

Bogdan Żółtowski

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

DIAGNOSTYCZNY SYSTEM EKSPLOATACJI SILNIKÓW SPALINOWYCH

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono główne deskryptory diagnostycznego systemu eksploatacji maszyn. Określono miary stanu technicznego, ich wartości graniczne oraz okresowość diagnozowania. Na tym tle wyróżniono problematykę i zadania systemu eksploatacji maszyn z wykorzystaniem technik informatycznych.

Słowa kluczowe:

diagnostyka maszyn, symptomy stanu, wartość graniczna, okresowość diagnozowania.

WSTĘP

Znajomość stanu technicznego maszyny wynika z potrzeby podejmowania racjonalnych decyzji dotyczących jakości i postępowania z maszyną. Może to być decyzja o dalszym użytkowaniu, o podjęciu określonych zabiegów profilaktycznych lub wprowadzeniu zmian w konstrukcji, technologii albo eksploatacji maszyn.

W artykule omówiono wybrane zagadnienia diagnozowania stanu maszyn, akcentując problemy nowej strategii eksploatacji maszyn, w tym symptomy stanu, wyznaczanie wartości granicznych mierzonych symptomów oraz określanie terminów kolejnych diagnozowań. Wdrażanie systemów diagnostycznych umożliwia doskonalenie organizacji i zarządzania eksploatacją maszyn w zakładach przemysłowych przy wykorzystaniu technik informatycznych.

ZAGADNIENIA DIAGNOSTYKI MASZYN

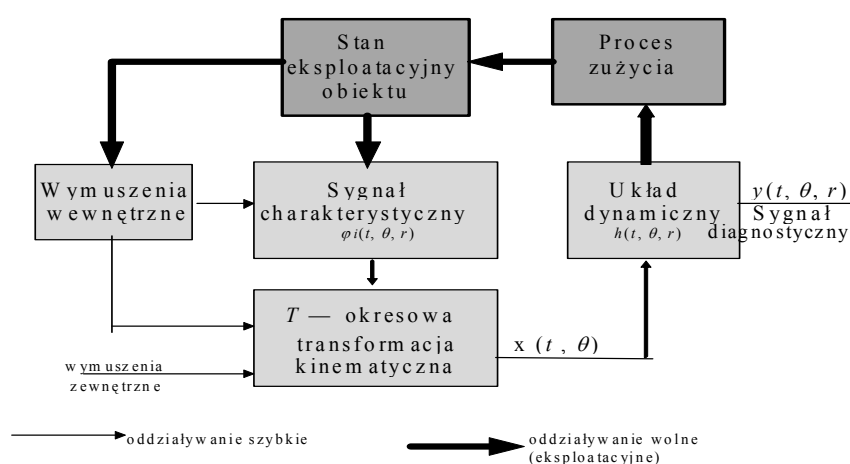
Rosnący stopień złożoności maszyn oraz krytyczność ich funkcji ze względów bezpieczeństwa i ekonomicznych zmuszają konstruktorów i użytkowników tych

obiektów do znajomości ich bieżącego stanu technicznego i prognostycznie zorientowanego użytkowania. Jest to możliwe, jeśli na etapie konstruowania zintegrowane zostaną z obiektem urządzenia i procedury diagnostyczne.

Generacja sygnałów drganiowych w opisie zmian stanu maszyny

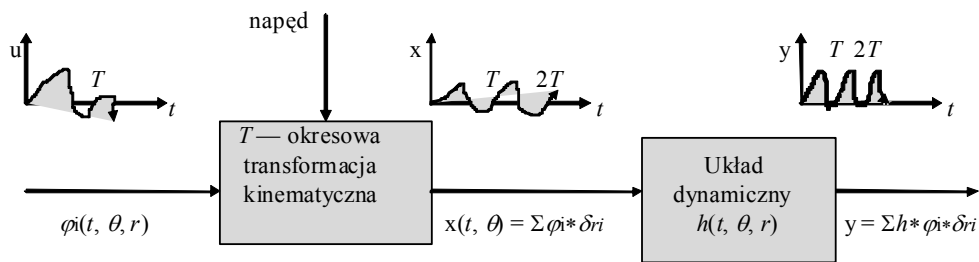
Ocena stanu dynamicznego maszyn za pomocą generowanych przez nie procesów fizycznych wymaga skojarzenia parametrów funkcjonalnych ocenianego obiektu ze zbiorem miar i ocen procesów wyjściowych.

Podczas funkcjonowania maszyn, na skutek istnienia szeregu czynników zewnętrznych (wymuszenia środowiska, od innych maszyn) oraz wewnętrznych (starzenie, zużycie, współpraca elementów) w maszynie następują zaburzenia stanów równowagi, które rozchodzą się w ośrodku sprężystym — materiale, z którego zbudowana jest maszyna. Zaburzenia mają charakter dynamiczny i zachowują warunki równowagi pomiędzy stanem bezwładności, sprężystości, tłumienia i wymuszenia. Procesy te są podstawą budowy modelu generacji sygnałów determinującego sposób budowy, funkcjonowania i zmian stanów obiektu. Ciąg założeń prowadzący do modelu generacji sygnałów można przedstawić w postaci modelu cybernetycznego, jak na rysunku 1.



Rys. 1. Model generacji sygnału diagnostycznego maszyny

Przedstawiony sposób interpretacji sygnału $y(\theta, r)$ jest w ogólnym przypadku maszyn o działaniu okresowym prawdziwy, lecz nie zawsze tak prosty jak na rysunku 2.



Rys. 2. Transformacja sygnału charakterystycznego φ_i w sygnał wyjściowy y jako model generacji sygnału w maszynach [2]

Przykładem takiego ujęcia zagadnienia jest przekładnia główna, której model generacji przedstawiono na rysunku 3. Odbierany sygnał wyjściowy w dowolnym miejscu obudowy przekładni jest ważoną sumą odpowiedzi na wszystkie zdarzenia elementarne $Un(t, \theta, r)$ występujące zawsze w tej samej sekwencji w poszczególnych układach dynamicznych cząstkowych o impulsowej funkcji przejścia $hn(t, \theta, r)$. Oddziaływania te po przejściu przez właściwe układy dynamiczne sumują się i ulegają dodatkowemu przekształceniu na korpusie przekładni, przy czym zmiana miejsca odbioru sygnału r związana jest również ze zmianą transmitancji. Przez $n(t, \theta)$ oznaczono tu przypadkowe oddziaływanie występujące z tytułu obecności mikro-zjawisk dynamicznych, takich jak tarcie, nierówności itp. Sygnał wyjściowy dowolnego punktu odbioru można wyrazić w przybliżeniu wzorem:

$$y_k(\theta, r) = \sum_{i=1}^k a(k) h_i(t, \theta, r) * [u_i(t, \theta, r) + n(t, \theta, r)], \tag{1}$$

gdzie:

impulsowa funkcja przejścia $h(*)$ ujmuje również własności korpusu;
 $a(k)$ daje różne wagi sumowania związane z miejscem odbioru r .

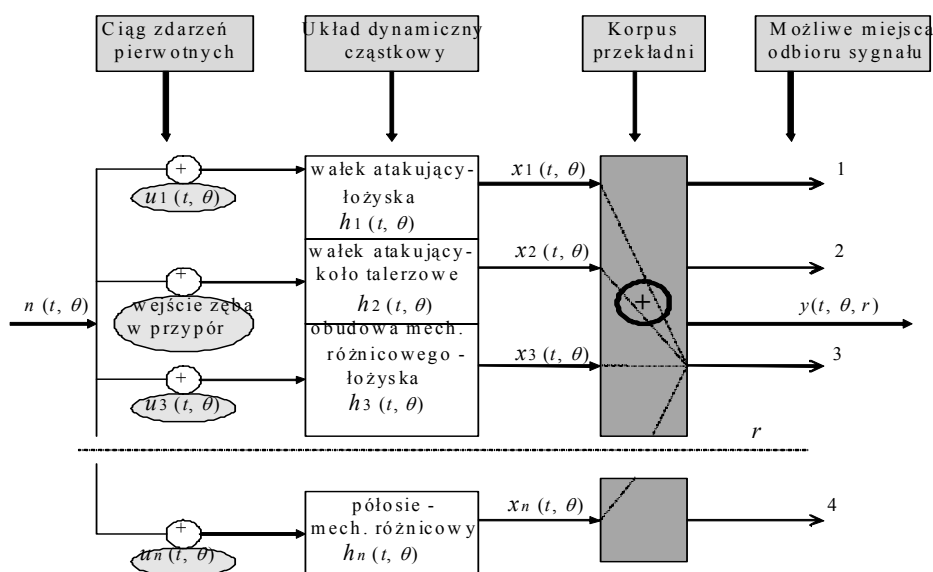
Problemy główne diagnostyki maszyn

Modele generacji sygnałów określają problemy diagnostyki w zakresie:

- pozyskiwania i przetwarzania informacji diagnostycznej;
- budowy modeli i relacji diagnostycznych;
- wnioskowania diagnostycznego i wartości granicznych;
- klasyfikacji stanów maszyny;
- przewidywania czasu kolejnego diagnozowania;
- obrazowania informacji decyzyjnych.

System pomiarowy dla celów diagnozowania składa się z podstawowych części:

- sprzętu, w którym wyróżnia się następujące moduły: podsystem kondycjonowania i przetwarzania sygnałów, podsystem przetwarzania sygnałów znacznika fazy, podsystem komputera przemysłowego, podsystem zasilania;
- oprogramowania, w którego skład wchodzi następujące moduły: system operacyjny (np. VxWorks), oprogramowanie modułów przetwarzania i analizy sygnałów, oprogramowanie zapewniające komunikację pomiędzy warstwami systemu, oprogramowanie do archiwizacji i przetwarzania danych pomiarowych, oprogramowanie zarządzające pracą systemu (konfigurowanie systemu, testowanie systemu, inicjalizacja sesji pomiarowych itp.).

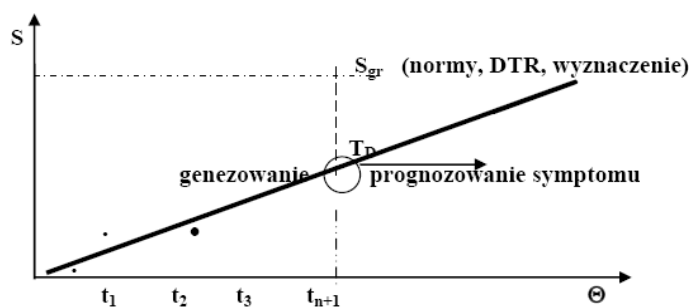


Rys. 3. Model generacji sygnału diagnostycznego przekładni zębatej

Przedstawiona struktura systemu pomiarowego wykorzystuje najnowsze rozwiązania sprzętowe i programowe. Umożliwiają one łatwą rozbudowę systemu oraz możliwości włączenia go do dowolnych systemów diagnostycznych.

Problemy nurtujące praktykę stosowania metod diagnozowania (rys. 4.):

1. Czas konstytuowania się symptomu diagnostycznego.
2. Zmiana wartości symptomu — działania profilaktyczne (PSOTia).
3. Kompleksowa ocena stanu: pomiary symptomów, odniesienie do wartości granicznej, prognozowanie stanu, wyznaczenie terminu kolejnego diagnozowania, genezowanie przyczyny zmian wartości mierzonego symptomu.



Rys. 4. Systemowe działania diagnostyczne

DIAGNOSTYCZNY SYSTEM EKSPLOATACJI MASZYN

Współczesne maszyny opisuje się za pomocą takich cech, jak funkcjonalność, niezawodność, gotowość, bezpieczeństwo, mobilność i podatność eksploatacyjna. Kształtowanie i utrzymanie tych cech jest możliwe metodami diagnostyki technicznej, która pozwala na diagnostyczne konstruowanie i wytwarzanie nowych maszyn oraz utrzymanie maszyn w stanie zdatności funkcjonalnej.

Potrzeby i uwarunkowania gospodarki rynkowej uzasadniają konieczność wprowadzania nowoczesnej autoryzowanej strategii wytwarzania i eksploatacji maszyn. Proponowana strategia eksploatacji (ASEM) imiennie wskazuje na twórcę. Producent zainteresowany jakością i późniejszym zbytem jest odpowiedzialny za wytwór od zamysłu, poprzez konstrukcję, wytwarzanie i eksploatację, aż do utylizacji po likwidacji obiektu. Tym samym producent konstruuje i wytwarza swoje wytwory w oparciu o najnowsze osiągnięcia myśli technicznej, zabezpiecza je własnym serwisem obsługowym w czasie eksploatacji, a także wyposaża obiekty w środki diagnostyczne (najlepiej automatyczne). Użytkownicy maszyn są zainteresowani szczególnie ich zdatnością zadaniową, dla określenia której należy:

- wyznaczyć symptomy stanu zdatności, S_1, S_2, \dots, S_m ;
- określić wartości graniczne symptomów stanu zdatności, $S_{gr} = \bar{s} \pm \sigma_s \sqrt{\frac{P_g}{2A}}$
- ustalić klasę zdatności obiektu;
- wyznaczyć okresowość diagnozowania, $t_d = \frac{(1 - P_r)(S_{gr} - S_m)}{S_m} \theta m$.

Wyróżnione zadania diagnostyczne zostaną dalej wybiórczo omówione, przy czym szczegółowy ich opis można znaleźć w pracach autora [3, 6].

ZARZĄDZANIE SYSTEMEM EKSPLOATACJI

Każda z organizacji gospodarczych ma określony system zarządzania, który spełnia jej wymagania w zakresie realizacji przyjętej strategii. Jest to szczególnie istotne dla tych z nich, które mają istotny wpływ na przebieg procesu produkcyjnego (logistyka, eksploatacja, narzędzia i przyrządy) lub nadzorują środki trwałe o istotnej, z punktu widzenia firmy, wartości (utrzymanie, ruch, naprawy, przeglądy) [3, 4]. Funkcje podsystemu:

- prowadzi klasyfikację i ewidencję wszystkich środków trwałych;
- proponuje podstawowe wskaźniki techniczno-ekonomiczne;
- nadzoruje eksploatację środków trwałych;
- analizuje dane z monitoringu i podejmuje decyzje;
- wnioskuje likwidację środków trwałych;
- planuje, nadzoruje i realizuje wszystkie rodzaje przeglądów, konserwacji i napraw;
- ustala podstawowe normatywy, ewidencjonuje i rozlicza prowadzone prace;
- planuje zaopatrzenie w części zamienne i materiały potrzebne do napraw;
- wnioskuje i uzasadnia leasing, wnioskuje i uzasadnia outsourcing;
- organizuje magazynowanie części zamiennych, ich wydawanie oraz rozliczanie;
- planuje zadania inwestycyjne, organizuje i realizuje zakup maszyn i urządzeń;
- realizuje niezbędne prace budowlano-montażowe;
- organizuje odbiór środków trwałych;
- przygotowuje technologie napraw.

Analizując zakres funkcji przypisanych do realizacji systemowi, można określić, jakie grupy danych powinny do niego wpływać, a także dane, jakie on generuje.

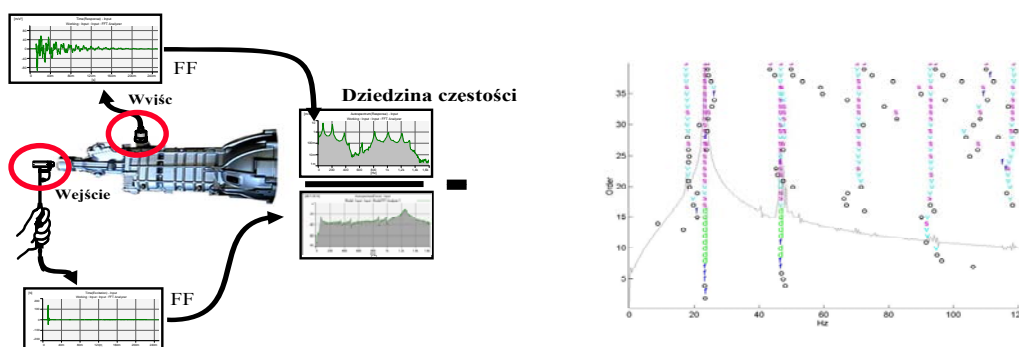
STUDIUM PRZYPADKÓW

Analiza modalna w badaniach stanu silników spalinowych

Analiza modalna obiektów mechanicznych jest metodą badania własności dynamicznych konstrukcji. Coraz częściej metodę tę stosuje się dla celów diagnostyki, gdzie charakterystyczne jest śledzenie zmian parametrów modeli modalnych wraz ze zmianami stanu badanego silnika.

W wyniku przeprowadzenia analizy modalnej otrzymuje się model modalny stanowiący uporządkowany zbiór częstości własnych, odpowiadających im współczynników tłumienia oraz postaci drgań własnych.

Eksperymentalna analiza modalna stosowana w diagnozowaniu stanu konstrukcji umożliwia estymację modeli dynamicznych oraz ich analizę w oparciu o dane pomiarowe umożliwiające estymację parametrów modelu modalnego, symulację modyfikacji strukturalnych oraz syntezę odpowiedzi obiektu na zadane wymuszenie. Przeprowadzenie eksperymetalnej analizy modalnej wymaga pomiaru drgań konstrukcji wyłączanej z ruchu w wielu jej punktach przy wymuszeniu działającym w jednym lub wielu punktach wyznaczonej sieci punktów pomiarowych. Jednocześnie musi być mierzony przebieg siły wymuszającej drgania. Estymacja parametrów modelu modalnego polega na aproksymacji zmierzonych charakterystyk konstrukcji za pomocą funkcji, dla której zmiennymi są parametry modelu modalnego. Idea eksperymetalnej analizy modalnej wraz z uzyskanym diagramem stabilizacji przedstawione są na rysunku 5.



Rys. 5. Realizacja badań silnika w eksperymetalnej analizie modalnej wraz z uzyskanym diagramem stabilizacji

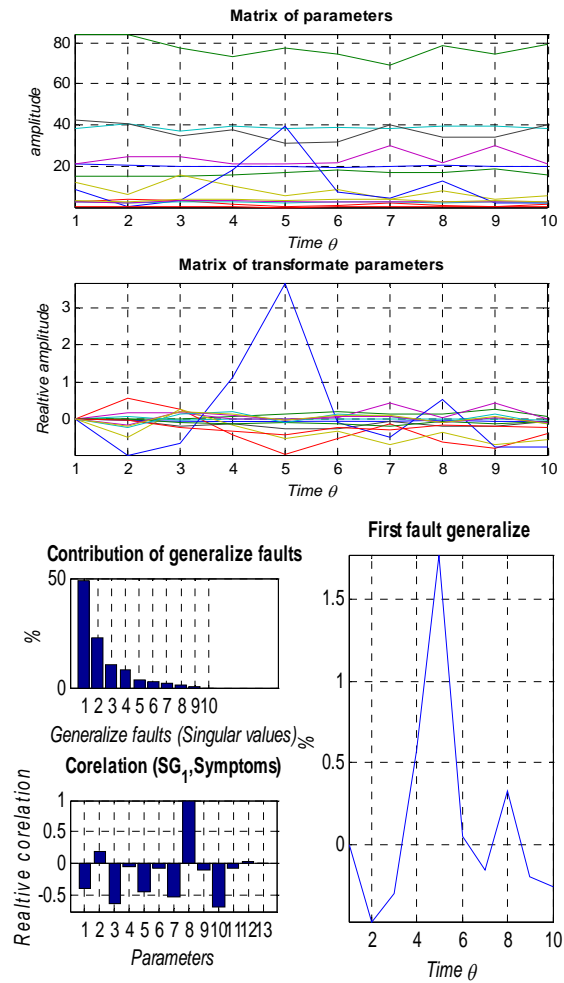
W trakcie realizacji tych badań uzyskuje się wiele miar procesu drganiowego, które jako wspomagające zostały wykorzystane w wielowymiarowej obserwacji stanu silnika i przetworzone zostały w SVD (rys. 6).

Funkcja koherencji w ocenie stanu intensywności źródeł sygnału

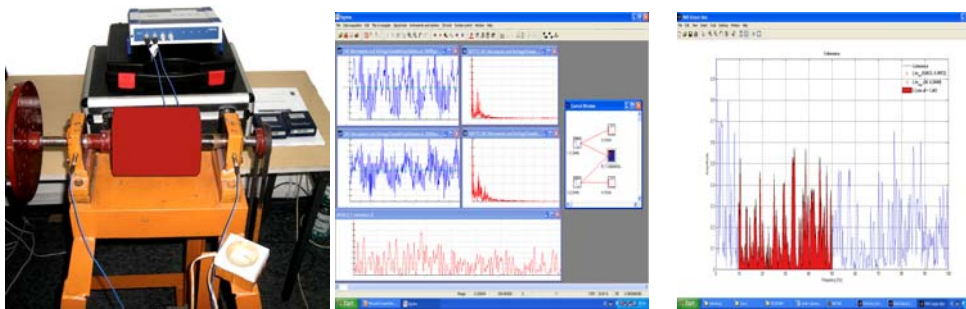
Funkcja koherencji definiowana jest jako miara spójności procesów drganiowych, której wartość liczbowa określa współczynnik funkcji koherencji:

$$\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f) \cdot G_{yy}(f)} \quad 0 \leq \gamma_{xy}^2(f) \leq 1$$

Stanowisko pomiarowe, aparatura i przykładowy wynik badania stanu intensywności dwóch źródeł sygnału drganiowego silnika spalinowego pokazano na rysunku 7.



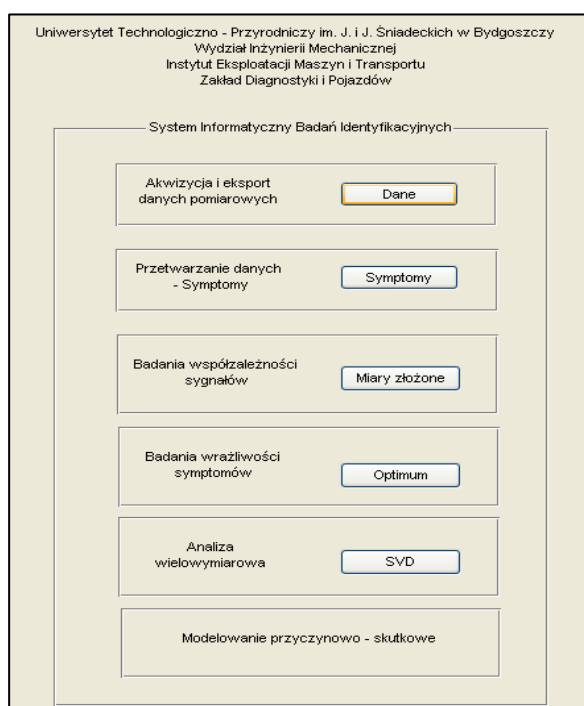
Rys. 6. Miary procesu drganiowego przetworzone w SVD



Rys.7. Badania intensywności dwóch źródeł sygnałów drganiowych badanego silnika

Możliwość szybkiej identyfikacji uszkodzenia podczas diagnozowania elementów mających wpływ na funkcjonowanie obiektów technicznych były podstawą do stworzenia programu SIBI (System Informatyczny Badań Identyfikacyjnych). Program ten jest próbą implementacji oprogramowania dla potrzeb:

- akwizycji procesów drganiowych;
- przetwarzania procesów drganiowych;
- badania współzależności procesów drganiowych;
- badania wrażliwości symptomów;
- wnioskowania statystycznego;
- wizualizacji wyników analizy.



Rys. 8. Główne okno dialogowe programu SIBI

PODSUMOWANIE

Zakres badań w dziedzinie metodologii diagnostyki obejmuje takie zagadnienia, jak: źródła informacji diagnostycznej, sygnały i symptomy diagnostyczne, zasady szczególnych metod diagnostyki, modelowanie w diagnostyce, eksperymenty diagnostyczne,

wspomaganie diagnostyki nowoczesnymi technologiami informatycznymi, diagnozowanie w systemach antropotechnicznych i socjotechnicznych oraz organizacyjne i ekonomiczne aspekty stosowania diagnostyki. Zagadnienia te dotyczą w kolejności: źródeł informacji od strony fizycznej oraz informacyjnej, podstaw metod i technik badawczych, modelowania i eksperymentowania w diagnostyce, a także nowoczesnego wnioskowania i wizualizacji wypracowywanych decyzji diagnostyczno-eksploatacyjnych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Birger I. A., *Technical diagnostics* (in Russian), Nauka, Moscow 1978, s. 32.
- [2] Cempel C., *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn*, WNT, Warszawa 1982.
- [3] *Inżynieria diagnostyki maszyn*, red. B. Żółtowski, C. Cempel, ITE Radom 2005.
- [4] Jaskulski Z., *Wpływ wybranych czynników wewnętrznych na sprawność zarządzania firm produkcyjnych*, Diagnostyka '99 (materiały konferencyjne), Bydgoszcz 1999.
- [5] Pietrowski H., *Modułowy system organizacji przedsiębiorstwa*, PWE Warszawa 1981.
- [6] Żółtowski B., *Podstawy diagnostyki maszyn*, Wydawnictwo ATR, Bydgoszcz 1996.

DIAGNOSTIC SYSTEM OF OPERATION OF COMBUSTION ENGINES

ABSTRACT

The paper presents the main descriptors of a diagnostic system of operation of engines. It defines measures of technical condition, their limit magnitudes as well as periodicity of diagnosing. Against this background the issues related to and missions of the system used to operate engines are identified.

Keywords:

diagnostics of engines, symptoms of the condition, limit magnitude, periodicity of diagnosing.

Recenzent dr hab. inż. Jerzy Garus, prof. AMW