionalnego. Przy pomocy tego analizatora dokonano szeregu dynamicznych badań porównawczych dla nawierzchni konwencjonalnej, nawierzchni 2xP i nawierzchni 4xP.

1. WSTĘP

Współdziałanie taboru z nawierzchnią i podtorzem ma, ogólnie rzecz biorąc, charakter procesu wibroakustycznego. Przez pojęcie to rozumie się ogół zjawisk dynamicznych i mechaniczno-akustycznych, jakie zachodzą w otoczeniu eksploatowanej drogi kolejowej. Wśród związanych z tym zjawisk należy wymienić drgania i hałas w postaci dźwięku powietrznego i materiałowego [2].

W przedmiotowej pracy skoncentrowano się wyłącznie na pierwszym z tych problemów zakładając, że celem pracy jest identyfikacja, rejestracja oraz analiza wybranych charakterystyk dynamicznych drogi kolejowej przy wykorzystaniu programowanego analizatora sygnałów diagnostycznych PAS 6 [3].

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU BADAWCZEGO

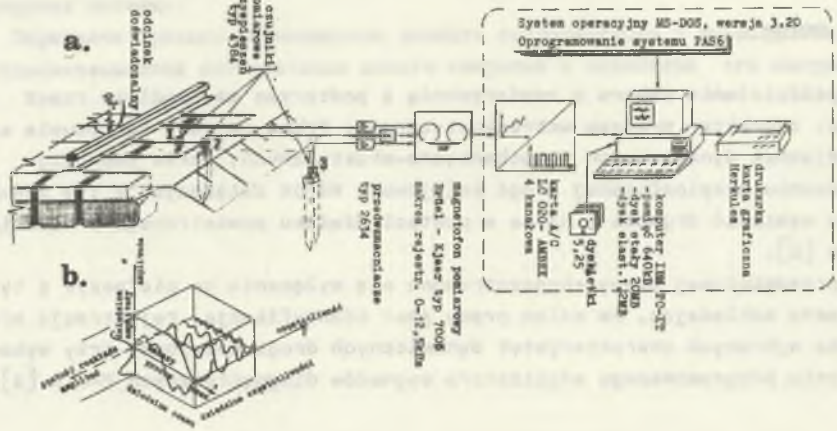
Oddziaływanie taboru na nawierzchnię nosi cechy procesu stochastycznego-niestacjonarnego, co wynika zarówno z charakteru obciążenia, jak i zróżnicowania fizyczno-mechanicznych parametrów drogi kolejowej na kierunku jej długości, niejednorodności geometryczno-mechanicznych w strefie styku toczącego się koła z szyną [5], itp. W opisie analitycznym tychże zjawisk i procesów korzysta się z wielkości charakterystycznych pierwot-

nych takich jak: przemieszczenia u(t), prędkość v(t), przyspieszenia a(t), siła F(t), które w ogólności są funkcją przestrzeni oraz czasu. Kombinacje tych wielkości (np. iloczyny), uśrednione w dziedzinie czasu, charakteryzują "wysiłek" źródła (moc, intensywność) lub własności ośrodka (impedancja). W zastosowaniach praktycznych dużą rolę odgrywa analiza tych charakterystyk, związana z określoną dekompozycją na elementy składowe. Ułatwia to poszukiwanie związków przyczynowo-skutkowych charakteryzujących dany typ rozwiązania. W niniejszej pracy przytoczono w charakterze przykładu wyniki takich właśnie badań porównawczych [4] dotyczących nawierzchni konwencjonalnej oraz wzmocnionej typu 4xP [1].

Opis procesów dynamicznych za pomocą odpowiednich charakterystyk jest możliwy w trzech dziedzinach istnienia procesu (rys. 1b):

- w dziedzinie czasu,
- w dziedzinie częstotliwości,
- w dziedzinie amplitudy.

W celu realizacji tak sformułowanych postulatów wykonano cykl pomiarów i analiz bazujących na komputerowym systemie zbierania i przetwarzania sygnałów diagnostycznych. Schemat zastosowanego układu pomiarowo-rejestracyjnego drgań nawierzchni, sprzężonego z odpowiednią konfiguracją mikrokomputera klasy IBM PC/XT, ilustruje rys. 1a.



Rys. 1. Schemat pomiaru oraz rejestracji drgań nawierzchni i podtorza
Fig. 1. A scheme of measuring and testing of vibrations of the track structure and of the road-bed

Całość badań zrealizowano na odcinku doświadczalnym "Kolejowego Ruchu Regionalnego" (KRR) na terenie Śląskiej DOKP. Odcinek ten tworzyły trzy typy nawierzchni o zróżnicowanej konstrukcji podłoża rusztu torowego:

- typ P, nawierzchnia konwencjonalna na podsypce tłuczniowej i warstwie ochronnej (rys. 5b),
- typ 2xP, nawierzchnia jak wyżej z dodatkową geotekstylną przeponą,
- typ 4xP, nawierzchnia na pojemnikach podpodkładowych z przeponą (rys. 5a).

Łączna długość odcinka wynosiła 325 m. Nawierzchnia złożona była z nowych szyn UIC-60 ze stali St90PA o podwyższonej odporności na ścieranie oraz nowych podkładów drewnianych typu II/B rozmieszczonych co 65 cm w nawierzchniach typu P i 2xP oraz co 85cm w nawierzchni typu 4xP. Obciążenie stanowił każdorazowo ten sam zestaw pojazdów szynowych złożony ze spalinowozu SM-31 oraz wagonu 2-osiowego o nacisku Q_{br} = 14,8 T/oś, poruszających się w tym samym kierunku z prędkością v = 35-40 km/h. Sposób rozmieszczenia czujników akcelerometrycznych ilustruje rys. 1.

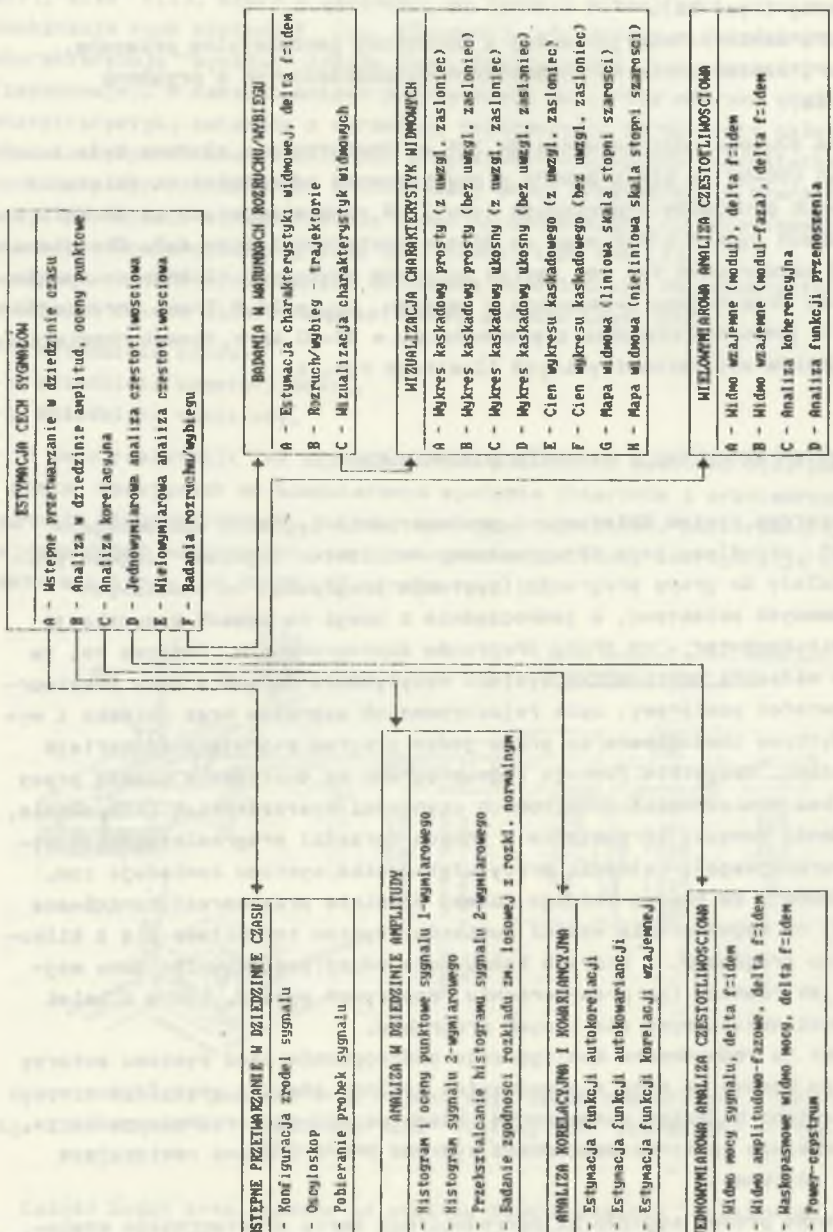
3. SYSTEM REJESTRACJI SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Komputerowy system zbierania i przetwarzania sygnałów wibrodiagnostycznych, określony jako "Programowany Analizator Sygnałów Diagnostycznych", należy do grupy programów (systemów programów) narzędziowych zorientowanych obiektowo, a jednocześnie z uwagi na sposób komunikacji użytkownik-komputer - do grupy programów zintegrowanych. Oznacza to, że z punktu widzenia użytkownika systemu wczytywanie danych z toru przetwornik-magnetofon pomiarowy, opis rejestrowanych sygnałów oraz obróbka i wydruki użytkowe obsługiwane są przez jeden program sterujący (interfejs użytkownika). Wszystkie funkcje tego programu są dostępne w czasie pracy systemu bez konieczności dodatkowych czynności operatorskich (kopiowanie, przeglądania danych, korzystanie z innych narzędzi programistycznych systemu operacyjnego). Całością pracy użytkownika systemu zawiaduje tzw. "Menu Główne", za pomocą którego możemy dowolnie przetwarzać zanotowane wcześniej na magnetofonie wyniki pomiarów. System ten składa się z kilkudziesięciu programów, z których każdy może odczytywać dowolne dane wejściowe, jak również (po przetworzeniu) zapisywać wyniki, które z kolei będą danymi wejściowymi dla innych programów.

Z uwagi na rozbudowane konfiguracje podprogramów tego systemu autorzy uznali, że będzie on mógł z powodzeniem spełnić również specyficzne wymagania stawiane badaniom dynamicznym układu pojazd-nawierzchnia-podtorze.

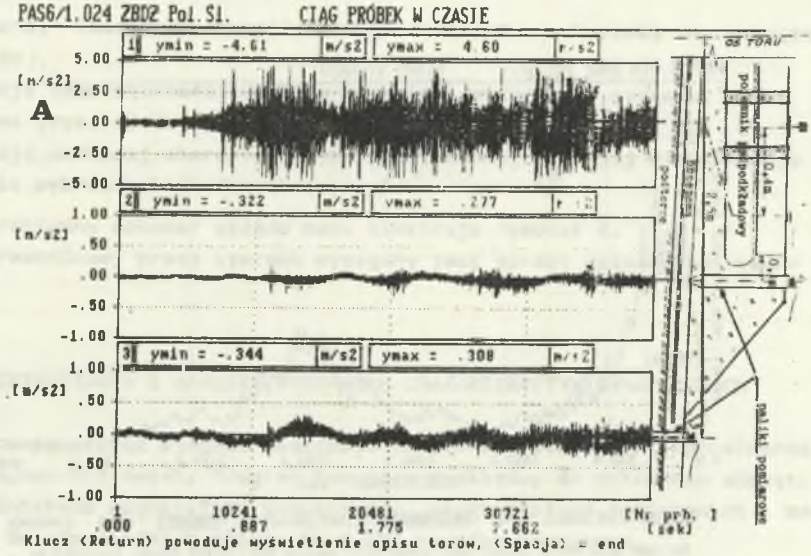
Z szerokiego spektrum możliwości systemu PAS-6 wybrano następujące programy użytkowe:

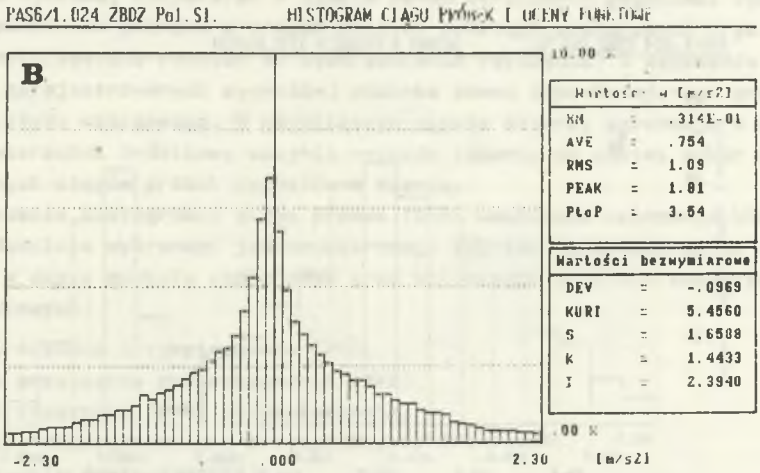
- pobieranie próbek sygnału za pośrednictwem karty przetworników analogowo-cyfrowych,
- stosowanie komputera jako oscyloskopu 3-kanałowego (rys. 3a),
- wyznaczanie histogramów amplitud sygnałów jednowymiarowych wraz z estymacją cech punktowych amplitud sygnałów: wartości średnie, przeciętne,



Rys. 2. Hierarchiczny schemat układu menu

Fig. 2. Hierarchy of the menu components

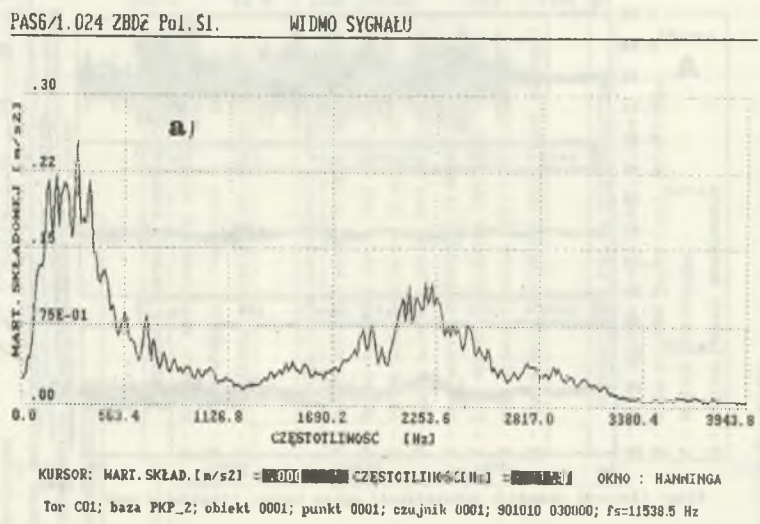


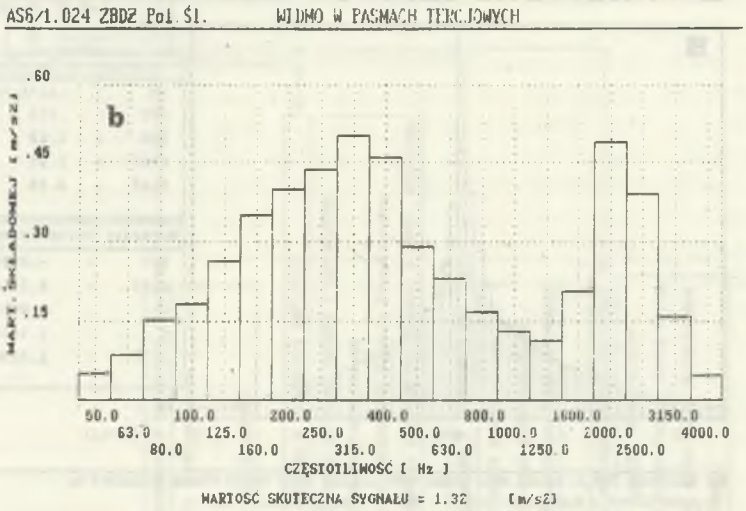


A) oscyloskop 3-kanałowy dla wizualizacji przyspieszeń, b) histogram sygnału 1-wymiarowego wraz z oceną cech punktowych amplitud sygnału (przyspieszeń)

Fig. 3. Amplitude oriented analysis

A) 3-track oscilloscope for visualisation of accelerations, B) 1-dimensional signal histogramme with point evaluation of the amplitudes of signals (acceleration)





Rys. 4. Estymacja częstotliwościowa widm sygnałów
a) widmo mocy sygnału, b) widmo w pasmach tercjowych

Fig. 4. Frequency estimation for signal spectra
a) spectrum of signal magnitude, b) spectrum in 3-rds bands

skuteczne, szczytowe, współczynniki dewiacji - kurtozy - szczytu (rys. 3b),
- estymację częstotliwościową widm sygnałów: widmo mocy sygnału, widmo tercjowe (rys. 4),
- estymację widmowej charakterystyki przejazdowej oraz jej wizualizację w formie wykresów kaskadowych (rys. 5).

Hierarchiczny schemat układu menu ilustruje rysunek 2.

Dla prawidłowej pracy systemu wymagany jest sprzęt opisany na rysunku 1a.

4. PRZETWARZANIE I ANALIZA WYBRANYCH CHARAKTERYSTYK DYNAMICZNYCH

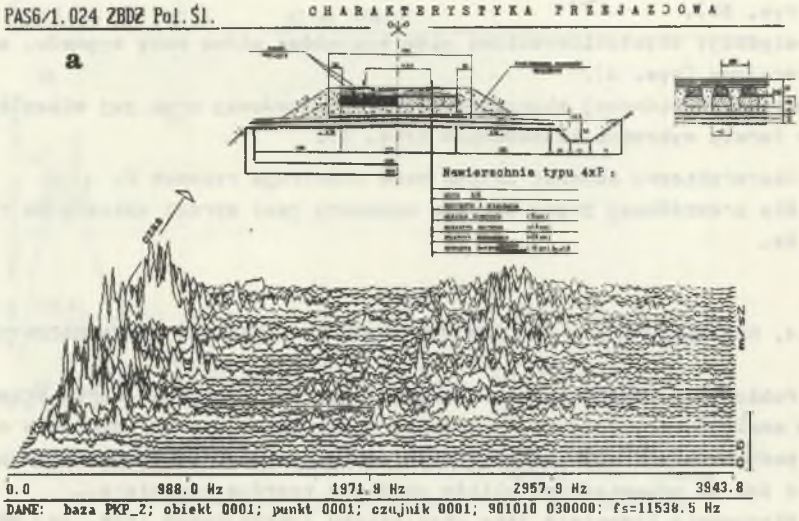
Pobieranie próbek syngału następuje za pośrednictwem karty przetworników analogowo-cyfrowych. Program ten jest niezbędny do dokonania odczytu za pośrednictwem magnetofonu pomiarowego, przetworników pomiarowych i zapisu ich do odpowiednich plików na dysku twardym komputera.

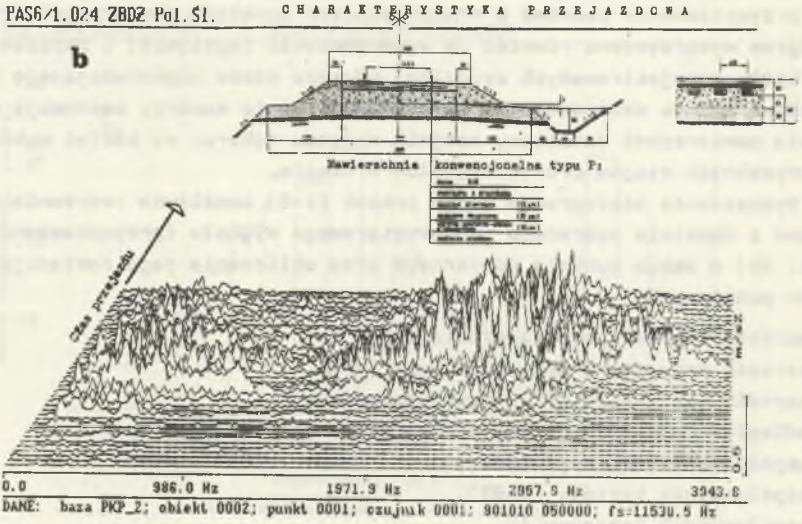
Stosowanie komputera jako oscyloskopu 3-kanałowego (rys. 3a) umożliwia jednoczesne obserwowanie trzech sygnałów zarejestrowanych i zapisanych w pamięci dyskowej komputera. W czasie badań terenowych sygnałami tymi były przyspieszenia pionowe w trzech stałych punktach pomiarowych (rys. 3a). Program wykorzystano również do wyodrębnienia (wycięcia) i zapisania (z ogółu zarejestrowanych sygnałów) odcinka czasu odpowiadającego przejazdowi składu wzorcowego. W najbliższym czasie autorzy zastosują w obrębie nawierzchni dodatkowy czujnik najazdu taboru, co ułatwi wybór porównywalnych ciągów próbek sygnałów w czasie.

Wyznaczanie histogramów ciągu próbek (1-3) umożliwia tworzenie histogramu z dowolnie wybranego jednowymiarowego sygnału (przyspieszenie - rys. 3b) w danym punkcie pomiarowym oraz obliczenie jego następujących ocen punktowych:

- wartość średnia przyspieszenia (XM),
- wartość przeciętna przyspieszenia (AVE),
- wartość szczytowa (RMS) przyspieszenia,
- odległość międzyszczytowa przyspieszenia (PtoP),
- współczynnik dewiacji (DEV),
- współczynnik kurtozy (KURT),
- współczynnik kształtu (S),
- współczynnik szczytu (K),
- współczynnik impulsowości (I).

Estymację częstotliwościową widm sygnałów w postaci widma mocy sygnału wykonano jako jednowymiarową analizę częstotliwościową przyspieszenia RMS w funkcji częstotliwości, dla skali ciągłej (rys. 4a) i tercjowej (rys.4b).





Rys. 5. Estymacja widmowa charakterystyki przejazdowej
a) nawierzchnia zmodyfikowana typu 4xP, b) nawierzchnia konwencjonalna

Fig. 5. Spectral estimation of passage characteristics
a) modified track structure of 4xP type, b) a conventional track structure

Estymację widmowej charakterystyki przejazdowej $a_{RMS}(f)$ i jej wizualizację w formie wykresów kaskadowych (rys. 5), zrealizowano na bazie programu wykorzystywanego dotąd głównie do badań rozruchu i wybiegu maszyn wirnikowych [3]. Uzyskano tym sposobem możliwość przedstawienia zmian wartości skutecznej przyspieszenia w funkcji częstotliwości oraz czasu, utożsamianego z przejazdem taboru przez rejestrowany przekrój badawczy.

Na szczególną uwagę zasługuje tu typowy rozkład widma gęstości mocy sygnału (przyspieszania) rejestrowanego w obrębie nawierzchni konwencjonalnej (krawędź podkładu - pkt 1 rys. 1), cechującego się zdecydowaną koncentracją wysokich częstotliwości w pasmach rzędu 1,5-2,8 kHz, niezależnie od wartości lokalnego ekstremum dla niskich częstotliwości, do 0,5 kHz, co przedstawiono na rys. 5b. W przypadku nawierzchni typu 4xP drgania rejestrowane w wysokich pasmach częstotliwości cechuje zdecydowanie mniejsza moc sygnału przyspieszenia (rys. 5a), co należy uznać za korzystny efekt zastosowanych w tym przypadku podkładek wibroizolacyjnych zlokalizowanych w podstawie podkładu oraz geotekstylnych pojemników podpodkładowych wraz z przeponą [1].

Przedstawione w niniejszym rozdziale przykłady przetwarzania i analizy sygnałów diagnostycznych dotyczyły jedynie wąskiej grupy parametrów dynamicznych nawierzchni i podtorza, jakie zrealizowano w trakcie pierwszej fazy badań terenowych. Nie wyczerpują one bogatej oferty programu PAS 6, która będzie sukcesywnie adaptowana do specyficznych warunków oceny współdziałania nawierzchni z podtorzem w warunkach dynamicznych oddziaływań taboru.

5. WNIOSKI

Podsumowując dotychczasowe doświadczenia autorów, związane z próbami wykorzystania systemu PAS 6 do rejestracji i analizy wybranych charakterystyk dynamicznych drogi kolejowej KRR, należy stwierdzić, że spełnił on oczekiwane zadania zarówno na etapie przygotowania, jak i późniejszej obróbki numerycznej sygnałów diagnostycznych. Przedstawione w pracy rezultaty mają charakter sprawozdania z badań wstępnych nad prototypowymi konstrukcjami nawierzchni i podtorza kolejowego o podwyższonej zdatności eksploatacyjnej. Uzyskane dotąd rezultaty potwierdzają w pełni korzystne charakterystyki dynamiczne nawierzchni typu 4xP, w porównaniu z nawierzchnią konwencjonalną. Rozpoznawczy charakter tych badań pozwala na obecnym etapie uznać, że przyjęte w tym przypadku założenia konstrukcyjno-technologiczne i eksploatacyjne posiadają wiele istotnych zalet.

Na uwagę zasługuje fakt uniezależnienia się od magnetofonu pomiarowego na etapie analizy i opracowywania numerycznego wyników badań sygnałów. Przy aktualnej relacji kosztów systemu komputerowego w zakresie sprzętu

i oprogramowania do oceny magnetofonu pomiarowego i konwencjonalnych analizatorów stanowi to niebagatelną korzyść.

LITERATURA

[1] Basiewicz T., Kłosek K.: Konstrukcja podłoża szynowego typu 4xP o podwyższonej zdatności eksploatacyjnej. Mat. V Kraj. Konf. Nauk. "Drogi Kolejowe", Gdańsk-Stogi 1989.

[2] Cempel Cz.: Wibroakustyka stosowana. PWN, Warszawa 1989.

[3] Cholewa W., Chodasewicz W., Kaźmierczak J., Moczulski W., Solipiwko A., Wysogląd B.: Programowany analizator sygnałów diagnostycznych PAS 6. IMiPKM - Pol. Śl., z. 109, Gliwice 1988.

[4] Kłosek K., Fober St., Madey J.: Wybór podtorza i nawierzchni KRR. Opracowanie wyników badań terenowych. Mat. V etapu CPBR 9.3.66.006. nt. "Obsługa transportowa społeczeństwa i gospodarki. Problematyka KRR", IBD - Pol. Śl. (maszynopis). Gliwice 1990.

[5] Krużyński M.: Analiza doświadczalna drgań układu koło-szyna wywołanych nierównościami powierzchni toczonej szyny. Prace Nauk. Inst. Inż. Lęd. Pol. Wrocł., Nr 39, Serie: Monografie nr 14, Wrocław 1988.

Doc. dr hab. inż. Łucjan Siewczyński

Wpłynęło do Redakcji 20.04.1991 r.

RECORDING AND ANALYSIS OF SOME OF THE RAILWAY DYNAMICAL CHARACTERISTICS WITH USE OF THE MICROCOMPUTER SIGNAL ANALYSER

S u m m a r y

In the paper the author's experiments with use of the microcomputer signal analyser "PAS 6" for recording and anlysis of railway dynamical characteristics of the test length of the Silesian Regional Railway System are presented. With use of the analyser several comparative tests on the standard track structure, 2xP structure and 4xP structure have been carried out.

РЕГИСТРАЦИЯ И АНАЛИЗ ИЗБРАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОКОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗАТОРА СИГНАЛОВ

Р е з ю м е

В реферате представлен опыт авторов по использованию микрокомпьютерного анализатора сигналов "PAS-6" для регистрации и анализа динамических характеристик железнодорожных путей на экспериментальном участке региональной железной дороги. С помощью этого анализатора выполнен ряд динамических сравнительных исследований для обычной поверхности, поверхности 2xP и 4xP.