

Rafał BURDZIK, Paweł SOBCZAK

METODY KLASYFIKACJI USZKODZEŃ AMORTYZATORÓW SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję nowej metody umożliwiającej identyfikację stanu technicznego amortyzatora. Z uwagi na złożoność układu zawieszenia pojazdu, którego elementem jest amortyzator, i wynikającą z tego problematyką odseparowania jego symptomów diagnostycznych, koncepcję postanowiono rozszerzyć o cały system diagnostyczny. W ramach badań przeprowadzono serie pomiarów w stacjach kontroli pojazdów w celu zebrania dostatecznej bazy wiedzy. W projekcie systemu zastosowano algorytmy matematyczne i klasyfikatory neuronowe zaimplementowane do programu Matlab.

METHODS OF DEFECTS CLASSIFICATION OF PASSENGER CARS SHOCK-ABSORBERS

Summary. The paper presents conception of new shock-absorber technical condition identification method. Due to complexity of vehicle suspension, which part is shock-absorber, there is a problem with separate of diagnostics symptoms. That is the reason to increase conception to whole diagnostic system. It were measures research conducted in vehicle research station to create usefully data base. It were used mathematics algorithms and neural network classificatory implementation to Matlab.

1. WSTĘP

Uszkodzenie elementu tłumiącego drgania pojazdu, jakim jest amortyzator, może skutkować poważnymi konsekwencjami. Jeśli nastąpiłoby ono gwałtownie, w trakcie jazdy samochodu, może być przyczyną wypadku drogowego [10,13]. Aktualnie stosowane metody badań kontrolnych amortyzatorów nie umożliwiają jednoznacznej ich oceny, czego dowodem jest brak korelacji między liczbą wypadków spowodowanych złym stanem technicznym zawieszenia a zdiagnozowaną w trakcie badań kontrolnych liczbą samochodów ze złym stanem amortyzatorów [12].

Rosnąca konkurencja na rynku motoryzacyjnym wymusza na producentach prowadzenie badań innowacyjnych, czego efektem są coraz nowsze konstrukcje elementów pojazdów. Za trendem tym nie nadążają niestety producenci urządzeń diagnostycznych i co gorsza ustawodawstwo, które reguluje zakres i sposób przeprowadzania badań technicznych pojazdów [14].

W pracy [6] zaproponowano nowe metody badań amortyzatorów pojazdów oraz miary ich stanu technicznego. W artykule tym skoncentrowano się na opracowaniu koncepcji metod klasyfikacji uszkodzeń w oparciu o zaproponowany w pracy [3] system diagnozowania stanu technicznego amortyzatorów samochodów osobowych oraz komunikacji z użytkownikiem tego systemu.

2. AKTUALNIE STOSOWANE METODY BADAŃ I OCENY (KLASYFIKACJI) AMORTYZATORÓW

Aktualnie wytyczne w sprawie badań kontrolnych pojazdów w zakresie kontroli stanu zawieszenia nakazują diagnoście ocenę:

- stanu i sztywności elementów sprężystych zawieszenia,
- stanu i stopnia tłumienia elementów tłumiących,
- luzów występujących w połączeniach,
- oporów tarcia związanych z ruchem elementów zawieszenia.

W czasie oceny organoleptycznej największą trudność sprawia prawidłowa ocena stanu technicznego elementów tłumiących. Natomiast ocena jego stopnia tłumienia bez zastosowania odpowiednich urządzeń jest niemożliwa.

Powszechnie stosowanymi na stacjach kontroli pojazdów urządzeniami do kontroli amortyzatorów są stanowiska wykorzystujące metody drgań wymuszonych:

- boge,
- eusama,
- eusama plus.

Dwie pierwsze z wymienionych metod zostały opisane w [4,6,8]. Z uwagi na problemy z prawidłową klasyfikacją stanu technicznego różnych grup pojazdów w metodzie eusama wprowadzono dodatkowe kryteria i grupy klasyfikacji wskaźnika eusama (WE). W standardowych rozwiązaniach systemów diagnostycznych wartość współczynnika podzielenia jest na 4 klasy. Klasyfikację tę przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Klasyfikacja wartości WE

Wartość wskaźnika WE	Ocena amortyzatora
0 – 20%	Zły stan techniczny
21 – 40%	Dopuszczalna wartość tłumienia, amortyzator wymaga dodatkowego badania po wymontowaniu z pojazdu
41 – 60%	Dobra wartość tłumienia
>60%	Bardzo dobra wartość tłumienia

Modyfikacja klasyfikacji polegała na zastosowaniu zróżnicowania wymagań w stosunku do wartości współczynnika WE w zależności od masy pojazdu. Pojazdy podzielono na następujące grupy:

- grupa I – pojazdy o masie własnej powyżej 1400 [kg],
- grupa II – pojazdy o masie własnej w przedziale 900 – 1399 [kg],
- grupa III – pojazdy o masie własnej poniżej 899 [kg].

Dopuszczalne wartości wskaźnika WE dla pojazdów wymienionych grup przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Dopuszczalne wartości WE

Numer grupy	Dopuszczalna wartość wskaźnika WE			
	Stan bardzo dobry	Stan dobry	Stan dostateczny	Stan niedostateczny
I	70 – 100%	50 – 69%	30 – 49%	0 – 29%
II	60 – 100%	40 – 59%	20 – 39%	0 – 19%
III	60 – 100%	30 – 59%	20 – 29%	0 – 19%

Wymagania w stosunku do dopuszczalnej różnicy uzyskanych wyników pomiarów pomiędzy kołami jednej osi także są zróżnicowane. Dla pojazdów grup I i II różnica ta wynosi 25%, natomiast dla pojazdów grupy III – 20%.

Metoda eusama plus jest rozwinięciem metody eusama. Główna cecha różniąca te metody to założenie występowania zmiennej częstotliwości rezonansowej w trakcie analizy. W systemie eusama plus proces pomiarowy można podzielić na dwa etapy: etap wstępny i etap pomiaru współczynnika tłumienia. Podczas etapu wstępnego następuje rozgrzanie oleju w amortyzatorze w celu uzyskania jego właściwej lepkości. Płyta stanowiska w tym etapie generuje wymuszenia niskoczęstotliwościowe przez około 10 sekund. Równoległe prowadzony jest pomiar ciśnienia w ogumieniu – w przypadku gdy różnica pomiędzy ciśnieniem w ogumieniu a ciśnieniem nominalnym przekracza 0,05 [MPa], pomiar zostaje przerwany. Drugi etap pracy urządzenia to pomiar współczynnika tłumienia. Płyta stanowiska drga z częstotliwością równą 30 [Hz]. Następnie częstotliwość obniża się do 8 [Hz] ze stopniowaniem co 1 [Hz]. Na czas pomiaru stabilizowana jest każda częstotliwość pomiarowa, przy czym szczegółowo analizowany jest przedział częstotliwości 13 – 18 [Hz] odpowiadający przedziałowi występowania rezonansu masy nieresorowanej. Dla każdej częstotliwości pomiarowej mierzone są wartości siły nacisku na płytę urządzenia pomiarowego podczas ściskania i rozciągania amortyzatora, co z kolei pozwala na określenie dla każdego pojazdu stosunku mas c :

$$c = \frac{m_r}{m_n}, \quad (1)$$

gdzie:

m_r - wartość masy resorowanej,

m_n - masy nieresorowanej.

Po przeprowadzeniu pomiarów następuje wykreślenie zależności współczynnika tłumienia w funkcji stosunku mas c , co pozwala na określenie stanu amortyzatora zarówno w czasie ściskania, jak i rozciągania amortyzatora. Oceny tej dokonuje się na podstawie uzyskanego wykresu. Wykres podzielony jest na trzy strefy oznaczone kolorami.

Zależność oznaczenia strefy, współczynnika WE oraz oceny stanu amortyzatora przedstawiono w tablicy 3.

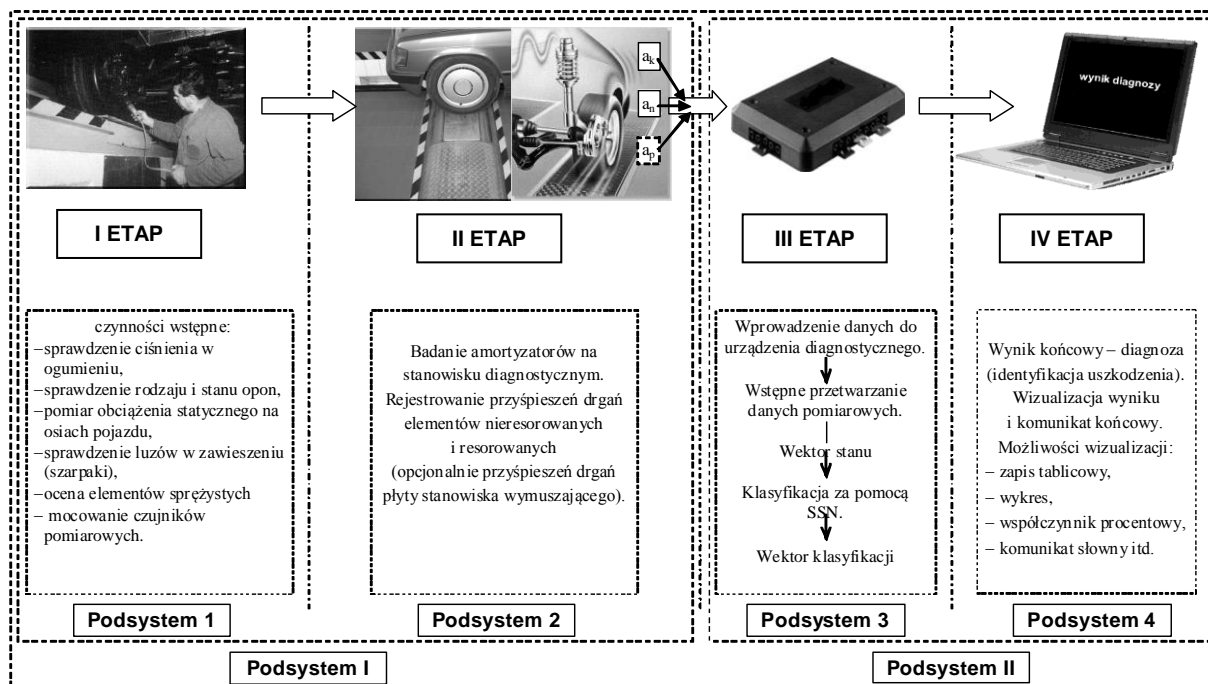
Tablica 3

Klasyfikacja stanu technicznego amortyzatora w metodzie eusama plus

Strefa wykresu	Wartość współczynnika WE	Ocena stanu amortyzatora
Zielona	>80%	Stan dobry
Żółta	50 – 80%	Stan dostateczny
Czerwona	<50%	Stan niedostateczny

3. KONCEPCJA METODY KLASYFIKACJI USZKODZEŃ AMORTYZATORÓW SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Propozycję metody klasyfikacji uszkodzeń amortyzatorów oparto na teorii eksploracji danych (ang. Data Mining) [11], definiowanej jako zbiór technik automatycznego odkrywania istotnych zależności, wzorców, reguł (symptomów diagnostycznych) w analizowanych zbiorach danych (sygnałach diagnostycznych). Można zatem przyjąć, że klasyfikacja jest metodą eksploracji danych z nadzorem. Metoda klasyfikacji została zintegrowana z systemem diagnostycznym przedstawionym w pracy [3]. Na rysunku 1 przedstawiono poglądowy schemat systemu diagnozowania stanu technicznego amortyzatorów samochodów osobowych.



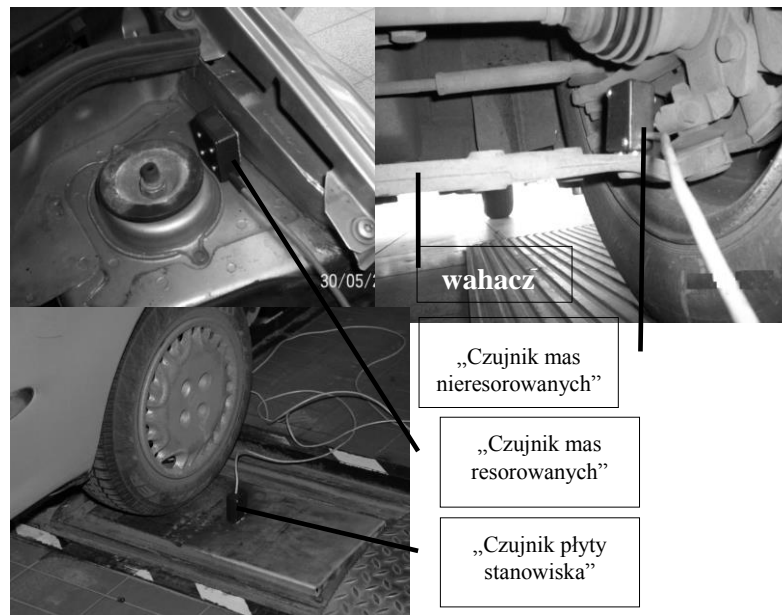
Rys. 1. Schemat systemu diagnozowania stanu technicznego amortyzatorów samochodów osobowych
 Fig. 1. Diagram of passenger car shock-absorber technical condition diagnostic system

Zaproponowano systemowo-procesowe ujęcie badań kontrolnych amortyzatorów. Prawidłową diagnozę zapewnia jedynie wykonanie wszystkich czynności kontrolnych (podejście systemowe) w ściśle określonej kolejności (podejście procesowe). W proponowanym systemie diagnostycznym oparto się wyłącznie na stanowiskach badawczych, w które wyposażone są stacje kontroli pojazdów. Ostateczna diagnoza klasyfikuje uszkodzenia amortyzatora. Może to w przyszłości umożliwić rozbudowanie systemu o moduł prognozowania, a także znacząco powiększa możliwości analizy wyników w celu budowy baz wiedzy eksperckiej.

Na schemacie przedstawiono kolejność i zakres wykonywanych czynności diagnostycznych. Prostokątami z liniami przerywanymi zaznaczono kolejne podsystemy (podsystem 1, podsystem 2, podsystem 3, podsystem 4).

Podsystem 1, nazwany „czynności wstępne”, może być realizowany na oddzielnym stanowisku lub docelowo jest możliwość zintegrowania go ze stanowiskiem do badań amortyzatorów. Zakres wykonywanych czynności przedstawiono na rysunku 1.

Podsystem 2 obejmuje część badawczą amortyzatorów. W koncepcji systemu diagnozowania zaproponowano wibroakustyczną metodę badania amortyzatorów szczegółowo opisaną w pracach [2,6]. Metoda ta wykorzystuje stanowisko o wymuszeniu kinematycznym, stosowane w SKP. Rejestrowanymi wielkościami są przyspieszenia drgań elementów nieresorowanych i resorowanych oraz opcjonalnie przyspieszenia drgań płyty stanowiska (rys. 2).



Rys. 2. Miejsca mocowania czujników pomiarowych w metodzie wibroakustycznej
 Fig. 2. Vibro-acoustics methods measure sensors installation points

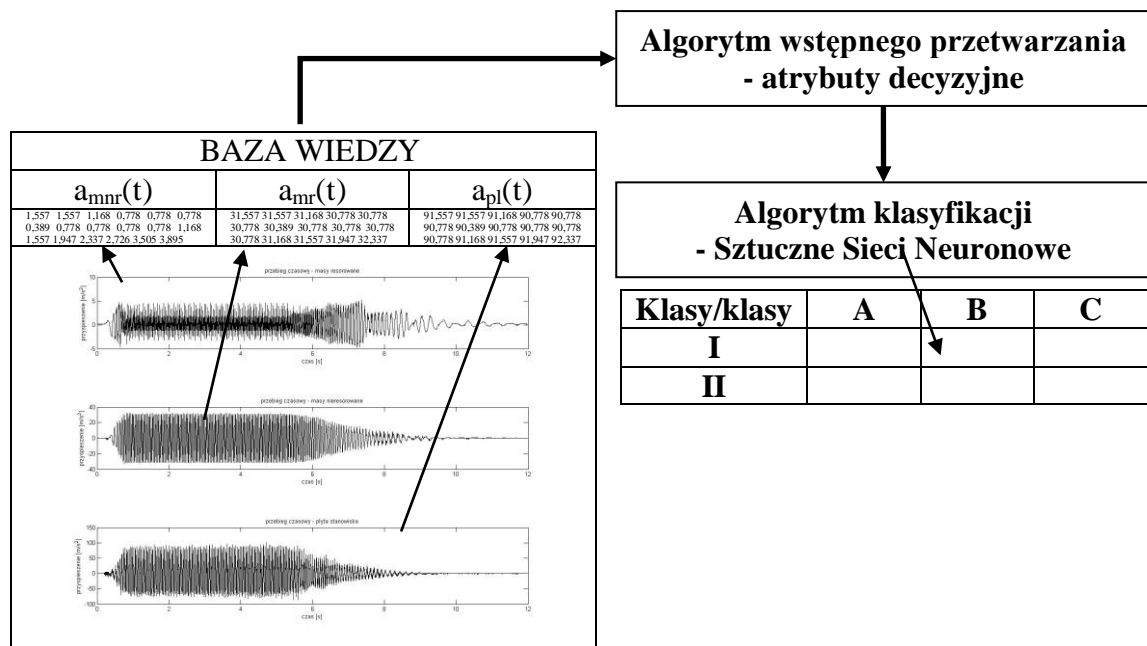
Podsystem 3 jest kluczowym elementem tego systemu. Odpowiedzialny jest za przetwarzanie sygnałów diagnostycznych i klasyfikację uszkodzenia amortyzatora do predefiniowanych klas. Na podstawie przeprowadzonych w ramach badań eksperymentów czynnych i analitycznych dokonano oceny wrażliwości diagnostycznej rejestrowanych sygnałów. W artykule tym jako sygnał diagnostyczny zaproponowano przyspieszenia drgań mas resorowanych badanych pojazdów. Dotychczasowe badania pozwoliły także na zdefiniowanie klas uszkodzeń jako funkcji ubytku oleju amortyzatorowego i ubytku uszczelnienia tłoka.

Podsystem 3 ma budowę modułową. Pierwszy moduł odpowiedzialny jest za wstępne przetwarzanie zarejestrowanych sygnałów. Opracowana metodyka wyznaczania diagnostycznych miar stanu technicznego amortyzatora została opisana w [2,5]. Wynikiem działania tego modułu jest uzyskanie wektora stanu amortyzatora. Składowe wektora stanu stanowią jednocześnie wartości atrybutów decyzyjnych dzielących zbiór sygnałów na predefiniowane klasy. Programowy algorytm wyznaczania wektora stanu amortyzatora został opracowany w środowisku Matlab.

Drugi moduł to klasyfikator rodzaju i stopnia uszkodzenia amortyzatora. Danymi wejściowymi tego modułu są składowe wektora stanu wyznaczonego w module pierwszym. Spośród dostępnych metod klasyfikacji, takich jak:

- klasyfikacja poprzez indukcje drzew decyzyjnych,
- klasyfikatory bayesowskie,
- sieci neuronowe,
- analiza statystyczna,
- metaheurystyki (np. algorytmy genetyczne),
- zbiory przybliżone,
- k-najbliższe sąsiedztwo,

zaproponowano klasyfikację w oparciu o sztuczne sieci neuronowe. W pracy [2] przedstawiono zaprojektowane i wytrenowane sieci neuronowe. Zweryfikowano je na danych uzyskanych w trakcie badań amortyzatorów o zidentyfikowanym stanie technicznym na obiekcie rzeczywistym z rezultatem zadowalającym. Wynikiem tego modułu jest wektor klasyfikacji, który umożliwia jednoznaczną klasyfikację uszkodzenia amortyzatora. Schemat działania tego podsystemu przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat działania podsystemu 3

Fig. 3. Functional diagram of subsystem nr 3

Algorytmy matematyczne wyznaczania wektorów stanu amortyzatora i struktura wytrenowanych sieci klasyfikujących zostały opracowane w środowisku Matlab. Istnieje jednak możliwość zaimplementowania ich w sprzętowe układy diagnostyczne, co znacznie przyspieszy czasochłonne operacje przetwarzania sygnałów. W pracy [9] przedstawiono prototyp programowalnego urządzenia diagnostycznego stanów niestacjonarnych realizowane przy użyciu reprogramowalnych układów FPGA.

Podsystem 4 służy do przekazania komunikatów pośrednich i końcowego użytkownikowi systemu. Istnieje wiele możliwości wizualizacji wyników diagnozy [3], np.:

- zapis tablicowy,
- wykres,
- współczynnik procentowy,
- komunikat słowny itd.

W podsystemie tym istotne jest, aby wynik końcowy był jednoznaczny i obiektywny – „ostra” klasyfikacja do predefiniowanej grupy uszkodzeń. Na podstawie wyniku klasyfikacji użytkownik powinien uzyskać informację o rodzaju i stopniu uszkodzenia, postawionej diagnozie i ewentualnie komunikat dodatkowy (np. o zalecanych czynnościach).

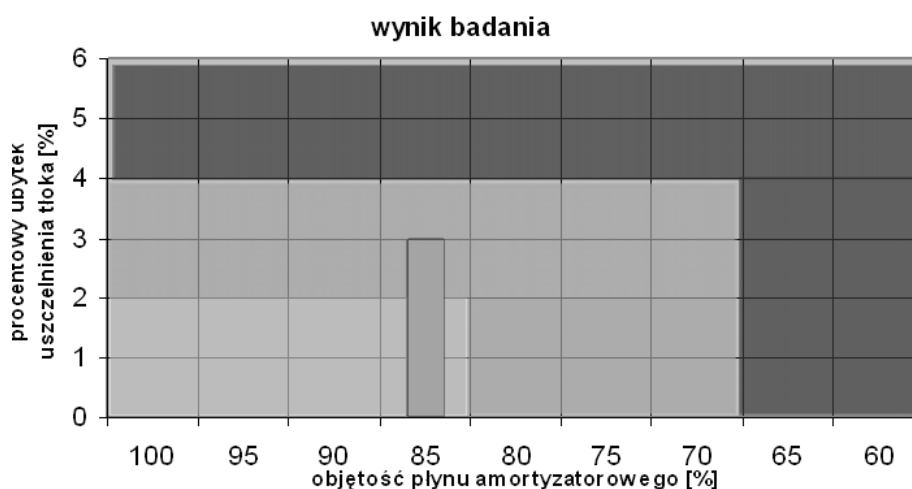
Jeśli wynik klasyfikacji przedstawiony zostanie w formie tabeli lub wykresu, przypisanie do danej klasy uszkodzeń musi być jednoznaczne. Dodatkowo można zaznaczyć kolorystycznie przyjęte zakresy sprawności i niesprawności amortyzatora. Należy pamiętać, że wizualizacja wyniku jest ostatnim etapem działania systemu. Komunikat końcowy musi zawierać wszystkie niezbędne informacje dla użytkownika i dodatkowo powinien być zaopatrzony w system wczesnego ostrzegania. Dla komunikatów graficznych można jako taki system zastosować odpowiednią kolorystykę obszarów. Przykładowe propozycje komunikatów końcowych przedstawiono na rysunku 4.

a)

objętość płynu uszczelnienie tłoka	[100%, 90%)	[90%, 80%)	[80%, 70%)	?70%	VI
brak ubytku	0	0	0	0	
(0%, 2%]	0	0	0	0	
(2%, 4%]	0	1	0	0	
>4%	0	0	0	0	

- dopuszczony do eksploatacji
 - prognozowana konieczna wymiana za 5tyś km
 - bezwarunkowa dyskwalifikacja z eksploatacji

b)



Rys. 4. Wizualizacja wyniku badania amortyzatora – klasyfikacja uszkodzenia w postaci ubytku oleju w przedziale [10%, 20%), ubytku uszczelnienia tłoka w przedziale [2%, 4%): a) forma tablicowa, b) forma wykreslna

Fig. 4. Visualization of shock-absorber research result – defect classification oil decrease [10%, 20%) range, piston leak decrease [2%, 4%) range: a) table form, b) graphic form

4. PODSUMOWANIE

W zaproponowanej koncepcji systemu diagnozowania stanu technicznego amortyzatorów samochodów osobowych bardzo istotnym elementem jest podsystem wstępnego przetwarzania danych i klasyfikacji uszkodzeń. Prawidłowe działanie tego systemu determinuje poprawność diagnozy. W artykule przedstawiono koncepcję modyfikacji metody klasyfikacji uszkodzeń amortyzatorów samochodów osobowych. Jako sygnał diagnostyczny zaproponowano przyspieszenia drgań mas resorowanych badanych pojazdów. Analiza wyników badań pojazdów w SKP wykazała, że symptomy diagnostyczne zawarte w tych sygnałach posiadają najlepsze własności atrybutów decyzyjnych. Przeprowadzono szereg eksperymentów analitycznych zastosowania różnych estymatorów sygnałów diagnostycznych jako wektorów stanu będących danymi wejściowymi sztucznych sieci neuronowych, klasyfikujących uszkodzenia. Analizowano sieci o różnych topologiach i typach uczone metodą wstecznej propagacji błędu. Analizowano estymatory przebiegów czasowych, widm sygnałów zarejestrowanych w trakcie pracy stanowiska ze stałym wymuszeniem oraz rozkładów czasowo-częstotliwościowych ciągłej transformaty falkowej [1]. Wyniki wstępnych analiz pozwalają wnioskować prawidłowość założeń koncepcji systemu diagnostycznego oraz opracowanych algorytmów estymacji i klasyfikacji wyników. W celu prawidłowej weryfikacji metody klasyfikacji uszkodzeń amortyzatorów samochodów

osobowych istnieje konieczność przeprowadzenia znacznie większej ilości badań na SKP. Dla zwiększenia skuteczności klasyfikacji należy przeprowadzić dodatkowe badania pojazdów z zabudowanymi amortyzatorami o zidentyfikowanym stanie technicznym.

Bibliografia

1. Batko W., Dąbrowski Z., Engel Z., Kiciński J., Weyna S.: Nowoczesne metody badania procesów wibroakustycznych. ITE, Radom 2005.
2. Burdzik R.: Automacyjne diagnozowanie stanu technicznego amortyzatorów zabudowanych w samochodach osobowych. Rozprawa doktorska, Katowice 2006.
3. Burdzik R.: Koncepcja systemu diagnozowania stanu technicznego amortyzatorów samochodów osobowych, XXXIV Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka 2007.
4. Burdzik R., Gardulski J., Konieczny Ł.: Nowe metody diagnozowania amortyzatorów. VI Konferencja Naukowa Telematyka i Bezpieczeństwo Transportu, Katowice 2006.
5. Burdzik R., Gardulski J.: Metodyka wyznaczania diagnostycznych miar stanu technicznego amortyzatorów samochodowych. DIAGNOSTYKA nr 4(40)/2006, PTDT, 2006.
6. Burdzik R., Gardulski J.: Metody diagnozowania stanu technicznego amortyzatorów zabudowanych w samochodach osobowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Transport, z. 63, Gliwice 2006.
7. Danesin D., Vercellone P., Mastronardi F., Fenoglio M., Fornero A., Valardocchina M.: Vehicle dynamic with real time damper system. 16th European ADAMS User Conference, November 14-15, Berchtesgaden, Germany 2001.
8. Gardulski J.: Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawiesznień samochodów osobowych. ITE, Katowice-Radom 2003.
9. Jamro E., Adamczyk J., Krzyworzeka P., Cioch W.: Programowalne urządzenie diagnostyczne stanów niestacjonarnych pracujące w czasie rzeczywistym, XXXIII Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka 2006.
10. Peceliunas R., Prentkovskis O.: Influence of shock-absorber parameters on vehicle vibrations during braking. Trans Tech Publications, Solid State Phenomena Vol. 113, Switzerland 2006, pp. 235-240.
11. Torgo L.: "Data Mining with R: learning by case studies", LIACC-FEP, University of Porto R. Campo Alegre, Portugal, May 22, 2003.
12. Walusiak S., Pietrzyk W., Sumorek A.: Ocena diagnostyczna stanu technicznego pojazdów samochodowych w wybranej stacji diagnostycznej. MOTROL. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Tom 5. Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN. Lublin 2003, s. 223- 230.
13. Dane statystyczne wypadków w 1998 r. Biuro Ruchu Drogowego KGP.
14. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 grudnia 2003 r. „W sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach”, DzU nr 227 poz. 2250.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Jan Adamczyk

Praca wykonana w ramach BW-511/RT2/2008