ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 48 Nr kol. 1604

Janusz GARDULSKI, Jan WARCZEK

DIAGNOSTYKA AMORTYZATORÓW ZABUDOWANYCH W POJEŹDZIE OPARTA NA ANALIZIE EFEKTÓW NIELINIOWYCH

Streszczenie. W referacie przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, których celem było ustalenie przydatności zaawansowanych metod badawczych w diagnostyce eksploatacyjnej zawieszeń. Zaproponowana metoda diagnostyczna bazuje na analizie efektów nieliniowych jako źródle informacji o stanie technicznym zawieszenia samochodu.

THE DIAGNOSTIC OF IN VEHICLE INSTALLED SHOCK-ABSORBERS BASED ON ANALYSIS OF NON-LINEAR EFFECTS

Summary. The paper presents results experimental investigations, which the aim was settlement of usefulness of advanced investigative methods in exploational diagnostics. The proposed diagnostic method based at on analysis of non-linear effects as source of state information technical suspensions of car.

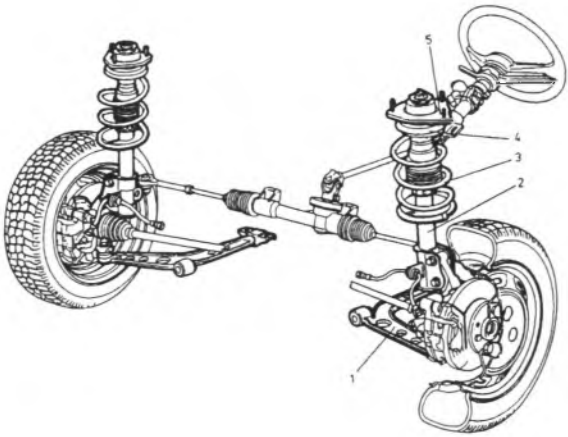
1. WPROWADZENIE

Zawieszenia współczesnych pojazdów samochodowych to złożone układy mechaniczne zawierające elementy sprężyste i tłumiące o nieliniowych charakterystykach [1]. W czasie życia Θ w wyniku oddziaływania wielu czynników eksploatacyjnych charakterystyki elementów zawieszeń ulegają zmianom [2], które wpływają na dynamikę zawieszenia, a w konsekwencji powodują obniżenie zarówno bezpieczeństwa, jak i komfortu jazdy. Rozwiązanie problemu diagnozowania układu zawieszenia wiąże się z koniecznością wykonania analizy dynamicznej nieliniowego układu mechanicznego.

Obecnie stosowane metody diagnozowania stanu technicznego zawieszeń samochodowych bazują na ocenie orientacyjnych wskaźników, których wartości obciążone są dużym błędem wynikającym z pominięcia wpływu wielu czynników eksploatacyjnych. Uzyskane wyniki w dalszej kolejności poddawane są subiektywnej ocenie diagnosty [3].

2. METODYKA BADAŃ

W ramach pracy przeprowadzono szereg eksperymentów czynnych na zawieszeniu samochodu osobowego, w którym wprowadzone zostały zaprogramowane niesprawności. Celem badań było ustalenie przydatności zaawansowanych metod analiz sygnałów w diagnostyce eksploatacyjnej zawieszeń. Obiektem badań było zawieszenie niezależne samochodu Fiat Seicento (rys. 1).



Rys. 1. Zawieszenie typu McPherson samochodu Fiat Seicento [13]: 1 - wahacz poprzeczny w kształcie litery „L", 2 - amortyzator teleskopowy, 3 - sprężyna śrubowa stożkowa, 4 - talerz oporowy sprężyny, 5 - gniazdo kolumny zawieszenia

Fig. 1. Suspension of type McPherson the car the Fiat Seicento [13]: 1 - the transverse rocker in shape of letter "L ", 2 - shock-absorber, 3 - helical conical spring, 4 - resistory plate of spring, 5 - nest of line astern of suspension

Głównym elementem odpowiedzialnym za minimalizację drgań przenoszonych na ludzi i ładunki w pojazdach samochodowych są obecnie hydrauliczne amortyzatory teleskopowe. Są to tłumiące elementy zawieszeń o nieliniowym sposobie przetwarzania energii drgań mechanicznych na ciepło. Zasada pracy amortyzatora opiera się na przetłaczaniu cieczy w obiegu zamkniętym przez kalibrowane otwory. W momencie przekroczenia założonej wartości siły tłumienia następuje otwarcie zaworów korekcyjnych powodujące zmianę charakterystyki.

Zaplanowany eksperyment czynny polegał na pomiarach drgań nadwozia samochodu, w którego zawieszeniu pracował uszkodzony amortyzator o znanej charakterystyce. Charakterystyki wadliwych tłumików drgań wyznaczono na stanowisku indykatorowym. Pojazd eksperymentalny poddawano działaniu wymuszenia harmonicznego. Mierzonym parametrem drganiowym były przyspieszenia, które rejestrowano za pomocą układów typu ADXL firmy Analog Devices®. Przetworniki mocowano na gnieździe kolumny zawieszenia w kierunku działania siły tłumienia (rys. 2). Sygnał z przetworników po zdyskretyzowaniu poddano dalszej obróbce wykorzystując środowisko obliczeniowe Matlab.

Wykorzystując zarejestrowany materiał badawczy szukano miary diagnostycznej czułej na zmiany stanu technicznego amortyzatora. Uzyskane wyniki przy wykorzystaniu testu chwilowej gęstości mocy zaklasyfikowano do grupy sygnałów niestacjonarnych [4, 9].

W przeważającej większości czasu obserwacji sąsiednie chwilowe gęstości widmowe mocy analizowanych sygnałów różniły się między sobą strukturą częstotliwościową. Wynikało to z faktu, iż przy pobudzaniu zawieszenia do drgań, w wyniku oddziaływania nieliniowości elementów tego układu, generowane są niestacjonarne sygnały drganiowe [5, 6,7].

Rys. 2. Widok stanowiska laboratoryjnego – strzałka wskazuje miejsce mocowania akcelerometru
Fig. 2. The view of laboratory stand – the arrow shows the place of fixing the accelerometer

Analiza sygnałów niestacjonarnych wymaga wykorzystania zaawansowanych metod badawczych [8, 9]. Dzieje się tak, ponieważ istotne informacje zawarte są w dziedzinach częstotliwości i czasu. Konieczne staje się wykorzystanie metod analiz, które umożliwiają jednocześnie obserwację zmian rozkładu energii sygnału drganiowego na płaszczyźnie dwuwymiarowej (czasowo-częstotliwościowej). Istnieje kilka przekształceń umożliwiających takie analizy:

- krótkoczasowa transformata Fouriera (Short Time Fourier Transform, STFT)
- transformata falkowa (Wavelet Transform, WT),
- transformata Wignera-Ville'a (Wigner-Ville Distribution, WVD).

W pracy do analiz wykorzystano pseudoprzekształcenie Wignera-Ville'a z oknem filtracyjnym Choi-Williamsa [10].

3. METODA ANALIZY

Widmo wzajemne Wignera-Ville'a dwóch sygnałów *x(t)* i *y(t)* definiowane jest następująco:

$$WVD_{xy}(t,f) = \int x(t+\frac{\tau}{2})y^*(t-\frac{\tau}{2})e^{-j2\pi f\tau}\,d\tau \tag{1}$$

jeżeli $x(t) = y(t)$, powyższe przekształcenie można zapisać w postaci:

$$WVD_{xx}(\theta,\tau) = \int x^*(t-\frac{\tau}{2})x(t+\frac{\tau}{2})e^{j2\pi\theta t}\,dt \tag{2}$$

gdzie: $WVD_{xx}(\vartheta, \tau)$ – pseudoprzekształcenie Wignera-Ville'a,
$x^*(t)$ – sygnał urojony sprzężony z $x(t)$,
τ – przesunięcie w dziedzinie czasu,
θ – przesunięcie w dziedzinie częstotliwości.

Transformata ta pozwala przekształcić sygnał zapisany w postaci przebiegu czasowego na widmo czasowo-częstotliwościowe. Program Matlab posiada zaimplementowaną dyskretną wersję tego przekształcenia, która umożliwia obróbkę sygnału zdyskretyzowanego. Ponieważ algorytm realizujący tę transformatę wykorzystuje dwukrotne przekształcenie Fouriera, warunkiem uniknięcia zjawiska aliasingu jest próbkowanie sygnału ciągłego z co najmniej dwukrotnie większą częstotliwością od kryterium Nyquista.

W celu redukcji efektów związanych z przeciekiem widma, które utrudniają interpretację uzyskanych wyników, wykonuje się operację filtracji WVD za pomocą funkcji wagowych. W pracy wykorzystano funkcję wagową Choi-Williamsa w postaci:

$$\phi(\theta,\tau) = \exp(-\theta^2\tau^2/\sigma^2) \tag{3}$$

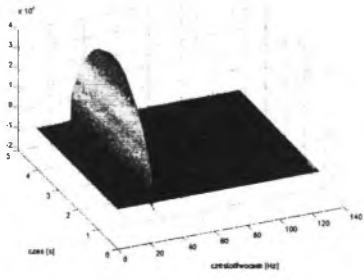
σ – parametr proporcjonalny do amplitudy przecieku widma.

W efekcie zastosowany aparat matematyczny można zapisać:

$$WVD(f,\tau) = \int x^*(t-\frac{\tau}{2})x(t+\frac{\tau}{2})e^{j2\pi ft}\, e^{-\left(\frac{\theta\tau}{\sigma}\right)^2} dt \tag{4}$$

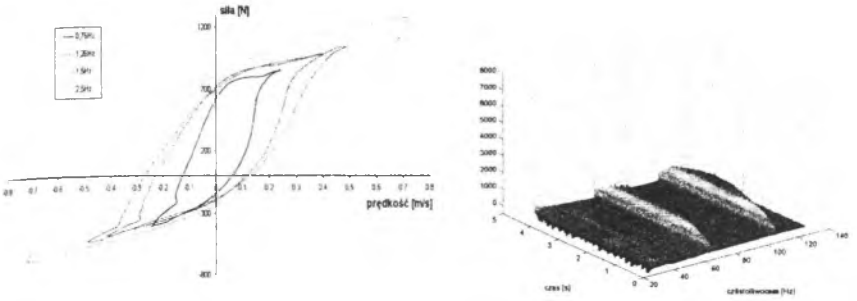
4. WYNIKI ANALIZ

Analizie poddano tę część zarejestrowanych sygnałów, w której parametry wymuszenia były stałe w czasie. Układ zawieszenia pracował powyżej podstawowych częstotliwości rezonansowych związanych z masami resorowaną i nieresorowaną. Przykładowy wynik uzyskany dla sprawnego amortyzatora przedstawiono poniżej na rys. 3.



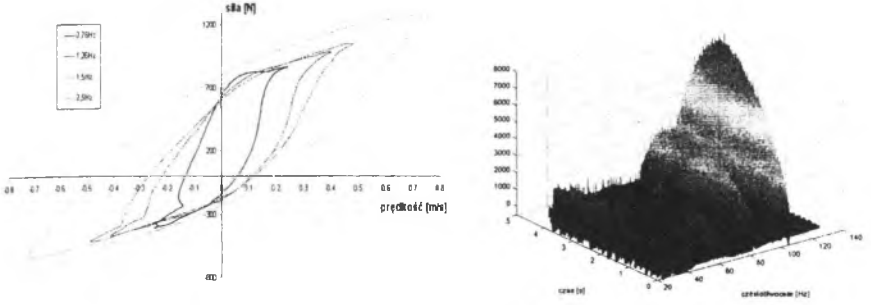
Rys. 3. Rozkład Wignera-Ville'a przyspieszeń drgań nadwozia
Fig. 3. Wigner-Ville'a distribution of vertical accelerations body of car

Ponieważ usterka amortyzatora powoduje zmianę jego charakterystyki, nawet wówczas gdy zużycie elementu nie wpływa znacząco na zmianę energii procesu wibroakustycznego, powinna się zmienić postać drgań, a tym samym zmienią się efekty nieliniowe [11]. Aby możliwe było obserwowanie zmian nieliniowości procesu, zastosowano filtrację górnoprzepustową. W ten sposób z widma czasowo-częstotliwościowego usunięto pasmo podstawowych częstotliwości rezonansowych. Uzyskane wyniki zestawiono z wyznaczonymi doświadczalnie charakterystykami amortyzatorów. Poniżej przedstawione zostały wyniki uzyskane dla uszkodzeń amortyzatorów w postaci ubytku cieczy amortyzatorowej (rys.4,5,6,7) oraz dla symulowanego starzenia się oleju – spadek lepkości (rys. 8 i 9).



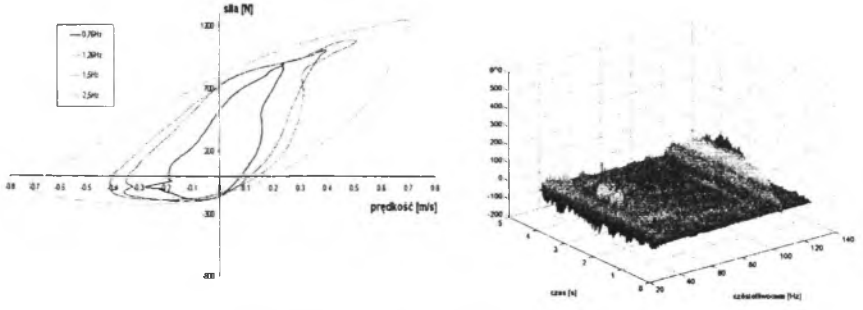
Rys. 4. Charakterystyka amortyzatora nowego – 100% płynu amortyzatorowego oraz widmo WVD przyspieszeń drgań nadwozia

Fig. 4. The characteristics of new shock-absorber – 100% the liquid and spectrum WVD of accelerations of body of car



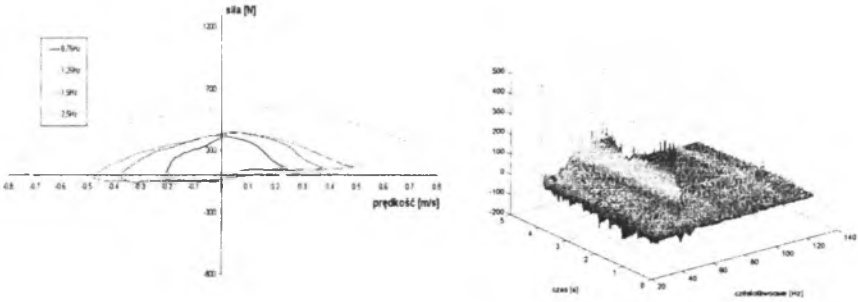
Rys. 5. Charakterystyka amortyzatora z 75% objętości nominalnej płynu amortyzatorowego oraz widmo WVD przyspieszeń drgań nadwozia

Fig. 5. The characteristics of shock-absorber – 75% the liquid and spectrum WVD of accelerations of body of car



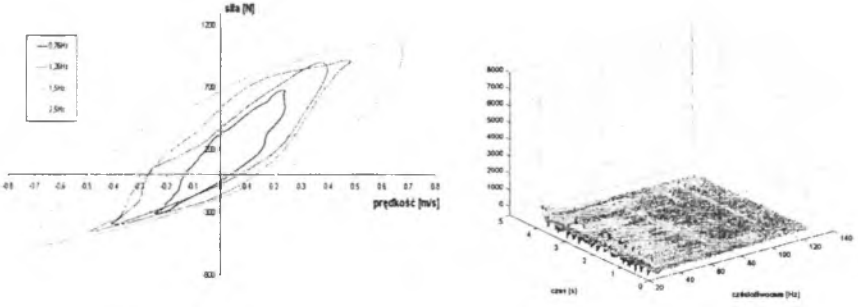
Rys. 6. Charakterystyka amortyzatora z 50% objętości nominalnej płynu amortyzatorowego oraz widmo WVD przyspieszeń drgań nadwozia

Fig. 6. The characteristics of shock-absorber – 50% the liquid and spectrum WVD of accelerations of body of car



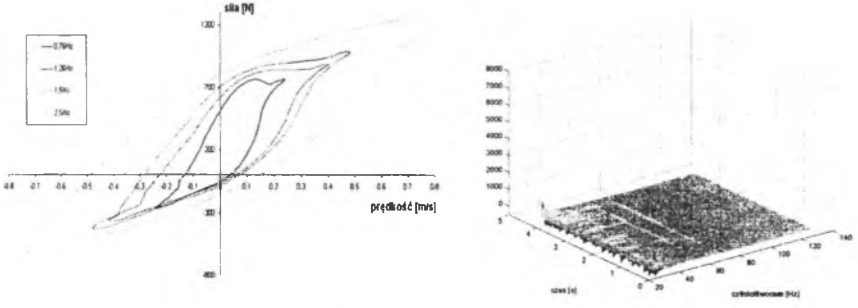
Rys. 7. Charakterystyka amortyzatora z 25% objętości nominalnej płynu amortyzatorowego oraz widmo WVD przyspieszeń drgań nadwozia

Fig. 7. The characteristics of shock-absorber – 25% the liquid and spectrum WVD of accelerations of body of car



Rys. 8. Charakterystyka amortyzatora przy 1:3 nafty do płynu amortyzatorowego oraz widmo WVD przyspieszeń drgań nadwozia

Fig. 8. The characteristics of shock-absorber near 1:3 oil to liquid and spectrum WVD of accelerations body of car



Rys. 9. Charakterystyka amortyzatora przy 1:2 nafty do płynu amortyzatorowego oraz widmo WVD przyspieszeń drgań nadwozia

Fig. 9. The characteristics of shock-absorber near 1:2 oil to liquid and spectrum WVD of accelerations body of car

Niewielka zmiana charakterystyki amortyzatora wywołana ubytkiem oleju powoduje wzrost efektów nieliniowych widoczny w widmie w postaci prążków nadrezonansowych – czwarta i piąta harmoniczna. Uszkodzenie tego typu jest niewykrywalne w czasie pomiarów zawieszeń na stanowiskach pomiarowych stosowanych obecnie w diagnostyce zawieszeń. Dalszy rozwój uszkodzenia powoduje spadek wartości amplitud nadrezonansowych poniżej tych uzyskanych dla amortyzatora sprawnego. Podobnie w przypadku zmiany lepkości płynu amortyzatorowego efekty nieliniowe są w widmie mniej widoczne, przy zachowaniu jednakowej skali porównawczej. Wykrycie zmiany stanu technicznego amortyzatora zabudowanego w pojeździe jest możliwe na podstawie analizy efektów związanych ze zmianą nieliniowości tłumienia.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawione w pracy wyniki potwierdzają przydatność analizy czasowo-częstotliwościowej w diagnostyce zawieszeń pojazdów samochodowych [12]. Wykorzystanie tego typu analizy umożliwia wykrycie zmian charakterystyki amortyzatora zabudowanego w zawieszeniu. Zaprezentowane wyniki należy potraktować jako wstęp do szeroko zakrojonych prac badawczych, których celem będzie sformułowanie algorytmów diagnostycznych do określania stanu technicznego elementów tłumiących pasywnych zawieszeń samochodowych. W dalszym ciągu prowadzone są badania eksperymentalne mające na celu usystematyzowanie otrzymanych wyników.

Literatura

1. Reipell J., Betzler J.: Podwozia samochodów – podstawy konstrukcji. WKiŁ, Warszawa 2001.
2. Cempel C.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa 1982.
3. Trzeciak F.: Diagnostyka samochodów osobowych. WKiŁ, Warszawa 1992.
4. Beauchamp K. G.: Przetwarzanie sygnałów metodami analogowymi i cyfrowymi. WNT, Warszawa 1978.
5. Osiński Z.: Teoria drgań. PWN, Warszawa 1980.
6. Hayashi Ch.: Drgania nieliniowe w układach fizycznych. WNT, Warszawa 1971.
7. Minorsky N.: Drgania nieliniowe. PWN, Warszawa 1967.
8. Lee Joon-Hynn, Kim J., Kim Han-Jun: Development of Enhanced Wigner-Ville Distribution Function. Mechanical Systems and Signal Processing, 15(2), 2001, pp. 367-398.
9. Bendat J. S., Piersol A. G.: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych. PWN, Warszawa 1967.
10. Swami A., Mendel J. M., Nikias Ch. L.: Higher-Order Spectral Analysis Toolbox. User's Guide.
11. Dąbrowski Z.: Use of non-linear effects in computer aided diagnosis. Proceedings of ISROMAC-7, Honolulu, Hawaii 1998.
12. Gardulski J., Warczek J.: Analiza dwuwymiarowa przyspieszeń drgań pojazdu samochodowego w aspekcie diagnostyki układu zawieszenia. XXX Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka 2003, str. 38.
13. Dokumentacja techniczna samochodu Fiat Seicento.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

Abstract

The paper presents diagnostics method based in Wigner Ville'a distribution used to diagnostics technical state of shock absorber built-up in suspension of car. The variables are the diagnostic symptoms the non-linear related with changes of state of technical shock-absorber effects. It near use of advanced methods of analyses' was it been possible with signal to separate diagnostic information. It presented results allow on ascertainment that non-linear effects was it been possible was to use in diagnostics of shock-absorbers

Praca wykonana w ramach BK-222/RT2/2003