

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA DRGAŃ KADŁUBA SILNIKA W SYSTEMACH OBD W ZAKRESIE MONITOROWANIA WYBRANYCH PARAMETRÓW REGULACYJNYCH

Grzegorz BORUTA

Katedra Mechatroniki, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
ul. Heweliusza 10, 10-724 Olsztyn, g.boruta@uwm.edu.pl

Streszczenie

Przedstawiono wpływ wybranych parametrów regulacyjnych tłokowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym (kąta wyprzedzenia i ciśnienia wtrysku oraz dawki paliwa) na wybrane parametry sygnału drganiowego rejestrowanego na jego kadłubie i głowicy (wybrane składowe zawarte w widmach amplitudowo-częstotliwościowych przyspieszeń drgań prostopadłych do powierzchni mocowania czujników pomiarowych na kadłubie i głowicy). Przedstawiono również koncepcję (algorytm diagnozowania i konfigurację układu pomiarowo-decyzyjnego) wykorzystania uzyskanych wyników w systemie pokładowego diagnozowania tego silnika w zakresie wykrywania niewłaściwych wartości ciśnienia wtrysku oraz dawki paliwa.

Słowa kluczowe: diagnostyka wibroakustyczna, tłokowy silnik spalinowy o zapłonie samoczynnym, system diagnostyki pokładowej

THE POSSIBILITY OF THE APPLICATION OF ENGINE CRANKCASE VIBRATIONS IN OBD SYSTEMS TO SELECT REGULATIVE PARAMETERS MONITORING

Summary

The influence of select regulative parameters of the Diesel engine (injection advance angle, injection pressure and fuel charge) on select parameters of the vibration signal measured on his crankcase and cylinder head (select spectral components of vibration accelerations perpendicular to measurement sensor clamping surfaces on crankcase and cylinder head) was presented. The idea of the obtained results application in on-board diagnostics system of this engine to the detection of wrong values of the injection pressure and the fuel charge (i.e. the diagnostic algorithm and the measurement-and-analytic device configuration) was presented too.

Keywords: vibroacoustic diagnosing, Diesel engine, OBD system

1. WSTĘP

Dotychczasowe badania możliwości wibroakustycznego diagnozowania tłokowych silników spalinowych napędzających pojazdy skupiały się głównie na poszukiwaniu związków między różnymi parametrami rejestrowanych sygnałów wibroakustycznych a stanami technicznymi wynikającymi ze zużycia eksploatacyjnego tych silników. Obecnie jednak, uwzględniając postęp inżynierii materiałów eksploatacyjnych i konstrukcyjnych tłokowych silników spalinowych, gdy ich trwałość jest porównywalna, a często nawet większa niż trwałość całych pojazdów, w diagnostyce tłokowych silników spalinowych obserwuje się tendencję do skupiania uwagi na zmianach stanu technicznego wynikających nie z ich zużycia eksploatacyjnego, ale z mogących wystąpić rozregulowań i innych usterek wpływających na jakość eksploatacji, w tym na jakość spalania paliwa, determinującą np. zużycie paliwa, toksyczność spalin czy hałaśliwość pracy silnika.

Przykładem zastosowania sygnałów wibroakustycznych do oceny jakości spalania paliwa w silnikach o zapłonie iskrowym (o ZI) są układy sterujące kątem wyprzedzenia zapłonu wykorzystujące czujniki spalania stukowego [3]. Spalaniem stukowym nazywane jest spalanie paliwa inicjowane nie przez kontrolowany zapłon od łuku elektrycznego między elektrodami świecy zapłonowej, ale w efekcie jego samozapalenia się w przypadkowych miejscach komory spalania, w których lokalnie wystąpiły odpowiednio wysokie i wyższe niż podczas normalnego spalania temperatury i ciśnienia mieszaniny palnej powietrza i paliwa (np. benzyny). Spalaniu stukowemu towarzyszą fale podwyższonego ciśnienia ładunku wewnątrz cylindra, które po dotarciu do ścian komory spalania wielokrotnie się od nich odbijają, powodując charakterystyczne wysokoczęstotliwościowe drgania kadłuba silnika. Ponieważ sposób przygotowania mieszanki palnej i spalania w silniku o zapłonie samoczynnym (o ZS) wykorzystuje właśnie takie spalanie (inicjowane samozapaleniem się paliwa (np. oleju napędowego)

w przypadkowych miejscach komory spalania, w których lokalnie wystąpiły odpowiednio wysokie temperatury i ciśnienia mieszaniny palnej), występowanie fal podwyższonego ciśnienia ładunku wewnątrz cylindra jest w takich silnikach typowe [6, 7] i obecnie stosowane elektroniczne urządzenia sterujące kątem wyprzedzenia wtrysku paliwa w silnikach o ZS działają na innej zasadzie, niewykorzystującej czujników spalania stukowego [3].

Dany stan techniczny silnika określają wartości jego parametrów struktury [2]. Parametrami regulacyjnymi silnika są takie parametry struktury, których wartości można zmieniać w pewnych zakresach określonych w instrukcji jego eksploatacji podczas wykonywania obsługi technicznych. Parametrami regulacyjnymi tłokowego silnika spalinowego o ZS są np. luz zaworowy, kąt wyprzedzenia i ciśnienie wtrysku oraz dawka paliwa, napięcie pasków klinowych, luzy w układzie sterowania pompą wtryskową czy napięcie sprężyn w regulatorze prędkości obrotowej [4]. Głównymi parametrami regulacyjnymi determinującymi jakość spalania paliwa są kąt wyprzedzenia i ciśnienie wtrysku oraz dawka paliwa. Badania niezawodności pojazdów napędzanych przez silniki o ZS pokazują jednocześnie, że właśnie te parametry są jednymi z parametrów struktury najczęściej ulegających niepożądanym zmianom w trakcie eksploatacji pojazdów [8].

Hałaśliwość pracy silnika o ZS, nazywana także „twardością” pracy, jest związana z dużą prędkością wzrostu ciśnienia, towarzyszącą samozapłonem i kinetycznemu (wybuchowemu) spalaniu paliwa w cylindrach [6, 7]. Zauważono, że nadmierna prędkość wzrostu ciśnienia (przekraczająca około 0,5 MPa/1° obrotu wału korbowego) powoduje charakterystyczne, metaliczne, głośnie i wyraźnie słyszalne stuki. Występowanie tych stuków nie jest w pełni wyjaśnione i tłumaczy się wzajemnymi uderzeniami o siebie elementów układu tłokowo-korbowego silnika dociskanych do siebie z siłą pokonującą ciśnienie w filmie olejowym w ich skojarzeniach. Im więcej paliwa utworzy spalaną kinetycznie jednofazową mieszaninę palną z powietrzem (np. w wyniku zbyt wczesnego rozpoczęcia wtryskiwania paliwa do cylindrów), tym więcej paliwa ulega spalaniu kinetycznemu i gwałtowniej narasta ciśnienie oddziałujące na ściany komory spalania, w tym na tłok, i wzrasta poziom drgań generowanych podczas pracy układu tłokowo-korbowego (silnik pracuje bardziej „twardo”).

Na „twardość” pracy wielocylindrowego silnika o ZS wpływa też nierównomierność pracy jego cylindrów. W przypadku wystąpienia zróżnicowania jakości pracy poszczególnych cylindrów, wywołanej różnicami jakości wtryskiwania i ilości wtryskiwanego paliwa (np. w wyniku zróżnicowania ciśnień wtrysku i dawek paliwa dla poszczególnych cylindrów) zaburzeniu ulegnie wpływ poszczególnych cylindrów na wytworzenie

sumarycznego momentu obrotowego silnika. Ponieważ silniki wielocylindrowe są konstruowane tak, aby praca poszczególnych cylindrów była równomiernie rozłożona w czasie trwania pełnego cyklu pracy silnika, to nierównomierne dawkowanie paliwa spowoduje, że część cylindrów wytwarzać będzie inny moment obrotowy niż pozostałe. Wywoła to dodatkowe zwiększenie obciążeń przenoszonych przez elementy układu tłokowo-korbowego i może objawiać się większym poziomem drgań generowanych podczas pracy tego układu.

2. EKSPERYMENT DIAGNOSTYCZNY

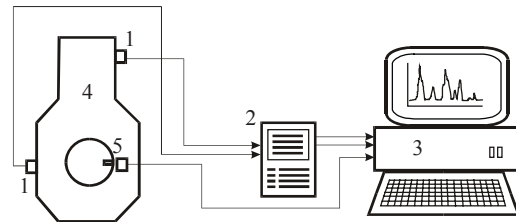
W celu określenia związków pomiędzy wybranymi symulowanymi stanami technicznymi badanego silnika (z różnymi wartościami kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa do cylindrów (nominalną i zmniejszoną) oraz z różnymi wartościami ciśnienia wtrysku i dawki paliwa do jednego, wybranego (w opisywanym eksperymencie drugiego) cylindra (nominalnymi i zmniejszonymi) a wybranymi miarami sygnałów wibroakustycznych rejestrowanych na jego kadłubie pod kątem możliwości ich wykorzystania w pokładowym systemie diagnostycznym pojazdu przeprowadzono czynny eksperyment diagnostyczny [1]. Obiektem badań był rzędowy, sześciocylindrowy, niedoładowany silnik o ZS typu S359, zasilany w paliwo przez rzędową, sześciotłoczkową pompę wtryskową typu P76-15u/M z mechanicznym dwuzakresowym regulatorem prędkości obrotowej typu R8E-20 oraz wyposażony we wtryskiwacze typu W1F-01 z rozpylaczem trzytorowym typu D1LMK148/1. Fabryczne nastawy regulatora pompy wtryskowej powinny zapewniać utrzymywanie wartości prędkości obrotowej biegu jałowego w zakresie 500÷650 obr/min, a więc czas trwania jednego obrotu wału korbowego badanego silnika pracującego z tą prędkością obrotową nie powinien być dłuższy niż 0,12 s. Symulowanie niewłaściwych wartości parametrów regulacyjnych realizowano poprzez ich zmniejszanie, gdyż ten kierunek zmian przyjęto jako bardziej prawdopodobny na podstawie analizy działania badanego silnika i typowych zmian jego stanu technicznego spowodowanych eksploatacją [4]. Badania wykonano dla silnika rozgrzanego do temperatur eksploatacyjnych, nieobciążonego zewnętrznymi oraz pracującego z prędkością obrotową biegu jałowego, czyli dla warunków zachodzących między innymi podczas postojów pojazdu związanych z organizacją ruchu drogowego (ustępowanie pierwszeństwa, zatrzymanie przed czerwonym światłem itp. powszechnych sytuacji, zwłaszcza w ruchu miejskim).

W trakcie badań jednocześnie rejestrowano sygnały drganiowe (przebiegi czasowe przyspieszeń drgań prostopadłych do powierzchni montażu czujników drgań) oraz strobujące, niezbędne do uśrednienia synchronicznego sygnałów

drganiowych. Uśrednianie synchroniczne jest powszechnie stosowaną techniką ograniczania wpływu zmian prędkości obrotowej wirującego elementu na parametry widmowe sygnałów wibroakustycznych rejestrowanych dla maszyn z takim wirującym elementem (tu: wałem korbowym w tłokowym silniku spalinowym) [5]. Technika ta polega na analizie sygnału wibroakustycznego o długości równej czasowi trwania określonej liczby obrotów wirującego elementu, wyznaczonemu na podstawie przebiegu sygnału strobowego. Jej etapami są w skrócie: wydzielenie z przebiegu czasowego sygnału wibroakustycznego odcinków rozpoczynających się w chwilach przyjętych za początki „okresów” sygnału strobowego i o długości równej czasowi trwania najkrótszego takiego „okresu”, uśrednienie wartości przebiegu czasowego sygnału wibroakustycznego dla określonej liczby występujących po sobie takich wydzielonych odcinków oraz odpowiednie powielenie otrzymanego uśrednionego przebiegu czasowego i otrzymanie sygnału wibroakustycznego o długości wymaganej dla przeprowadzanej dalszej analizy tego sygnału. Pewną wadą uśredniania synchronicznego jest występowanie w otrzymywanych dyskretnych widmach sygnału wibroakustycznego niezerowych składowych tylko dla częstotliwości będących całkowitymi wielokrotnościami przyjętej częstości obrotów wirującego elementu f_w . W trakcie badań sygnały drganiowe uśredniano dla 20 obrotów wału korbowego. Korzystano z układu pomiarowego, którego schemat pokazano na rys. 1 [1]. Sygnały rejestrowano przez 5 s, a więc czas ponad dwukrotnie dłuższy od czasu trwania 20 obrotów wału korbowego (potem, w trakcie opracowywania wyników (uśredniania synchronicznego) wybierano z nich odpowiednie fragmenty), próbując je z częstotliwością 10 kHz. Na ich podstawie wyznaczono dyskretne widma amplitudowo-częstotliwościowe przyspieszeń drgań uśrednionych synchronicznie w zakresie 0÷2000 Hz z rozdzielczością około 0,04 Hz (dzięki 250-krotnemu powieleniu otrzymanego uśrednionego przebiegu czasowego sygnału drganiowego, dającemu ok. 25-cio sekundowy przebieg czasowy tego sygnału), zależnie od przyjętego czasu trwania jednego obrotu wału korbowego badanego silnika.

Sygnały drganiowe rejestrowano za pomocą piezoelektrycznych ładunkowych czujników drgań typu B&K 4384, przykręconych do otworów wykonanych w nadlewie technologicznym, znajdującym się na wysokości osi wału korbowego z prawej strony kadłuba badanego silnika, oraz w głowicy, w osi drugiego cylindra po lewej stronie silnika tuż przy połączeniu głowicy z kadłubem. Otrzymane sygnały ładunkowe były przetwarzane na sygnały napięciowe i wzmacniane we wzmacniaczu ładunku typu B&K NEXUS. Sygnał strobowy otrzymywano z czujnika fotoelektrycznego produkcji Zakładu Elektroniki Pomiarowej

Wielkości Nielektrycznych umieszczonego na jednym z końców wału korbowego. Sygnały rejestrowano i przetwarzano za pomocą układu analityczno-pomiarowego typu Roadrunner firmy Skalar Instruments.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do wibroakustycznego diagnozowania tłokowego silnika spalinowego [1]. 1 – czujniki przyspieszenia drgań, 2 – wzmacniacz ładunku, 3 – układ pomiarowo-analityczny, 4 – badany silnik, 5 – czujnik prędkości obrotowej wału korbowego

W wyniku przeprowadzonych badań i analiz stwierdzono, że w otrzymanych widmach amplitudowo-częstotliwościowych najwyższe składowe występują dla częstotliwości 3 i $6f_w$, przy czym obserwowane zmiany wielkości tych składowych są bardzo niewielkie (osiągają wartość około 2÷3%). Bardzo wyraźne są za to zmiany składowej rzędu $124f_w$. Składowa ta, ale tylko dla stanów technicznych z niezmiennymi ciśnieniem wtrysku i dawką paliwa do drugiego cylindra, jest wyraźnie wyższa niż wszystkie pozostałe, sąsiednie, niewielkie składowe i osiąga wielkość składowej rzędu $6f_w$ w widmach sygnałów drganiowych zarejestrowanych na głowicy oraz dwukrotną wielkość składowej rzędu $6f_w$ (a więc połowę wielkości najwyższej składowej rzędu $3f_w$) w widmach sygnałów drganiowych zarejestrowanych na kadłubie silnika. Obserwowane zaniknięcie analizowanej składowej na tle składowych sąsiednich może wynikać z cyfrowego sposobu rejestracji sygnału drganiowego. Rejestrując cyfrowo sygnał pobiera się jego wartości w ustalonych i wynikających z częstotliwości próbkowania chwilach czasu. Zmiana wartości parametrów regulacyjnych silnika może spowodować takie zmiany rejestrowanego sygnału drganiowego uśrednionego synchronicznie (w którego widmie występują niezerowe składowe tylko dla częstotliwości będących całkowitymi wielokrotnościami częstości obrotów wału korbowego), dla których pewne składowe widmowe tego sygnału przestają być widoczne. Nie oznacza to jednak, że część sygnału zanika w efekcie zmian wartości parametrów regulacyjnych, ale że przestaje być widoczna, bo albo rzeczywiście zanika, albo tylko zmienia swoje położenie w czasie – przesuwają się na osi czasu w miejsce pomiędzy chwilami, dla których pobierana jest próbka sygnału. Na rys. 2 przedstawiono otrzymane dyskretne widma amplitudowo-częstotliwościowe sygnałów drganiowych uśrednionych synchronicznie

zarejestrowanych na głowicy i kadłubie silnika dla nominalnych wartości analizowanych parametrów regulacyjnych. Na rys. 3 przedstawiono fragmenty takich widm otrzymanych dla sygnałów zarejestrowanych na kadłubie silnika dla wszystkich stanów regulacyjnych. Fragmenty te zawierają analizowaną składową rzędu $124 f_w$, która dla różnych wartości prędkości obrotowych wału korbowego silnika (ok. $580 \div 640$ obr/min), ustalanych przez regulator biegu jałowego w pompie wtryskowej, występowała na częstotliwościach od ok. 1,2 do ok. 1,32 kHz.

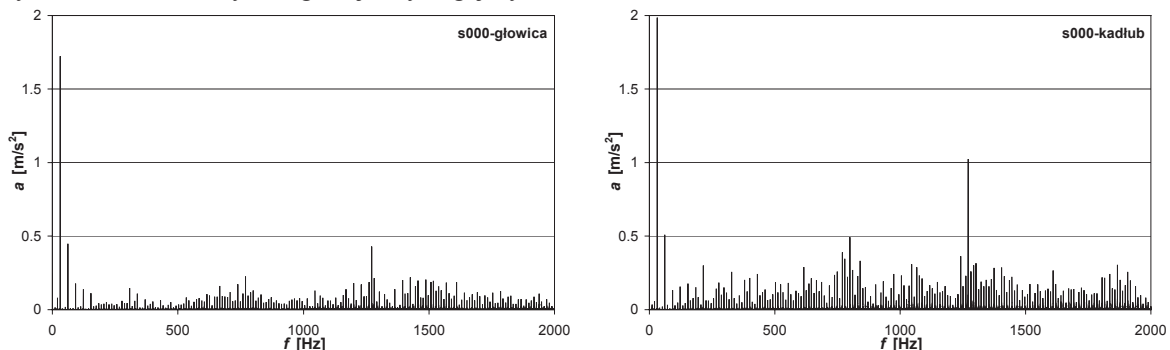
3. KONCEPCJA METODY DIAGNOSTYCZNEJ

Z zaprezentowanych wyników badań wynika, że zmiany wartości składowej widmowej rzędu $124 f_w$, występującej w otrzymanych widmach sygnałów drganiowych uśrednionych synchronicznie z okresem równym przyjętemu czasowi trwania kolejnych obrotów wału korbowego, zarejestrowanych na silniku rozgrzanym do temperatur eksploatacyjnych i pracującym na biegu jałowym, szczególnie sygnałów zarejestrowanych w pobliżu wału korbowego, pozwalają na wykrycie wystąpienia zbyt małego ciśnienia wtrysku lub zbyt małej dawki paliwa do któregoś cylindra (bez możliwości stwierdzenia, który z tych parametrów regulacyjnych uległ zmniejszeniu i bez możliwości wskazania, dla którego cylindra to zmniejszenie zaszło) w przypadku zmniejszenia się tej składowej do poziomu niewyróżniającego jej na tle składowych sąsiednich [1].

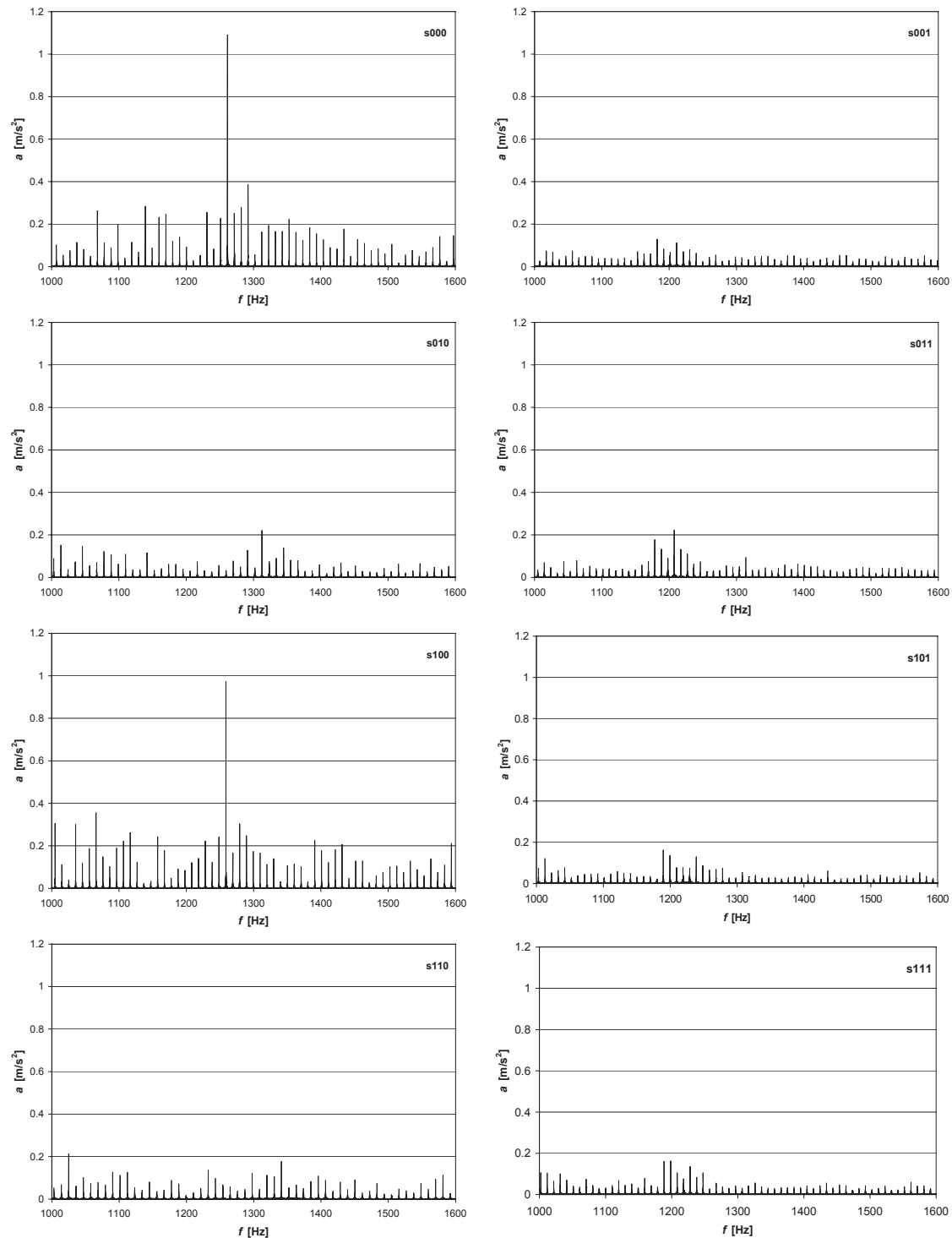
Zakres uzyskanej diagnozy („parametry regulacyjne są nominalne” albo „ciśnienie wtrysku lub dawka paliwa do któregoś cylindra są mniejsze od nominalnych”) jest stosunkowo wąski, ale wystarczający na sygnalizowanie przez odpowiedni monitor pokładowy systemu diagnostycznego konieczności zgłoszenia pojazdu do serwisu w celu dokładnego, warsztatowego diagnozowania i wykonania ewentualnych regulacji, wymagających

odpowiednich czynności demontażowo-montażowych. Proponowana procedura diagnozowania jest stosunkowo prosta i można ją łatwo zaimplementować w systemach diagnostyki pokładowej pojazdów napędzanych przez silniki o ZS, wykorzystując już obecne w takich systemach elementy śledzące prędkość obrotową wału korbowego i uzupełniając te systemy o odpowiednie elementy pozwalające na pomiar sygnałów drganiowych (złożone z odpowiedniego czujnika drgań i wzmacniaczy) i ich uśrednienie synchroniczne oraz podejmujące odpowiednie decyzje diagnostyczne zgłaszane użytkownikowi pojazdu (złożone z filtrów pasmowych i odpowiednio oprogramowanego procesora).

Proponowany algorytm procedury diagnozowania pokładowego jest następujący [1]. Po uruchomieniu silnika pokładowy system diagnostyczny zaczyna monitorować stan silnika, w tym temperatury cieczy chłodzącej i oleju silnikowego. Po rozgrzaniu silnika do temperatur eksploatacyjnych i wykryciu pracy silnika z prędkością biegu jałowego, uruchamiany byłby monitor rejestrujący i odpowiednio przetwarzający sygnały pochodzące z czujników drgań i prędkości obrotowej wału korbowego oraz na podstawie uzyskanych wyników wnioskujący o stanie monitorowanych parametrów regulacyjnych. W przypadku wykrycia niewłaściwego stanu technicznego monitor sygnalizowałby to kierowcy odpowiednim komunikatem wyświetlanym na ekranie systemu diagnostycznego albo zapaleniem odpowiedniej lampki kontrolnej. W przypadku zbyt krótkiej pracy silnika z prędkością biegu jałowego (krótszej niż czas potrzebny na wykonanie przez wał korbowy silnika 20 obrotów w warunkach ustabilizowanej pracy na biegu jałowym), spowodowanej np. zachowaniem się kierowcy, działanie tego monitora byłoby oczywiście przerywane



Rys. 2. Widma amplitudowo-częstotliwościowe sygnałów drganiowych uśrednionych synchronicznie zarejestrowanych na głowicy i kadłubie silnika dla nominalnych wartości analizowanych parametrów regulacyjnych



Rys. 3. Fragmety widm amplitudowo-częstotliwościowych sygnałów drganiowych uśrednionych synchronicznie zawierających składową rzędu $124 f_w$ zarejestrowanych na kadłubie silnika dla:

- s000 – nominalnych wartości analizowanych parametrów regulacyjnych,
- s001 – zmniejszonej wartości dawki paliwa,
- s010 – zmniejszonej wartości ciśnienia wtrysku,
- s011 – zmniejszonych wartości ciśnienia wtrysku i dawki paliwa,
- s100 – zmniejszonej wartości kąta wyprzedzenia wtrysku,
- s101 – zmniejszonych wartości kąta wyprzedzenia wtrysku i dawki paliwa,
- s110 – zmniejszonych wartości kąta wyprzedzenia wtrysku i ciśnienia wtrysku,
- s111 – zmniejszonych wartości wszystkich zmienianych parametrów regulacyjnych.

Układ pomiarowy realizujący ten algorytm powinien się składać z takich samych elementów jak układ stosowany podczas realizacji prezentowanych badań (z ograniczeniem do rejestracji sygnału drganiowego tylko na kadłubie silnika), to jest z dwóch torów pomiarowych i układu (urządzenia) analityczno-pomiarowego. Pierwszy z torów pomiarowych, do rejestracji przyspieszeń drgań, powinien zawierać ładunkowy, piezoelektryczny czujnik przyspieszeń drgań o temperaturze pracy przynajmniej do 150°C z liniową charakterystyką w zakresie 0÷4 kHz i współpracujący z nim wzmacniacz ładunku. Czujnik drgań należy zamontować na stałe za pomocą wkrętu po wcześniejszym wykonaniu odpowiedniego gwintowanego otworu w kadłubie silnika (np. w nadlewach technologicznych na wysokości osi wału korbowego). Drugi z torów pomiarowych powinien być dowolnym urządzeniem współpracującym z urządzeniem analityczno-pomiarowym i generującym sygnał strobulujący raz na jeden obrót wału korbowego. Układ analityczno-pomiarowy powinien pozwalać na jednoczesną rejestrację sygnału drganiowego i strobulującego przynajmniej przez czas trwania 20 obrotów wału korbowego silnika pracującego z ustabilizowaną prędkością biegu jałowego poprzez ich próbkowanie z częstotliwością 10 kHz w paśmie do 2 kHz, na uśrednienie synchroniczne sygnału drganiowego, na wyznaczenie dyskretnych widm amplitudowo-częstotliwościowych z rozdzielczością wynikającą z 250-krotnego powielenia otrzymanego okresu sygnału drganiowego uśrednionego synchronicznie oraz na wyznaczanie maksymalnych wartości uzyskanych składowych widmowych zawartych w trzech sąsiednich pasmach: od nie mniej niż 200 Hz do 1000 Hz, od 1000 do 1400 Hz i od 1400 Hz do nie więcej niż 2000 Hz, przy czym skrajne pasma powinny mieć długość przynajmniej kilkudziesięciu Hz, aby obejmowały przynajmniej kilka składowych widmowych występujących w widmach sygnałów drganiowych uśrednionych synchronicznie jako całkowite wielokrotności przyjętej częstości obrotów wału korbowego.

4. WNIOSKI

Śledzenie wartości wybranych składowych widmowych sygnałów drganiowych uśrednionych synchronicznie zarejestrowanych na kadłubie tłokowego silnika spalinowego o ZS pozwala na wykrycie zmian pewnych parametrów regulacyjnych (np. nierównomierności ciśnienia wtrysku i dawki paliwa do poszczególnych cylindrów silnika). Na obecnym etapie badań uzyskiwana diagnoza jest diagnozą jakościową. Opracowanie odpowiedniej

metody diagnozowania dającej informacje ilościowe (tzn. jak duże są te rozregulowania, dla którego z cylindrów wystąpiły) oraz opracowanie odpowiednich metod diagnozowania innych parametrów regulacyjnych silnika wymaga prowadzenia dalszych badań.

LITERATURA

- [1] Boruta G.: *Analiza informacji diagnostycznej zawartej w sygnale wibroakustycznym o parametrach regulacyjnych tłokowego silnika spalinowego*, Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, 2006
- [2] Hebda M., Niziński S., Pelc H.: *Podstawy diagnostyki pojazdów mechanicznych*, Warszawa, WKiŁ, 1980
- [3] Herner A., Riehl H. J.: *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, Warszawa, WNT, 2003
- [4] Kocia B., Kukliński Z., Łukowski Z., Pałacha R., Zapłóński W.: *Budowa i naprawa samochodów STAR 266 i pochodnych*, Warszawa, Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego „WEMA”, 1988
- [5] Mączak J.: *Wykorzystanie zjawiska modulacji sygnału wibroakustycznego w diagnozowaniu przekładni o zębach śrubowych*, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 1998
- [6] Niewiarowski K.: *Tłokowe silniki spalinowe*, Warszawa, WKiŁ, 1983
- [7] Zabłocki M.: *Wtrysk i spalanie paliwa w silnikach wysokoprężnych*, Warszawa, WKiŁ, 1976
- [8] Zespół IPM WAT: *Sprawozdanie końcowe z realizacji pracy naukowo-badawczej na temat „Badania eksperymentalne samochodów produkcji FSC - Starachowice. Wyniki eksploatacyjnych badań niezawodności samochodów skrzyniowych STAR-200 z serii próbnej*, Warszawa, Wojskowa Akademia Techniczna, 1980



Dr inż. **Grzegorz BORUTA**
 adiunkt w Katedrze
 Mechatroniki Wydziału
 Nauk Technicznych
 Uniwersytetu Warmińsko-
 Mazurskiego w Olsztynie.
 W pracy naukowej
 i dydaktycznej zajmuje się
 zagadnieniami związanymi
 z eksploatacją pojazdów,
 w tym z diagnostyką
 techniczną.