ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1984

Seria: TRANSPORT z. 2 Nr kol. 791

Jacek MAĆKOWSKI
Mieczysław REIMAN

Instytut Transportu Samochodowego
Politechniki Śląskiej

DIAGNOSTYKA PROCESU SPALANIA W ASPEKCIE MOŻLIWOŚCI ZMNIEJSZENIA ZUŻYCIA PALIWA PRZEZ SAMOCHODOWE SILNIKI O ZAPŁONIE ISKROWYM

Streszczenie. Artykuł zawiera informację o działaniach wdrożeniowych w zakresie wprowadzenia oceny jakości procesu spalania do użytkowej diagnostyki samochodowych silników gaźnikowych. Na podstawie pilotujących badań laboratoryjnych opracowano metodę wibroakustyczną, która pozwala na bardziej staranną regulację nastawów silnika i może prowadzić do zwiększenia ich trwałości oraz zmniejszenia zużycia paliwa.

WPROWADZENIE

Wymagania współczesnej motoryzacji stwarzają potrzebę rozwijania diagnostyki samochodowej w kierunkach preferujących te wymagania. Są nimi zarówno aspekty ochrony środowiska, oszczędności zużycia paliwa, jak też niezawodność i trwałość pojazdów.

Potrzebne są zatem nowe metody diagnostyczne, odznaczające się możliwie krótkim czasem analizy, prostotę obsługi oraz wysokim stopniem dokładności, co skłania do poszukiwania nowych koncepcji i rozwiązań. Pewne możliwości w tym kierunku stwarzają metody wibroakustyczne, będące przedmiotem zainteresowań autorów szczególnie w odniesieniu do diagnostyki procesu spalania w silnikach o zapłonie iskrowym. Liczą się one w istniejących tendencjach rozwojowych, prowadzę bowiem do usprawnienie procesu spalania poprzez rozwinięcie diagnostyki silników w tym zakresie i przez to mogę prowadzić do oszczędnego zużycia paliwa w eksploatacji pojazdów.

2. PRACE BADAWCZE

Prace badawcze realizowano w latach 1976-1979. Z uwagi na konieczność wyboru odpowiadniej metody badań w pierwszym etapie przeprowadzono konfrontację stanu wiedzy w zakresie badań procesu spalania w silnikach samochodowych. Było to niezbędne z uwagi na często kontrowersyjne poglądy o skuteczności ocen jakości procesu spalania różnymi metodami w odniesieniu do różnych odmian anomalii występujących w procesie spalania.

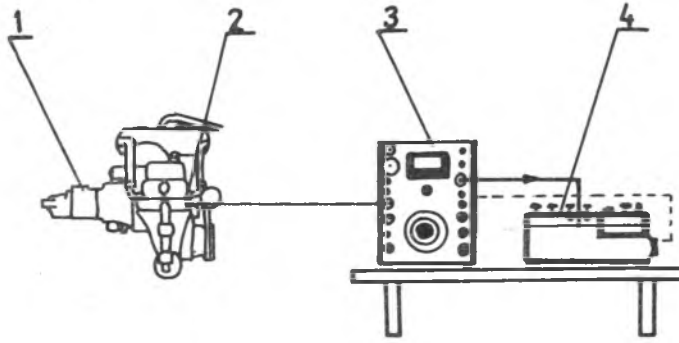
W kolejnych etapach badań określono możliwości wykorzystania wybranej metody wibroakustycznej jako najbardziej przydatnej. Etap laboratoryjny zakończony został wyciągnięciem wniosków, dotyczących konieczności wyznaczania dokładnej charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej stanowiska, doboru prędkości obrotowych, wpływu obciążenia, wyznaczenia miejsca odbioru sygnału, sposobu mocowania przetwornika, a także wpływu kąta wyprzedzenia zapłonu, składu mieszanki, luzu zaworowego, stanu cieplnego, niesprawności pracy świec, wpływu naciągu wstępnego szpilki i powtarzalności wyników.

Celem tych badań było sprawdzenie, w jakim stopniu warunki pracy silnika wpływają na zmianę wartości parametrów sygnału oraz określenie, w jakich zakresach częstotliwości należy spodziewać się odpowiedzi układu po zmianie wybranych parametrów stanu. Wyniki tych badań zrelacjonowano nieco obszerniej w pracach (1, 2, 3, 4). Na ich podstawie można było ustalić, że analiza wibroakustyczna przyspieszeń drgań, emitowanych przez pracujący silnik, nie tylko okazuje się metodą równie skuteczną przy identyfikowaniu anomalii spalania, jak klasyczne metody oparte na indykowaniu, lecz przewyższa je pod pewnymi względami. Tak np. nie wymaga ona przystosowywania silnika do badań drogą jego przeróbek, a możliwości rozpoznania nieprawidłowości procesu spalania można było na podstawie badań laboratoryjnych określić jako co najmniej równorzędne. Na podstawie tych badań można było zatem ustalić, że uzyskane z nich obiecujące wyniki pozwalają na przejście do badań w warunkach eksploatacyjnych.

2. BADANIA EKSPLOATACYJNE

Badania eksploatacyjne polegały na sprawdzeniu metody wibroakustycznej w warunkach normalnie pracującej stacji diagnostycznej, a miały one na celu skonfrontowanie danych otrzymanych w warunkach laboratoryjnych z warunkami praktycznymi. Badania te wykonano na 50 losowo wybranych samochodach Polski Fiat 126p i polegały one na rejestracji otrzymanych widm przed i po dokonaniu czynności regulacyjnych. Otrzymane w ten sposób różnice stanowiły podstawę do sklasyfikowania niesprawności silników i przyporządkowania im odpowiednich zmian widma oraz w konsekwencji optymalizację nastawów silnika.

Do badań wykorzystano aparaturę pomiarową, której schemat przedstawiono na rys. 1. Emitowany sygnał dostarczony z piezoelektrycznego przetwornika drgań, zamocowanego na szpilce głowicy silnika, pobierano po ustaleniu się równowagi cieplnej silnika. Ze zrozumiałych względów (dyktowanych warunkami realizacji typowej diagnostyki użytkowej) wszystkie badania wykonano na biegu jałowym silnika przy prędkości obrotowej ustalonej na 1260 obr/min jako najbardziej stabilnej dla tego typu badań. Stanowiło to jedną z zasadniczych różnic w porównaniu z badaniami laboratoryjnymi, przy których wykonano próby przy różnych prędkościach obrotowych i obciąże-



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego

1 - badany silnik, 2 - piezoelektryczny przetwornik drgań firmy BK typ 4332, 3 - analizator częstotliwości firmy BK typ 2107, 4 - pisak poziomu firmy BK 2305

niach. Natomiast w czasie badań eksploatacyjnych regulowano według potrzeby kąt wyprzedzenia zapłonu, skład mieszanki i luz zaworowy oraz stosowano różne ich kombinacje.

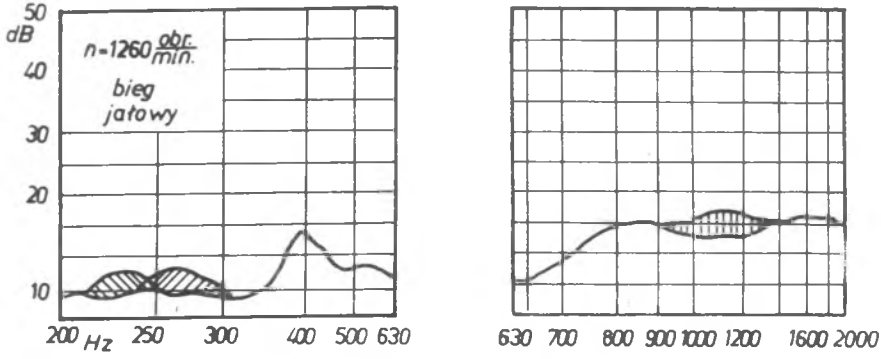
Rejestracji sygnału wibroakustycznego dokonywano przed i po każdej regulacji. W celu usprawnienia badań i uczynienie ich bardziej utylitarnymi, badane widmo podzielono na wytypowane uprzednio w czasie badań laboratoryjnych zakresy częstotliwości: 20...200 Hz, 200...300 Hz i dalej w przedziałach do 630 Hz, 850 Hz, 1400 Hz, 2500 Hz, 4 kHz i 20 kHz.

3. WYNIKI BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH

Otrzymane wyniki badań były mniej jednoznaczne niż wyniki badań otrzymane w laboratorium przy ustalonych warunkach pracy silników i pod obciążeniem. Tak np. w przedziałach obejmujących zakresy częstotliwości 300... 850 Hz oraz 2,5...20 kHz nie stwierdzono powtarzalności zmian widma w przypadku regulowania któregokolwiek z nastawów, a sporadycznie występujące w tych zakresach zmiany widma przypisać należało innym czynnikom zakłócającym (np. praca łańcucha rozrządu lub drgania łopatek dmuchawy powietrznej). Natomiast w zakresach częstotliwości 200...300 Hz i 850... 1400 Hz wystąpiły wyraźne i powtarzalne zmiany. Przebieg zmian widma w zakresie 200...300 Hz wykazywał istotne różnice po zmianie kąta wyprzedzenia zapłonu oraz składu mieszanki, zaś regulacja samych tylko luzów zaworowych w tym zakresie nie wywołała żadnych zmian.

Pozwoliło to na uzyskania wystarczającej rozdzielczości sygnałów jako informacji diagnostycznych. Podobnie też wystąpiły zmiany w przypadku jednoczesnej regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu i luzu zaworowego, kiedy to wystąpiły najbardziej wyraźne zmiany charakteru widma i były one zde-

cydowanie powtarzalne w zakresie 200...250 Hz. W 9 przypadkach, w których dokonano regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu i luzu zaworowego, uzyskano całkowitą powtarzalność zmian. Z powyższych rozwiązań można wnioskować, że najsilniejszy wpływ pochodzący od kąta wyprzedzenia zapłonu na różnice w widmie, wynoszące do 6 dB, występuje w zakresie 200...250 Hz, natomiast extremum różnic przypada w okolicach 220 Hz (rys. 2).



Rys. 2. Widmo drgań szpilki mocującej głowice po zmianie składu mieszanki, wyprzedzenia zapłonu, luzu zaworowego

W przypadku regulacji samego składu mieszanki oraz składu mieszanki i luzu zaworowego zauważono jednakową powtarzalność zmian w zakresie 200... 250 Hz jak i 250...300 Hz. Wielkość zmian wahała się w granicach 2...7 dB, extremum różnic występowało w okolicach 270 Hz. Taki rozkład zmian sugerował, że wpływ składu mieszanki na widmo drgań jest dość silny w całym zakresie 200...300 Hz i może to powodować, że w przypadku regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu i składu mieszanki wystąpią trudności identyfikacji sygnału wibroakustycznego, pochodzącego od kąta wyprzedzenia zapłonu. Jednak w większości przypadków można było zauważyć, że extrema różnic znajdują się w okolicach 220 lub 270 Hz i świadczą one o dominacji jednego regulowanego czynnika. Podobnie podczas regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu i składu mieszanki nie zauważono zmian widma w zakresie 850...140 Hz, zauważono je natomiast w przypadku luzu zaworowego.

26 przypadków, w których dokonano tych regulacji, wskazuje jednoznacznie na wpływ wartości istniejącego luzu zaworowego na przebieg widma drgań w tym zakresie. Należy też dodać, że po wstępnej analizie uzyskanych widm możliwe było statystyczne ich opracowanie. Polegało ono na obliczeniu korelacji prostej i cząstkowej oraz określeniu poziomu jej istotności.

4. WNIOSKI Z ANALIZY STATYSTYCZNEJ

Nie omawiając tutaj bliżej samej metody wibroakustycznego opracowania, mieści się ona bowiem w ramach ogólnie znanych prawideł analizy matematycznej (5), interesujące okazują się wynikające z niej wnioski. Przy jednoczesnej regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu i składu mieszanki w zakresie 200...250 Hz współczynnik korelacji cząstkowej pomiędzy różnicą poziomów amplitud przyspieszeń drgań a regulacją nastawów kąta wyprzedzenia zapłonu i składu mieszanki wynosi $r_{1.2} = 0,283$ i $r_{2.1} = 0,228$. Współczynniki te są bardzo słabe, stają się one istotne dopiero przy poziomie istotności $\alpha = 0,45$ dla $r_{1.2}$ i $\alpha = 0,55$ dla $r_{2.1}$. Wynika stąd, że przy przeprowadzonych badaniach w tym zakresie ocena współczynnika korelacji jest bardzo niepewna. W dodatku uzyskane współczynniki są za niskie, aby można było obliczyć równanie regresji i w ten sposób szacować wartość cechy zależnej na podstawie znanych wartości cechy niezależności. Nie wyklucza to jednak całkowicie braku związku przyczynowego, który tylko w warunkach przeprowadzonych badań nie został ujawniony, np. na skutek małej wielkości prób badanej populacji, która w tym przypadku wynosiła 15 silników. Należy zaznaczyć, że brak korelacji statystycznej tylko sugeruje możliwości braku związku przyczynowego.

Inaczej przedstawia się to zagadnienie, jeżeli poddany zostanie statystycznej analizie zakres częstotliwości 200...300 Hz. W tym przypadku współczynnik korelacji cząstkowej (pomiędzy różnicą poziomu amplitud przyspieszeń drgań a różnicą kąta wyprzedzenia zapłonu z wyłączeniem wpływu składu mieszanki) wynosi $r_{1.2} = 0,182$. Świadczy to o bardzo słabej korelacji. Natomiast współczynnik korelacji cząstkowej dla składu mieszanki wynosi $r_{2.1} = 0,613$ na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, co świadczy o znacznym wpływie tego nastawu na przebieg widma drgań w okolicach 270 Hz. Natomiast regulując sam kąt wyprzedzenia zapłonu w okolicach 220 Hz uzyskuje się współczynnik korelacji $r_1 = 0,466$, co świadczy o słabej korelacji i w dodatku istotnej dopiero dla poziomu $\alpha = 0,035$. Stwarzało to jednak szansę na uzyskanie możliwości rozdzielenia sygnału pochodzącego od kąta wyprzedzenia zapłonu i od składu mieszanki. Dużo lepiej przedstawia się pod tym względem ocena sygnału pochodzącego od luzu zaworowego. Na podstawie widma drgań silników stwierdzono, że w zakresie 850...1400 Hz istotny wpływ ujawniła tylko regulacja luzu zaworowego i dlatego w analizie statystycznej ograniczono się do korelacji prostej. Obliczony współczynnik korelacji wynosił w tym przypadku $r_3 = 0,59$ na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, co świadczy o miernej korelacji, lecz umożliwiającej obliczenie liniowego modelu matematycznego [6].

KONKLUZJA

Zrealizowane badania eksploatacyjne w warunkach wykonywania typowej diagnostyki silników, rozszerzonej na ocenę jakości procesu spalania poprzez zastosowanie metody wibroakustycznej, miały charakter wdrożeniowy i pozwalały potwierdzić przydatność tej metody dla praktyki użytkowej. Możliwość wykorzystania sygnałów wibroakustycznych przy wystarczającej ich rozdzielczości w przypadku regulacji nastawów silnika w czasie pracy na biegu jałowym była wprawdzie mniej wyraźna, niż to wykazano w badaniach laboratoryjnych pod obciążeniem, lecz również w tych warunkach, sprzyjających dla diagnostyki utylitarnej, okazała się ona przydatna do dalszych działań aplikacyjnych. Dalsze ich kontynuowanie wydaje się celowe nie tylko z uwagi na możliwość wykonywania tak rozszerzonej diagnostyki silników bez potrzeby wprowadzenia jakichkolwiek przeróbek konstrukcyjnych lub przystosowania silnika do badań, lecz również z racji przewidywanych dzięki temu istotnych oszczędności zużycia paliwa. Uzyskane tą drogą usprawnienia procesu spalania prowadzą bowiem do zmniejszenia zużycia paliwa przy nie zmienionych pozostałych parametrach, jak moc i trwałość silnika, co potwierdzono dotychczas wykonywanymi badaniami pilotującymi. Ponadto jest to jedna z nielicznych metod diagnostycznych, umożliwiająca uwzględnienie wypadkowego wpływu na proces spalania takich czynników, jak: stan techniczny silnika, zastosowane paliwo, sposób eksploatacji i w zależności od tych czynników doboru właściwej regulacji silnika.

LITERATURA

[1] Maćkowski J., Wilk A., Gardulski J.: Ocena jakości procesu spalania metodami wibroakustycznymi. Ogólnopolska Konferencja Naukowa KONMOT, Kraków 1978.

[2] Maćkowski J., Gardulski J.: Próba wykorzystania metod wibroakustycznych do diagnostycznej oceny procesu spalania. IV Sympozjum Diagnostyki Maszyn, Szczyrk 1978.

[3] Maćkowski J.: Wykorzystanie sygnału wibroakustycznego do diagnostyki procesu spalania. Techniczne Zaplecze Motoryzacji, 1980, nr 1.

[4] Maćkowski J., Reiman M.: Ocena wpływu wybranych warunków pracy silnika ZI na zmiany widma jego drgań. Techniczne Zaplecze Motoryzacji, 1980 nr 7-8.

[5] Greń J.: Statystyka matematyczna, modele i zadania. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1978.

[6] Praca naukowo-badawcza NB-488/RT/76 Instytutu Transportu Samochodowego Politechniki Śląskiej, Katowice 1977-1980.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Czesław Kordziński

ДИАГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНЯ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА В АВТОМОБИЛЬНЫХ КАРБЮРАТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Р е з ю м е

В статьи представлены возможности внедрения диагнозирования процесса сгорания с целью практической оценки карбюраторных двигателей. На основе вступительных испытаний разработано метод более точной регулировки двигателей.

THE COMBUSTION PROCESSES DIAGNOSTICS IN THE ASPECTS OF THE FUEL CONSUMPTION REDUCTION POSSIBILITIES IN THE SPARK-IGNITION ENGINES

S u m m a r y

There are presented the informations about the application of the combustiom quality investigations into the diagnostic practice. The laboretory research work shows that the vibroscoustic methods can be applied into the sufficient precise engines regulation and that makes possible to increase the engines durability as well as to reduce their fuel consumption.