ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: TRANSPORT z. 61 Nr kol. 1704

Janusz GARDULSKI

ZALETY I WADY METOD DIAGNOZOWANIA AMORTYZATORÓW SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Streszczenie. W artykule omówiono metody badań amortyzatorów samochodów osobowych wybudowanych i zabudowanych w pojeździe. Jako wskaźnik oceny przyjęto zestawienie zalet i wad zaprezentowanych metod badawczych, wskazując równocześnie na niepoprawne założenie w wymienionych metodach liniowych charakterystyk elementów sprężystych i tłumiących.

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF PASSENGER CAR SHOCK ABSORBERS DIAGNOSIS METHODS

Summary. This paper described methods of car shock absorbers on and out of the vehicle research. It was made an assessment of advantages and disadvantages of presented researched methods. Concurrently the linear characteristics of spring and dumping elements was selected as the incorrect assumption.

1. WSTĘP

Efektami niesprawności amortyzatorów są: duże amplitudy przyspieszeń drgań, zwiększone przechyły poprzeczne i wzdłużne nadwozia, wydłużenie drogi hamowania oraz destrukcyjne oddziaływanie na elementy pojazdów i nawierzchnie drogi. Z punktu widzenia użytkownika istotne są dwa czynniki związane ze stanem technicznym amortyzatorów: bezpieczeństwo i komfort jazdy. Samochód jest złożonym układem mechanicznym o strukturze dyskretno-ciągłej, posiadającym wiele częstotliwości rezonansowych, wśród których wyszczególnić należy rezonans mas nieresorowanych (8-18 Hz) i resorowanych (1-3 Hz). Masy te połączone są elementami sprężystymi i tłumiącymi – amortyzatorami. Wymienione elementy zawieszenia we współczesnych samochodach posiadają progresywne nieliniowe charakterystyki.

2. METODY BADAŃ AMORTYZATORÓW

Wśród metod badania amortyzatorów wyróżnić można:

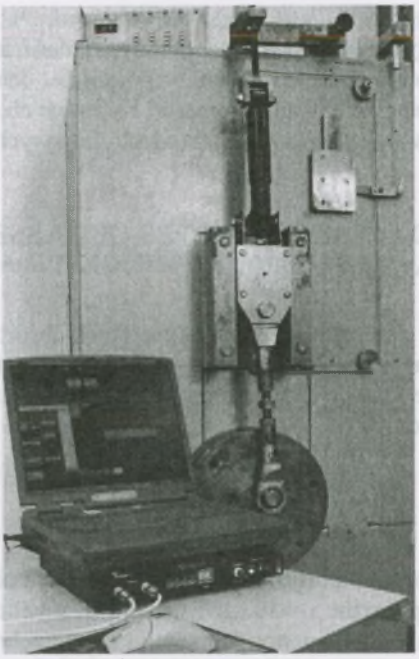
- - badania amortyzatorów niezabudowanych w pojeździe,
- - badanie amortyzatorów zabudowanych w pojeździe.

2.1. Metody diagnozowania amortyzatorów samochodowych niezabudowanych w pojeździe

Jedną z metod oceny stanu technicznego amortyzatorów wybudowanych z pojazdu są badania na stanowiskach indykatorowych, wyposażonych w mechaniczno-elektryczny lub

elektrohydrauliczny układ wymuszający. Stanowiska takie wyposażone są w układy pomiarowe umożliwiające rejestrację wykresów indykatorowych siły tłumienia amortyzatorów w funkcji skoku tłoka przy ugięciu i odbiciu.

Na stanowiskach indykatorowych układ korbowy wymusza najczęściej ruch posuwisto-zwrotny uchwytu dolnego amortyzatora i obudowy. Uchwyt górny połączony z tłoczyskiem mocowany jest do ramy stanowiska za pomocą przetwornika siły. Widok stanowiska znajdującego się na wyposażeniu Laboratorium PTP Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Stanowisko indykatorowe do badania amortyzatorów
Fig. 1. Indicate test stand

Stanowisko napędzane jest silnikiem elektrycznym prądu przemiennego. Napęd od silnika przenoszony jest przez przekładnię pasowo-klinową na zębatą skrzynkę biegów o dwóch przełożeniach oraz przekładnię nawrotną. Ze skrzynki biegów napęd przekazywany jest na mimośrodowy układ korbowy o zmiennej długości. Przekazywanie wymuszenia z układu korbowego na dolny koniec amortyzatora odbywa się za pomocą mechanizmu suwakowego. Górne mocowanie amortyzatora połączone jest z obudową stanowiska przez przetwornik siły. Zależność między prędkością ruchu tłoczka amortyzatora v, promieniem wykorbienia *R*, długością korbowodu L i kątem obrotu wału napędowego α opisuje zależność:

$$v = R\,\omega(\sin\alpha + 0{,}5\,R\,L\sin 2\alpha)\ ,\quad \text{dla } \alpha = \omega\,t\ \ (\omega = \text{const}) \tag{1}$$

gdzie:
ω – prędkość kątowa wykorbieni $\omega = \pi\ n/30$ [rad/s],
n – prędkość obrotowa wału [obr /min].

W przypadku badań amortyzatorów o liniowych, symetrycznych charakterystykach, niemających zaworków korekcyjnych, równania siły tłumiącej w funkcji prędkości przemieszczenia tłoczka są równaniem elipsy, której kształt jest charakterystyką

amortyzatora. Dla liniowego układu współczynnik tłumienia jest stały i równy tangensowi kąta pochylenia liniowej charakterystyki na wykresie prędkościowym amortyzatora.

Amortyzatory współczesnych samochodów posiadają niesymetryczne charakterystyki tłumienia, skorygowane przez zaworki przelewowe. Ich wykresy indykatorowe odbiegają od elipsy. Ocena ich stanu technicznego polega najczęściej na porównaniu kształtu wykresu indykatorowego z wynikami kontrolnymi uzyskanymi dla nowych amortyzatorów. Uzyskane wykresy indykatorowe przedstawiają zmianę siły tłumienia w funkcji skoku tłoczka amortyzatora. Po ich zróżniczkowaniu otrzymuje się tzw. wykresy prędkościowe, charakteryzujące zdolność tłumienia w funkcji prędkości względnej tłoczka. Przeprowadzając badania na stanowisku indykatorowym przy różnych częstościach wymuszeń można otrzymać zbiór zamkniętych charakterystyk tłumienia, który można przedstawić również w postaci wykresów rozwiniętych (otwartych).

Powszechnie jako estymatora do oceny stanu technicznego amortyzatorów przyjmowano maksymalną i minimalną wartość siły tłumienia, którą porównywano z wartościami amortyzatora nowego. Autor do oceny wprowadził nowy parametr diagnostyczny – moc tłumienia, uzyskując zwiększoną dokładność identyfikacji uszkodzeń. Odmienną metodą analizy zarejestrowanych wyników badań na stanowisku indykatorowym jest zastosowanie systemu eksperckiego, pracującego na bazie sieci neuronowej.

Metoda badań indykatorowych jest metodą dokładną, która charakteryzuje się dużą wiarygodnością uzyskanych wyników, jednak może być stosowana tylko w badaniach amortyzatorów niezabudowanych w pojeździe.

2.2. Metody diagnozowania amortyzatorów samochodowych zabudowanych w pojeździe

Spośród metod badawczych w stacjach kontroli pojazdów i na liniach diagnostycznych powszechnie stosuje się metody bezdemontażowe, w trakcie których amortyzatory pozostają zabudowane w pojeździe. Wśród tych metod należy rozróżnić:

- - metody drgań swobodnych,
- - metody drgań wymuszonych.

Metoda drgań swobodnych polega na pobudzeniu do drgań samochodu jednorazowym impulsem siły. Nadwozie wykonuje drgania, które zanikają tym szybciej, im większa wartość tłumienia występuje w zawieszeniu. Impulsem mogą być: swobodny spadek, zrzut samochodu z niewielkiej wysokości oraz jednorazowe obciążenie nadwozia. W przypadku gdy pomiar dotyczy obciążenia podłoża wywołanego przez koło, miarą skuteczności tłumienia jest np. stosunek najmniejszego nacisku koła na podłoże podczas drgań do nacisku statycznego koła, zarejestrowany w formie wykresów w funkcji czasu (metoda firma CARTEC). W przypadku gdy urządzenie diagnostyczne do oceny działania amortyzatora wykorzystuje pomiar wychyleń nadwozia względem podłoża, skuteczność tłumienia określa np. współczynnik wyznaczany na podstawie wartości czterech kolejnych amplitud przebiegu czasowego drgającego nadwozia (firma Metronic GmbH). W badaniach metodami wykorzystującymi drgania swobodne dla prawidłowej oceny efektów tłumienia amortyzatorów konieczne jest skorzystanie z danych referencyjnych (wzorcowych) konkretnego modelu samochodu.

Inną metodą wychyleniową, polegającą na analizie ruchu podwozia samochodu osobowego po impulsowym pobudzeniu, jest metoda „zrzutu" samochodu z ruchomego wspornika. Polega ona na tym, że samochód najeżdża badanym kołem na ruchomy wspornik i zostaje podniesiony do góry za pomocą układu dźwigniowego, a następnie odblokowanie mechanizmu powoduje spadek samochodu na płytę oporową stanowiska, pobudzając do drgań masy nieresorowane i resorowane samochodu. Stosunek amplitudy ujemnej do

dodatniej pierwszego wahnięcia jest miarą średniego tłumienia, będącego miernikiem stanu technicznego amortyzatora.

W diagnostyce amortyzatorów zabudowanych w samochodzie najczęściej stosuje się metody drgań wymuszonych (BOGE lub EUSAMA) i ich pochodne. W metodach tych wykorzystywane są harmoniczne, mechaniczne wzbudniki drgań pionowych, które pobudzają do drgań koło samochodu spoczywające na płycie najazdowej stanowiska. Częstotliwość drgań wymuszających jest wyższa od częstotliwości rezonansowej masy nieresorowanej. Cykl pobudzania do drgań jest trzy etapowy. Po włączeniu wzbudnika (etap pierwszy) następuje rozpędzanie stanowiska do częstotliwości wyższej od częstotliwości rezonansowej zawieszenia. Drugi etap to pobudzanie zawieszenia ze stałą częstotliwością (ok. 21 lub 26 Hz). W etapie trzecim, po wyłączeniu wzbudnika w wyniku tłumienia amortyzatora, elementów zawieszenia i opony, rozpoczyna się proces zanikania drgań - maleją amplituda i częstotliwość. W chwili gdy częstotliwość drgań układu osiągnie wartość częstotliwości rezonansowej zawieszenia, następuje wzrost amplitudy drgań, której wartość jest wskaźnikiem stanu technicznego amortyzatora. Efektywność tłumienia określana jest na podstawie analizy drgań:

- w funkcji czasu (w metodzie BOGE),
- w funkcji nacisku koła na podłoże (w metodzie EUSAMA).

W metodzie BOGE miarą jakości amortyzatora jest dekrement tłumienia określony podwójną amplitudą drgań rezonansowych. Przebieg drgań płyty stanowiska jest rejestrowany (najczęściej za pomocą sondy ultradźwiękowej) i porównywany z przebiegami wzorcowymi amortyzatorów danego modelu samochodu. W zmodyfikowanej metodzie BOGE, wykorzystywanej w urządzeniach firmy MAHA, zastosowano procentową ocenę stanu technicznego amortyzatora zabudowanego w zawieszeniu. Metoda ta zakłada liniową zależność pomiędzy amplitudą wymuszenia i masą badanego samochodu obciążającą płytę stanowiska, a także liniowy związek pomiędzy sprawnością tłumienia wyrażoną w procentach i amplitudą drgań płyty.

Metoda EUSAMA, opracowana przez Europejskie Stowarzyszenie Producentów Amortyzatorów, polega na procentowym określeniu siły przylegania koła do podłoża. Ocenę skuteczności tłumienia określa wskaźnik EUSAMA WE wyrażony zależnością:

$$WE = \frac{Q_{min}}{Q_{st}} \cdot 100\% \qquad (2)$$

gdzie:

Q_{min} – minimalna wartość nacisku pozornego koła na płytę stanowiska w trakcie wystąpienia rezonansu dla przyjętej stałej częstotliwości 16 Hz,

Q_{st} – wartość statyczna nacisku koła na płytę stanowiska określona dla nieruchomej płyty.

Oceny stanu technicznego amortyzatorów dokonuje się na podstawie analizy uzyskanego wyniku w odniesieniu do czterostopniowej skali podanej w tabeli 1.

Tabela 1

Wartość WE [%]	Jakościowa ocena skuteczności tłumienia
0 - 20	Zła
21 - 40	Dostateczna
41 - 60	Dobra
60 - 100	Bardzo dobra

Kryteria oceny są jednakowe dla wszystkich typów pojazdów. Różnica w wartościach WE pomiędzy stroną lewą i prawą w czasie pomiaru jednej osi nie powinna przekraczać 20%. Wykonany tą metodą test skuteczności tłumienia drgań zawieszenia osi tylnej w samochodach lekkich z przednim napędem budzi pewne wątpliwości. W wielu przypadkach badań takich samochodów skuteczność tłumienia tylnej osi była „dostateczna". Po obciążeniu samochodu wartość WE wzrosła nawet do oceny „bardzo dobry".

Niektóre firmy, np. Hofmann, rozszerzyły pierwotną skalę oceny jakości tłumienia o dodatkowy parametr (masę własną pojazdu) zmieniając granice przedziałów przyjętych w systemie EUSAMA i określając dopuszczalną granicę różnicy WE dla danej osi.

Firma Beissbarth zastosowała nową metodę badania nazwaną EUSAMA *plus*, w której wykorzystano układ płynnej regulacji częstotliwości wymuszenia. W czasie pomiaru można wyróżnić dwa etapy:

- fazę wstępną – rozgrzewanie amortyzatorów, które przebiega przy niskiej częstotliwości drgań i trwa ok. 10 [s]. Na tym etapie sprawdzane jest również automatycznie ciśnienie powietrza w ogumieniu na podstawie pomiarów odkształceń opony pod wpływem zmiennego obciążenia,
- pomiar współczynnika tłumienia.

Proces pomiarowy przebiega ze zmieniającą się płynnie co 1 Hz w sposób malejący częstotliwością drgań od 30 [Hz] do 8 [Hz]. Szczegółowo analizowany jest przedział rezonansu masy nieresorowanej (13-18 Hz). Dla całego sprawdzanego zakresu częstotliwości mierzony jest pozorny ciężar masy nieresorowanej obciążającej płytę stanowiska zarówno podczas ruchu ściskania, jak i rozciągania amortyzatora. Umożliwia to ocenę wielkości mas resorowanej i nieresorowanej oraz obliczenie stosunku tych mas dla badanego pojazdu. Następnie wyznaczany jest związek pomiędzy współczynnikiem tłumienia a stosunkiem mas resorowanej i nieresorowanej. Do oceny stanu technicznego amortyzatora wykorzystuje się trzystopniową skalę, której odnosi się uzyskany wynik badań.

Kolejną ewolucyjną odmianą testu harmonicznego stosowanego w diagnostyce amortyzatorów zabudowanych w pojeździe jest metoda firmy Hunter Engineering Company. W metodzie tej główną wielkością charakteryzującą stan techniczny zawieszenia jest kąt fazowy. Fizycznie kąt fazowy wyrażony jest jako przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem przemieszczenia płyty stanowiska a sygnałem zmiennej siły nacisku koła spoczywającego na tej płycie. Różnica w porównaniu z metodą EUSAMA polega na pomiarze dodatkowego parametru sygnału drganiowego, jakim jest przemieszczenie płyty stanowiska. Przemieszczenie masy nieresorowanej względem płyty stanowiska jest proporcjonalne do chwilowej wartości siły nacisku pomiędzy nimi, dlatego zarówno przemieszczenie, jak i przyspieszenie masy nieresorowanej są największe, gdy wartość kąta fazowego wynosi zero (brak tłumienia w układzie). Wprowadzając do układu tłumienie powodujemy redukcję przemieszczenia koła i zwiększanie się wartości kąta fazowego. Najmniejszym kątem fazowym nazwano wartość przesunięcia fazowego osiąganą w paśmie częstotliwości pomiędzy rezonansami mas resorowanej i nieresorowanej. Dla sprawnego amortyzatora powinna ona wynosić ok. 90^0.

3. OCENA STOSOWANYCH METOD

Ocenę wiarygodności stosowanych metod badań hydraulicznych amortyzatorów teleskopowych oparto na analizie ich zalet i wad.

Zaletą badań indykatorowych amortyzatorów jest duża wiarygodność uzyskanych wyników. Zastosowanie jako estymatora mocy tłumienia lub sieci neuronowej ułatwia identyfikację uszkodzeń. Główną wadą tej metody jest konieczność wybudowania

amortyzatorów z zawieszenia samochodu. Metoda ta jest kosztowna i czasochłonna, co eliminuje ją z procesu diagnozowania amortyzatorów na stanowiskach kontrolnych pojazdów.

Metody drgań swobodnych, jako jedne z metod badań amortyzatorów zabudowanych w pojeździe, charakteryzują się prostotą pomiarów i stosunkowo niskimi kosztami stanowisk badawczych. Metody te posiadają wiele wad, np. są mało wrażliwe na zmiany współczynników tłumienia amortyzatorów, za to są bardzo czułe na zmianę tarcia suchego w zawieszeniu i zmiany obciążenia eksploatacyjnego pojazdu. Więcej zalet posiada metoda „zrzutu", która umożliwia wykrywanie uszkodzeń amortyzatora, wpływających na wartość amplitud drgań (ubytek płynu, uszkodzenia zaworu zwrotnego). Jej wadą jest mała wrażliwość na uszkodzenia zaworu przelewowego oraz przyjęcie liniowej charakterystyki tłumienia.

Wśród metod opartych na drganiach wymuszonych standardem stała się metoda EUSAMA opracowana przez Europejskie Stowarzyszenie Producentów Amortyzatorów, która praktycznie wyparła inne metody. Jej zaletami są ustalenie standardu stanowiska badawczego, duży materiał statystyczny oraz brak potrzeby stosowania wzorców porównawczych, natomiast wadami przyjęcie liniowej charakterystyki tłumienia, stałej częstotliwości rezonansowej zawieszenia, praktycznie dwustanowy, szkolny system oceny stanu technicznego amortyzatora, duża szerokość przedziałów poszczególnych stanów, brak identyfikacji uszkodzeń oraz niejednoznaczność wyników dla amortyzatorów osi tylnej i amortyzatorów w „stanie dostatecznym". Według zaleceń EUSAMA wymagają one przebadania na stanowisku indykatorowym po wybudowaniu z pojazdu.

Inne metody (BOGE, MAHA, Hoffman) aktualnie nie posiadają praktycznego zastosowania. Wymagają stosowania wzorców i przyjmują duże uproszczenie, polegające na założeniu liniowej charakterystyki tłumienia amortyzatorów. Metody zaproponowane przez firmy Beissbarth oraz Hunter Engineering Company mimo wielu zalet nie znalazły zastosowania w stacjach kontroli pojazdów.

4. PODSUMOWANIE

Omówione metody diagnozowania hydraulicznych amortyzatorów samochodów osobowych nie określają jednoznacznie ich stanu technicznego oraz nie identyfikują rodzaju uszkodzenia. Wprowadzone założenie liniowości charakterystyk tłumienia i sprężystości jest fałszywe i niezgodne z aktualnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi tych elementów. Uzyskane wyniki należy traktować jako przybliżone. Uzasadnione wydają się więc działania, których celem jest opracowanie nowych, bardziej wiarygodnych metod, mogących znaleźć zastosowanie w praktyce.

Literatura

1. Bocheński C., Lozia Z., Mikołajczuk J.: Próba obiektywnej oceny metody badań amortyzatorów zamontowanych w pojeździe zalecanej przez zrzeszenie EUSAMA. X Konferencja Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów, Bydgoszcz-Borówno 1999.
2. Gardulski J.: Assesing the reliability of testing methods used for fluid telescopic shock absorbers in cars. (w druku).
3. Gardulski J.: Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawieszeń samochodów osobowych. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2003.

4. Gardulski J., Warczek J.: Diagnostyka amortyzatorów zabudowanych w pojeździe oparta na analizie efektów nieliniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 48, s. Transport, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
5. Gardulski J., Warczek J.: Identyfikacja stanu technicznego hydraulicznego amortyzatora teleskopowego na podstawie analizy jego charakterystyki. XXX Jubileuszowe Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka 2003.
6. Gardulski J., Warczek J.: Moc tłumienia jako parametr diagnostyczny amortyzatorów samochodowych. DIAGNOSTYKA, Vol. 29, Warszawa 2003.
7. Lozia Z., Mikołajczuk J.: Ocena przydatności testu diagnostycznego stanu amortyzatorów zamontowanych w pojeździe, wykorzystującego wymuszenie kinematyczne w kontakcie koła z podłożem. Archiwum Motoryzacji, nr 2, 1997.
8. Ringus G.: A neural network based diagnostic test system for armored vehicle shock absorbers. Expert Systems With Aplications, Vol. 11, No. 2, UK, 1996, pp. 237-244.

Recenzent: Prof. nzw. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

Praca wykonana w ramach: BK285/RT2/2007