

DIAGNOSTYKA I MONITOROWANIE STANU W ŻYCIU SYSTEMÓW MECHATRONICZNYCH

Bogdan ŻÓŁTOWSKI

ATR BYDGOSZCZ
bogzol@mail.atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W pracy omówiono wybrane problemy diagnostyki technicznej i monitorowania stanu systemów mechatronicznych. Przedstawiona problematyka znajduje swoje uzasadnienie w procesach destrukcji maszyn, towarzyszących każdej maszynie tuż po jej wytworzeniu, aż do likwidacji. Daje to podstawy do racjonalnej eksploatacji maszyn w nowo tworzonych diagnostycznych systemach eksploatacji. Ocena stanu zależna od dobrego modelu i właściwych symptomów prowadzi do technologii obiektowych i bioniki istnienia systemów technicznych. Deskryptory diagnostycznego systemu eksploatacji umożliwiają tworzenie nowoczesnych strategii eksploatacji w zindywidualizowanych informatycznie systemach przedsiębiorstwa, zapewniając nowoczesne utrzymanie maszyn w ruchu.

Słowa kluczowe: diagnostyka, monitorowanie, technologie obiektowe, bionika systemów.

MONITORING AND DIAGNOSTIC STATE IN LIFE OF THE MECHATRONIC SYSTEMS

Summary

It the chosen problems of technical diagnostics in running were have talked over was and the monitoring of state the mechatronic systems. Introduced problems finds in processes of destruction of machine engines his reason, concurrent every machine engine near at hand after her producing, until to liquidation. It lets then the basis to rational exploitation of machine engines in newly the created diagnostic systems of exploitation. The state dependent opinion from good patternel and proper symptoms guides to object-oriented technologies and bionics the existences the technical systems. The descriptors of diagnostic system of exploitation make possible creating the modern strategies of exploitation on individualized program the systems of enterprise, assuring modern maintenance in movement the machine engines.

Keywords: diagnostics, monitoring, object – oriented technologies, bionic of systems.

1. WPROWADZENIE

Procesy destrukcji systemów technicznych wymuszają potrzebę nadzorowania zmian ich stanu, szczególnie na etapie eksploatacji. Metody i środki nowoczesnej diagnostyki technicznej są narzędziem diagnozowania ich stanu technicznego, co umożliwia racjonalną i bezpieczną ich eksploatację.

System mechatroniczny, to w rozumieniu Autora nowoczesna maszyna złożona z części mechanicznej, elektronicznej i elektrycznej, zintegrowana nowoczesnymi technologiami informatycznymi w obszarze wytworów, jak i towarzyszących im procesów.

Współczesny rozwój automatyzacji i informatyki w zakresie sprzętu i oprogramowania stwarza nowe możliwości realizacji systemów diagnozowania i monitorowania coraz bardziej złożonych konstrukcji mechatronicznych. Te nowe możliwości są związane z nowymi konstrukcjami czuj-

ników inteligentnych, modułowego oprogramowania oraz modułów komunikacji i wymiany danych.

W tej pracy przedstawiono wybrane problemy nowoczesnego stosowania metod diagnozowania i monitorowania zmian **stanu** systemów mechatronicznych, wskazując na różne strategie eksploatacji, ich efektywność, a także zagadnienia stanowiące o postępie w zakresie modelowania obiektowego w tworzeniu obiektów samodiagnostujących.

2. ZMIANY STANU MASZYN

Ciągły postęp techniczny, lepsza organizacja i lepsze zarządzanie wymagają posiadania bardziej precyzyjnej informacji w obszarze nadzoru zmieniającego się stanu coraz bardziej skomplikowanych maszyn. Widoczne jest tu powiązanie istniejące pomiędzy otrzymywaną informacją a stopniem doskonalenia działalności technicznej i ekonomicznej, wyrażające się użytecznością informacji, jej wartości albo cenności.

Wiele informacji o sposobach opisu i badania destrukcji maszyn przedstawiono w opracowaniach wcześniejszych autora [7,8,9,11], co pozwala na sygnałne tylko wskazanie głównych elementów tego zagadnienia.

Stan techniczno – organizacyjny P jest zależny w czasie od sprawności informatywnej poprzez związek [11]:

$$P_{t+1} = P_t \cdot (1 + \eta_i) \quad (1)$$

gdzie sprawność informatywna η_i jest określana zależnością:

$$\eta_i = \frac{I_d \cdot W_i}{I_m \cdot C} \quad (2)$$

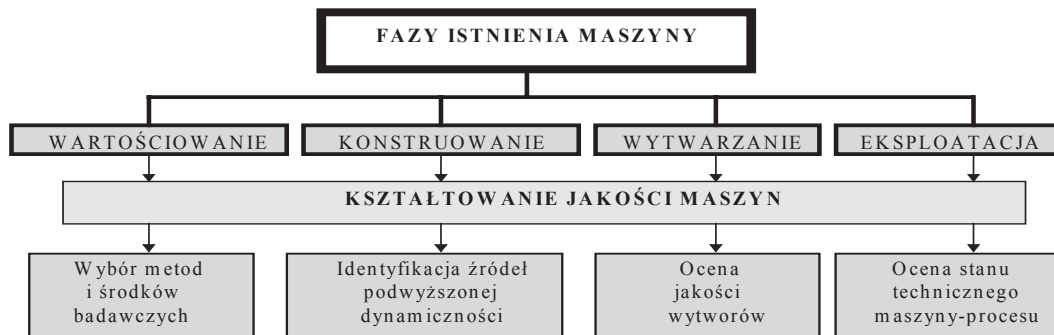
I_d – informacja dostępna, I_m – informacja możliwa, W_i – waga informacji, C – cykl otrzymywania informacji (czas).

Prawo rozwoju technicznego (1) jest tym większe im większa jest wartość sprawności informatywnej. Z zależności (2) wynika ważne przesłanie sygnalizujące wagę szybkiego otrzymywania, przetwarzania i wykorzystania informacji, z czym wiąże się problem planowania i prognozowania opartego na wartościowej informacji.

Modelowanie dla potrzeb diagnostyki obejmuje modelowanie fizyczne, matematyczne i energetyczne, co daje podstawy diagnostyki symptomowej, holistycznej i energetycznej.

W badaniach stanu obiektów posługujemy się modelami: fizycznymi lub symbolicznymi, które są przedstawieniem fizycznym lub myślowym badanego oryginału. Modele symboliczne dzieli się na logiczne i matematyczne (modele uogólnienia, interpretacji i analogii), natomiast wśród modeli fizycznych (strukturalne, funkcjonalne i mieszane) można wyróżnić modele mechaniczne, elektryczne, cieplne itd. Z modelowaniem wiąże się bardzo ściśle symulacja (fizyczna lub symboliczna), którą stosujemy wówczas gdy nie możliwości badania oryginału. Umożliwia ona opis oryginału, genezowanie i prognozowanie zachowania się oryginału oraz nauczanie aktualnej teorii odnoszącej się do oryginału.

W inżynierii mechanicznej rozwijająca się diagnostyka techniczna potrafi nadzorować postępującą destrukcję maszyny w całym cyklu jej życia. Najlepiej to widać na rys.1, gdzie całościowo rolę i zadania diagnostyki technicznej pokazano w całym cyklu życia maszyny.



Rys.1 Diagnostyka w życiu maszyny.

Kształtowanie i ocena jakości maszyn wiąże się ściśle z koniecznością utrzymania na odpowiednim poziomie ich cech użytkowych w określonych warunkach eksploatacji. Cechy te, spełniające wymogi reprezentatywnych dla stanu obiektu, winny być określone już na etapie wartościowania i konstruowania, a weryfikowane podczas wytwarzania i eksploatacji.

Do wyróżnienia, oceny i podtrzymywania cech użytkowych wykorzystuje się:

- możliwości diagnostyki technicznej, w tym konstruowanie diagnostyczne, ocenę jakości wytworów, diagnostykę eksploatacyjną, metody i środki diagnostyki technicznej,
- wspomaganie badań diagnostycznych techniką komputerową;
- badania niezawodności maszyn w fazach: przedprodukcyjnej, produkcyjnej i poprodukcyjnej przy

wykorzystaniu programowanych badań stanowiących, modelowania czynników wymuszających, wspomaganie komputerowego badań niezawodności;

- metodologię kształtowania „jakości” maszyn przez „jakościowy system sterowania przedsiębiorstwem” z uwzględnieniem kryteriów norm jakości EN serii 29 000;

- możliwości regeneracji części maszyn, w tym regenerację wielokrotną, badania zmęczeniowe i modelowanie obciążeń części regenerowanych, nowe techniki i technologie odtwarzania jakości części maszyn;

- badania technologiczności obsługowej i naprawczej maszyn, kształtowanie intensywności starzenia i zużywania się elementów maszyn, kształtowanie podatności oraz ocenę efektywności eksploatacji maszyn.

Powyższe grupy tematyczne stanowią obszar zainteresowań w zakresie metod i metodologii kształtowania i podtrzymywania jakości maszyn, który jest uwarunkowany dynamicznym rozwojem następujących zagadnień :

- modelowania obiektów (strukturalnego, symptomowego, energetycznego),
- metod diagnozowania, genezowania i prognozowania,
- podatności diagnostycznej (przyjazne metody i obiekty),
- budowy ekonomicznych i dokładnych środków badania,
- badania możliwości eksperymentów w kolejnych fazach istnienia maszyny,
- metod oceny efektywności zastosowań metod badawczych,
- metodologii projektowania i wdrażania układów pomiarowych,
- metod sztucznej inteligencji w badaniach.

Przedstawione możliwości diagnostyki w zakresie nadzorowania zmienności stanów maszyn (zmian jakości) są podstawą metody obsługi maszyn według stanu technicznego. Doskonalenie tej przyszłościowej strategii opiera się o nowe, skuteczne metody diagnozowania stanu maszyn, o opracowania pokładowych i stacjonarnych układów diagnostycznych, wspieranych techniką komputerową i dokonania sztucznej inteligencji [2,7].

3. OCENA STANU SYSTEMU MECHATRONICZNEGO

Systemy mechatroniczne i ich rozwój, jako kolejny etap rozwoju jakości konstrukcji maszyn, wiążą się ściśle z rozwojem cybernetyki i ogólnej teorii systemów oraz teorii informacji i zarządzania. Zajmują się one tymi systemami od strony złożoności relacji, sieci i sprzężeń zwrotnych wewnątrz systemowych, mechanizmów stabilności, dynamiki, samoregulacji, procesów gromadzenia i przetwarzania informacji. Mechatronika staje się przedpolem rozwoju bioniki, która bada zasady budowy i funkcjonowania systemów biologicznych w celu możliwości konstruowania mechanizmów, maszyn i urządzeń technicznych, których charakterystyki zbliżone są do charakterystyk żywych systemów. Obok mechatroniki, biomechaniki, bioenergetyki i neurobioniki rozwija się bioelektronika, umożliwiające przewidywać powstawanie mieszanych systemów technicznych składających z części mechanicznej, elektronicznej i organizmu żywego. Tym wyzwaniom winna sprostać w przyszłości diagnostyka techniczna, dla której należy przewidzieć już teraz nowe wyzwania.

Stan aktualny rozwoju diagnostyki technicznej systemów mechatronicznych jest zaledwie początkiem wielu nowych, nie zawsze jeszcze do końca znanych wyzwań merytorycznych i metodycznych. Systemy monitorujące takich systemów

oparte są na czujnikach zmian stanu źródeł cząstkowych, czujnikach inteligentnych, układach zbierania informacji i stacji operatorskiej.

Systemy monitorowania stanu maszyn są stosowane jako niezbędny element wyposażenia złożonych maszyn, zabezpieczający przed wystąpieniem niespodziewanych uszkodzeń lub awarii. Rozwiązania algorytmiczne tych systemów organizują proces akwizycji, porządkowania i przetwarzania danych pomiarowych według przyjętych reguł, wspomagając klasyfikację stanów, bądź wspomagających podejmowanie decyzji diagnostycznych. Rozwiązania sprzętowe określają wielokanałowe układy pomiarowe współpracujące z dowolnymi czujnikami, układy kontroli własnych obwodów pomiarowych, łącza integrujące oczujnikowanie z różnymi przetwornikami i układami wykonawczymi, określającymi sytuacje zagrożeniowe, alarmowe lub wyłączeniowe [2,6].

Głównym elementem takich układów są inteligentne przetworniki pomiarowe, które zawierają: blok akwizycji, blok przetwarzająco-sterujący i blok komunikacji z otoczeniem. Ich zalety w porównaniu z poprzednią generacją przyrządów są następujące [2]:

- możliwość realizacji części procedur pomiarowych w postaci cyfrowej;
- możliwość realizacji różnych algorytmów przetwarzania bez zmiany struktury przyrządu;
- możliwości komunikacyjne polegające na wykorzystaniu interfejsów pomiarowych do generowania decyzji informacyjno-sterujących.

To sprawia, że przetworniki inteligentne mają właściwości adaptacyjne, umożliwiające na podstawie warunków pomiaru, właściwości obiektu, wymagań i ograniczeń, wybór algorytmu pomiaru stosownie do badanego problemu. W pamięci przetwornika znajduje się oprogramowanie pewnego zestawu algorytmów i program ich wyboru. Wybór jest warunkowany stosownie do realizowanej funkcji, zgromadzonej wiedzy oraz informacji o warunkach pomiaru. Obecnie prowadzone są prace w zakresie oprogramowania i doboru struktury przyrządu pozwalające na dostosowywanie się samoczynnie do realizowanego zadania, co częściowo dalej pokazano.

Powodzenie różnych koncepcji akwizycji i przetwarzania informacji diagnostycznej wiąże się z doskonaleniem metod **pozyskiwania symptomów stanu, modelowaniem obiektywnym i budową samodiagnostujących się obiektów.**

Wybrane fragmenty dokonań tego zakresu przedstawiono w dalszej części opracowania.

3.1 Sygnały diagnostyczne

Fizyka zjawisk towarzyszących pracy każdej maszyny oparta na modelu generacji sygnałów jest podstawą dobrej diagnostyki i opiera się na znajomości opisu dynamiki maszyny, co ułatwia łagodnie

przejście do obszaru diagnostyki. Wiele opracowań z tego obszaru [1,5,7,9,11] wskazuje jednoznacznie na dużą przydatność procesów drganiowych w opisie zmian stanu maszyn, co często wykorzystywane jest w metodologii prezentacji istoty i dokonania diagnostyki.

Zmiany stanu maszyn opisywane są dobrze sygnałem drganiowym, odzwierciedlają się w zmiennych wartościach poziomu (parametrów) drgań lub w zmianie transmitancji od punktu uszkodzenia do punktu odbioru. 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, zużycia, 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. Zaburzenia rozchodzą się od źródeł w postaci fal w sposób zależny od własności fizycznych oraz granic konfiguracji, wymiarów i kształtów maszyny. Inne procesy (tarcia i zużycia, termodynamiczne, elektryczne, magnetyczne, objętościowe),

których opis i wykorzystanie w diagnostyce jest jeszcze niewielkie, są źródłem wielu obciążeń dynamicznych znajdujących swoje odzwierciedlenie w analizie i opisie zmiennych stanów maszyny.

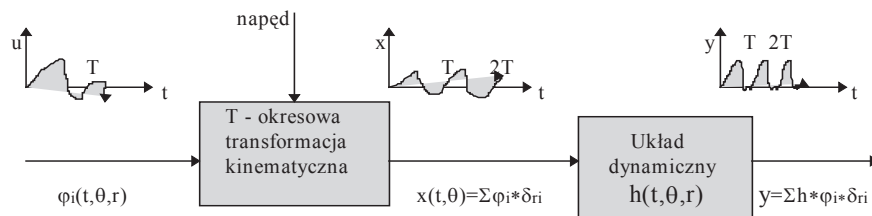
Wyodrębniając w analizie stanu maszyny **procesy wejściowe, strukturę i procesy wyjściowe**, należy pamiętać o ich losowym charakterze.

Wejście wewnętrzne, traktowane jako zbiór wielkości wymuszających określających strukturę maszyny (kształt, jakość wykonania, luzy itd.) i sposób współpracy elementów jest kształtowane w warunkach losowych podczas wytwarzania i ujawnia się tymi własnościami losowymi podczas funkcjonowania.

Wejście zewnętrzne, określające warunki współpracy maszyny z innymi elementami systemu produkcyjnego (zmiany obciążeń, prędkości, wpływ środowiska) ma w praktyce również charakter losowy.

W rezultacie istnienia wejścia i realizacji transformacji stanów reprezentujących procesy zachodzące w maszynie, powstaje szereg dających się mierzyć objawów charakterystycznych zawartych w procesach wyjściowych z maszyny. Procesy te są podstawą budowy modeli generacji sygnałów, opisujących strukturę, funkcjonowanie i zmiany stanów obiektu.

Opisany ciąg założeń prowadzący do modelu generacji sygnałów [1], który jest w ogólnym przypadku maszyn o działaniu okresowym prawdziwy, lecz nie zawsze tak prosty jak na rys.2.



Rys.2 Transformacja sygnału charakterystycznego ϕ w sygnał wyjściowy y (dla $\theta = \text{const}$) jako model generacji sygnału w maszynach [1].

Sygnał wyjściowy dowolnego punktu odbioru można wyrazić w przybliżeniu wzorem:

$$y_k(\Theta, r) = \sum_{i=1}^k \{a(k)h_i(t, \Theta, r) * [u_i(t, \Theta, r) + n(t, \Theta, r)]\} \quad (3)$$

gdzie: $h(*)$ - impulsowa funkcja przejścia ujmująca własności korpusu,
 $a(k)$ daje różne wagi sumowania związane z miejscem odbioru „r”.

3.2. Wybór parametrów diagnostycznych

Zbiór parametrów diagnostycznych sygnału wyróżnia się ze zbioru parametrów wyjściowych, towarzyszących pracy maszyny. Na ogół kryteriami

wyróżniania symptomów są warunki ich niezależności, jednoznaczności i mierzalności.

Wyznaczanie zbioru wrażliwych uszkodzeniowo parametrów diagnostycznych powinno uwzględniać:

- zdolność odwzorowania zmian stanu w czasie eksploatacji,
- ilość informacji o stanie technicznym przekładni,
- wrażliwość wartości parametrów w czasie eksploatacji.

Metody wyznaczania symptomów diagnostycznych są następujące:

- metoda maksymalnej wrażliwości parametru na zmianę stanu technicznego.
- metoda maksymalnej względnej zmiany parametru diagnostycznego.

- metoda maksymalnej pojemności informacyjnej parametru diagnostycznego.
- metoda maksymalnej zmienności parametru diagnostycznego.

Zaletą powyższych metod jest to, że pozwalają wybrać ze zbioru parametrów wyjściowych jednoelementowe, jak i wieloelementowe zbiory parametrów diagnostycznych.

Kryteria optymalizacji zbioru parametrów diagnostycznych:

1. parametry diagnostyczne powinny charakteryzować proces destrukcji obiektu i być z nim ściśle związane.
2. parametry diagnostyczne powinny być wrażliwe na zmiany zachodzącego procesu pogarszania się zdadności obiektu.
3. liczba parametrów diagnostycznych nie może być zbyt duża, gdyż znaczna ich liczba utrudnia, a niekiedy uniemożliwia poznanie i określenie procesu pogarszania się stanu obiektu.
4. parametry diagnostyczne powinny mieć charakter mierzalny.
5. muszą istnieć wiarygodne dane statystyczne i analityczne badanych parametrów.

4. TECHNOLOGIE OBIEKTOWE W DIAGNOSTYCE TECHNICZNEJ

Nowym podejściem w diagnostyce obiektów technicznych jest diagnostyka obiektowa, oparta na nowoczesnych technologiach informatycznych, z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji. Takie podejście jest niezwykle istotne dla maszyn krytycznych, mobilnych obiektów w ruchu i, wymagających wręcz samodiagnozowania, samonaprawy itd.

Obecnie obserwuje się w niemal wszystkich dziedzinach informatyki dążenie do stosowania technologii obiektowych. Złożoność rozwiązywanych problemów, dalej silnie zdeterminowanie czasowe i kosztorysowe wywołały w zasadzie masowe przejście do obiektowego postrzegania zadań koncepcyjnych i projektowych, mających szerokie zastosowanie w monitorowaniu stanu. Proces modelowania rzeczywistych, bardzo złożonych systemów, zdaniem wielu autorów, powinien być prowadzony zgodnie z konwencją obiektowości, co może przynieść wymierne korzyści w procesie analizy i określania potrzeb modernizacyjnych [6,8,11].

Podejście obiektowe ma szereg zalet, do których można zaliczyć:

- dostępność narzędzi programistycznych i obszernej bibliotek;
- możliwość wielokrotnego użycia kodów programu;
- wierne i przystępne pojęciowo odzwierciedlenie zdarzeń i procesów zachodzących w rzeczywistym obiekcie;

- stosunkowo łatwe modernizowanie prawidłowo zaprojektowanych systemów.

Wymienione wyżej cechy podejścia obiektowego pozwalają na włączenie metod sztucznej inteligencji do modelu badanego systemu.

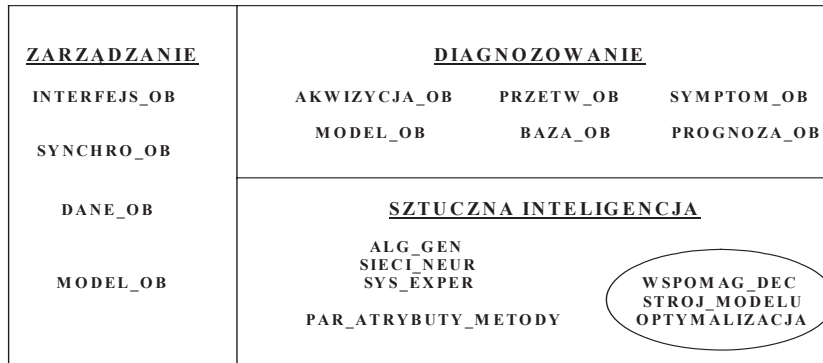
Podejście obiektowe można określić jako próbę modelowania, odwzorowania rzeczywistych bytów jako obiektów. W podejściu tym zadania rozpatrywane są w kategoriach obiektów i komunikatów pomiędzy nimi. Obiekt jest niezależną, asynchroniczną jednostką, która przechowuje dane (atrybuty), wykonuje zadania (metody), komunikuje się z innymi obiektami (komunikaty). Obiekt posiada cechy i zachowania odróżniające go od innych obiektów tworzących system. Pojęciem ogólniejszym jest klasa obiektów, która może być rozumiana jako szablon. Szablon taki określa, jakie atrybuty ma dana klasa i w jaki sposób obiekty funkcjonują. Działająca aplikacja uaktywnia potrzebne egzemplarze (instancje) klasy - w ten sposób generuje kolejne obiekty.

Proponowany system umożliwia pełną integrację najróżniejszych metod, modeli i danych. Poszczególne klasy obiektów zgrupowano w tematy zgodnie z ich zastosowaniami i właściwościami. W temacie ZARZĄDZANIE zawarto klasy obiektów odpowiedzialne za konfigurowanie systemu według potrzeb użytkownika i sterowanie przebiegiem zdarzeń. W temacie DIAGNOZOWANIE umieszczono klasy pozwalające na zbudowanie modelu diagnostycznego i wykonanie obliczeń. Temat SZTUCZNA INTELIGENCJA zawiera klasy implementujące właściwości i zastosowania algorytmów genetycznych.

W ujęciu obiektowym strukturę funkcjonalną proponowanego systemu [7] pokazano na rys. 3. Zakłada się tu istnienie niezależnych, wirtualnych klas obiektów, generujących poszczególne instancje obiektów w zależności od potrzeb.

Zgodnie z wymaganiami użytkownika przetworzenie danych pomiarowych następuje przy pomocy metod obiektów klasy PRZETW_OB. Jeżeli zachodzi potrzeba wykonania eksperymentu, w którym należy wykonać wybór symptomów użyteczny może być obiekt klasy SYMPTOM_OB wraz z odpowiednio skonfigurowaną procedurą wyszukiwania zawartą w klasie ALG_GEN.

BAZA_OB, czyli bank danych powinien zawierać dane empiryczne w postaci np. szeregów czasowych, dotyczące modelowanego systemu diagnostycznego. Dane te mogą być wykorzystywane do określania parametrów badanych obiektów, parametrów i związków funkcjonalnych pomiędzy zmiennymi modelu. Bank metod z kolei winien obejmować dostępne procedury i funkcje matematyczno-statystyczne, które są niezbędne do obróbki danych empirycznych, w przypadku szacowania struktury i parametrów modelu, jak również walidacji modeli.



Rys.3 Warstwa tematów obiektowego systemu diagnostycznego.

Zadaniem klasy MOD_OB jest obsługa zawartego w systemie symulacyjnym banku modeli oraz banku metod. Identyfikuje ona możliwie proste, podstawowe procedury potrzebne do obliczeń oraz atrybuty danych wejściowych i wyjściowych.

W temacie SZTUCZNA INTELIGENCJA istnieje klasa ALG_GEN pozwalająca na przeprowadzenie operacji genetycznych. Klasa ta może generować obiekty obliczeniowe o strukturze dopasowanej do wymagań badanego problemu. Dla łatwiejszego posługiwania się systemem symulacyjnym, założono dziedziczenie metod i atrybutów ALG_GEN przez obiekty nazwane zgodnie z ich przeznaczeniem:

OPTYMALIZACJA, STROJ_MODELU (strojenie modelu), WSPOM_DEC (wybór decyzji) itd. Poza klasami implementującymi algorytmy inteligentne, założono istnienie klas pomocniczych, które bezpośrednio działają na rzecz konkretnych obiektów. Ich zadaniem jest dobór parametrów pracy w zależności od struktury przetwarzanych danych. Np. klasa PAR_ALG_GEN ustala długość ciągu kodowego, liczbę generacji, liczbę równoległe przetwarzanych ciągów kodowych, prawdopodobieństwo krzyżowania i mutacji.

Klasa SYNCHRO_OB zawiera scenariusze prowadzenia obliczeń i eksperymentów. Atrybutami tej klasy są listy zdarzeń potrzebnych do wykonania określonego zadania oraz listy dostępnych obiektów. Zrealizowanie zadania sprowadzone zostaje do odpowiedniego wypełnienia listy z podaniem potrzebnych obiektów i chronologicznych zdarzeń. Użytkownik systemu za pośrednictwem INTERFEJS_OB wybiera gotowe szablony czynności zgromadzone w SYNCHRO_OB lub buduje samodzielnie środowisko tworząc scenariusz działania na podstawie listy możliwych do powołania obiektów.

5. BIONIKA ISTNIENIA SYSTEMU

W naukach technicznych od dawna zaczęto podpatrywać naturę po to, aby przenieść niektóre mechanizmy przyrody na grunt techniki.

Człowiek chce budować coraz bardziej doskonałe maszyny, którym można byłoby zlecić wykonanie pracy. Zwłaszcza chcemy zmniejszyć czas tracony na kontrolę stanu maszyn, lokalizację uszkodzeń oraz ich usuwanie. Dobrze by było, gdyby takie mechanizmy były wbudowane w system techniczny i wykonywałyby się automatycznie, czego przykładem jest podejście obiektowe.

Człowiek zmierza do budowania systemów technicznych zawierających takie cechy, które charakteryzują organizmy żywe, m.in. takie jak: samoodtworzenie, samodoskonalenie, samodostrajanie czy samoregeneracja. Są to tylko niektóre cechy samoorganizacji rozumianej jako charakterystyczna zdolność systemów do nieprzerwanego przystosowywania się do zmieniających się wewnętrznych i zewnętrznych warunków ich istnienia oraz nieprzerwanego doskonalenia się zachowania wobec niezmiennych warunków z uwzględnieniem przeszłego doświadczenia. Badanie tych procesów ma nie tylko wartość w biologii, ale także ma praktyczną wartość dla wykorzystania mechanizmów przyrody w tworzeniu systemów technicznych.

Różnorodne formy uczenia się umożliwiają kompensację uszkodzonych elementów, np. uszkodzenie wzroku przez uczenie się, powoduje wyostrenie innych zmysłów. Przez uczenie się, zbieranie informacji o swojej pracy, można będzie w systemach technicznych dopasowywać swoją strukturę i funkcję do danej klasy zadań w ten sposób, żeby korzystać z mniejszej liczby elementów niż na początku, a zaoszczędzone w ten sposób elementy przeznaczyć do rezerwacji, przez co niezawodność systemu wzrośnie.

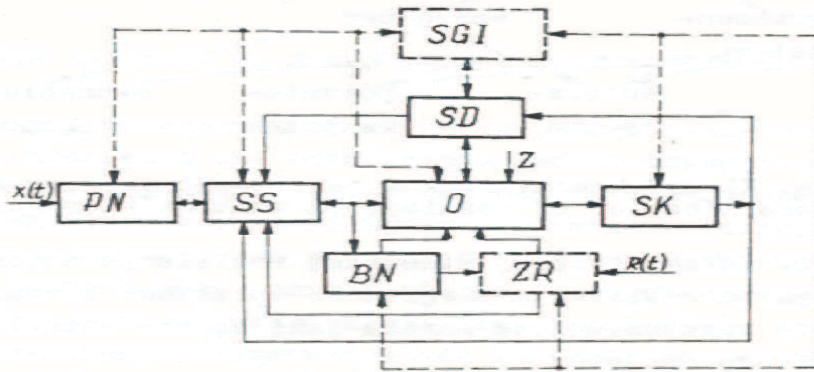
Wydaje się, że wszystkie wymienione rodzaje regeneracji dla organizmów żywych mogą być w przyszłości zastosowane w różnym stopniu do systemów technicznych.

Organizmy żywe czerpią z otoczenia pokarm zawierający cząsteczki niezbędne do tworzenia lub odtwarzania swoich organów. Podobnie system techniczny musi dysponować "pokarmem" czy "środowiskiem", co jest rezerwą gotowych ele-

mentów realizujących określone funkcje logiczne lub sieci złożone z jednakowych elementów, w których automatycznie można usuwać zbędne połączenia drogą np. optyczną, elektryczną, czy działaniem pól fizycznych.

Biorąc pod uwagę różne mechanizmy samoodtworzenia w organizmach żywych oraz obecne i

perspektywiczne możliwości techniczne proponuje się model samoistniejącego systemu, przedstawiony na rys.4. Realizacja tego modelu następuje za pomocą środków programowo – sprzętowych w sposób automatyczny.



Rys.4 Funkcjonalny model systemu bionicznego: O - obiekt (system dyskretny), SK- system kontrolny, SD - system diagnostyczny, SS - system sterujący, PN - pamięć programów naprawy, ZR - zasoby rezerwowe, BN - blok naprawczy, SGI – system gromadzenia informacji, X(t) - wejście do wprowadzania programów naprawy, R(t) - wejście do wprowadzania zasobów rezerwowych, Z – zakłócenia.

Podobnie jak w organizmach żywych, w pewnych warunkach będzie zachodzić inhibicja (zahamowanie) procesów istnienia, a w innych aktywacja. Szczególną rolę w procesach inhibicji i aktywacji ma SGI, który gromadzi doświadczenia o uszkodzeniach, trendach itp. Wobec pewnych uszkodzeń w wyniku doświadczeń może okazać się, że stosowany dany rodzaj ingerencji jest nieopłacalny ze względu na długi czas trwania, co ma poważne następstwa w działaniu ST, np. duże koszty spowodowane nie działaniem, bądź duże przeciążenie dobrych elementów na czas ingerencji powoduje duże ich zużycie. W takich przypadkach może okazać się, że lepiej zastosować inny rodzaj ingerencji, bądź zastosować inne środki techniczne, mimo że np. nie osiągnie się wymaganego poziomu dostępności funkcjonalnej.

6. DESKRYPTORY DIAGNOSTYCZNEGO SYSTEMU ISTNIENIA MASZYN

Do sterowania utrzymaniem maszyn w stanie zdatności funkcjonalnej i zadaniowej nieodzowny jest algorytm sterowania. Powinien on zawierać trzy zasadnicze elementy badań diagnostycznych maszyn:

- badanie i ocenę stanów,
- ustalenie przyczyn zaistniałych stanów,
- przewidywanie rozwoju zmian stanów.

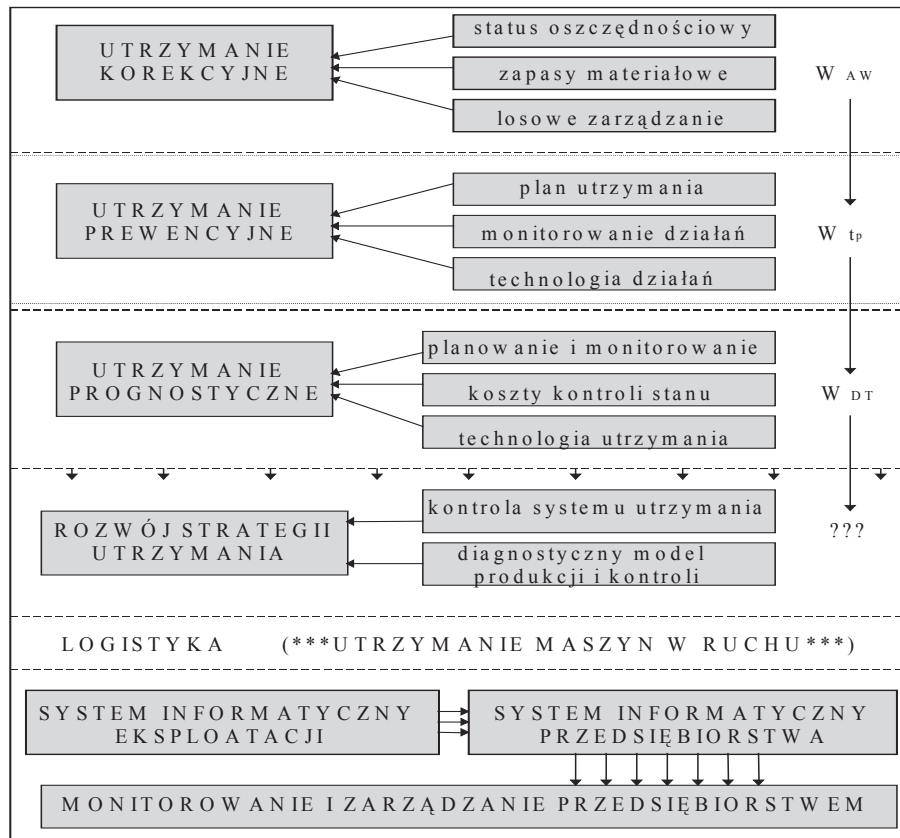
Zasadniczym działaniem jest więc diagnozowanie maszyny. Jeżeli maszyna jest zdalna, konieczne jest prognozowanie jej stanu, co w praktyce sprowadza się do ustalenia terminu kolejnego obsługiwanie maszyny. Następnie wykonuje się niezbędne czynności obsługiwanie (np. smarowanie) i powrót do użytkowania. W przypadku niezdatności maszyny należy ustalić tego przyczynę, usunąć je i powtórnie skontrolować. Następnym krokiem to prognozowanie stanu i w końcu wykonanie dalszych operacji zgodnie z algorytmem.

Budowane na bazie znanych strategii eksploatacji [4,7] systemy utrzymania maszyn w ruchu przedstawiono na rys.5.

Wskaźniki diagnostycznego systemu eksploatacji maszyn

Poprawne funkcjonowanie diagnostycznego systemu eksploatacji maszyn wymaga zrealizowania wielu zadań, organizacyjnych, szkoleniowych i inwestycyjnych. Samo funkcjonowanie systemu diagnostycznego w przedsiębiorstwie, od strony metodyki wykorzystania narzędzi diagnostyki technicznej do bieżącej oceny i prognozowania stanu maszyn wymaga znajomości [3,7,11]:

- symptomów stanu: S_1, S_2, \dots, S_m ;



Rys.5 Podstawowe formy utrzymania maszyn w ruchu.

- wartości granicznych symptomów stanu:

$$S_{gr} = \bar{s} \pm \sigma \sqrt{\frac{P_g}{2A}}; \quad (4)$$

- okresowości badań diagnostycznych:

$$T_D = \frac{(1 - P_g)(S_{gr} - S_m)}{S_m} \theta_m \quad (5)$$

Przedstawione deskryptory diagnostycznego systemu eksploatacji maszyn zostały zdefiniowane i uzasadnione we wcześniejszych pracach autora [3,7,11].

Znajomość stanu technicznego w tak funkcjonującym diagnostycznym systemie eksploatacji (DSEM) jest podstawą podejmowania decyzji eksploatacyjnych: o dalszym użytkowaniu, skierowaniu do obsługiwań technicznych lub do likwidacji. Pozwala to przewidywać niezbędne konieczne zakupy materiałów lub części zamiennych, planować zakres i obciążenie stanowisk naprawczych, jak też prognozować zakupy inwestycyjne.

Efekty ekonomiczne z takiego sposobu eksploatacji są niewspółmiernie wyższe niż w innych

strategiach, co warunkuje powodzenie i ogromne zainteresowanie tym rozwiązaniem.

Podstawowym warunkiem powodzenia tej strategii jest dostępność prostych metod diagnostycznych, najlepiej w konstruowanych w produkowane maszyny, które z kolei są nadzorowane w systemie monitorowania stanu maszyn. Poprawna realizacja tej strategii wymaga skutecznych metod i środków diagnostyki technicznej oraz przygotowanego personelu technicznego. Wymaga też przezwyciężenia nieufności decydentów, co do efektywności takiego sposobu eksploatacji.

7. NOWOCZESNE UTRZYMANIE MASZYN W RUCHU

Monitorowanie stanu maszyn, w aspekcie niezawodności funkcjonalnej (traktowanej jako zdolność maszyny do wykonania zadania) jak i w sensie diagnostyki fizycznej (rozpoznawanie przyczyn zaistniałych uszkodzeń) występuje na poziomie utrzymania maszyn w ruchu. Uwzględniając dostępne literaturowo warianty możliwych strategii eksploatacji maszyn można ich praktyczną przydatność dla wybranego przedsiębiorstwa ocenić przy pomocy **użytkowych wskaźników efektywności**. Dla ich wyznaczenia przyjmuje się, że:

- czas pracy maszyny do uszkodzenia określa funkcja niezawodności [7]:

$$R(t) = P(T_U > t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (6)$$

- oczekiwany czas pracy:

$$P_{RZCP} = \int_0^t R(t) dt \quad (7)$$

- przeciętny rzeczywisty czas pracy (główny dla zadań utrzymania maszyn w ruchu):

$$O_{Cp} = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (8)$$

Pozwala to zdefiniować - współczynnik wykorzystania maszyny WW:

„kryterium jakości strategii”

$$W_w = \frac{P_{RZCP}}{O_{Cp}} \quad (9)$$

Według tego kryterium można dokonać oceny poszczególnych strategii eksploatacji maszyn i dalej ich przydatności w praktyce przemysłowej.

Dla strategii od „awarii do awarii” stosowanej dla uszkodzeń o małych skutkach ekonomicznych i bez następstw zagrożenia bezpieczeństwa: $W_{AA} = 1$. Jest to zatem strategia najbardziej efektywna ekonomicznie, a zadania obsługowo - naprawcze inicjowane są uszkodzeniem.

Dla strategii „według ilości pracy” (obligatoryjna), w której przedsięwzięcia obsługowo-naprawcze są zaplanowane po z góry określonej ilości

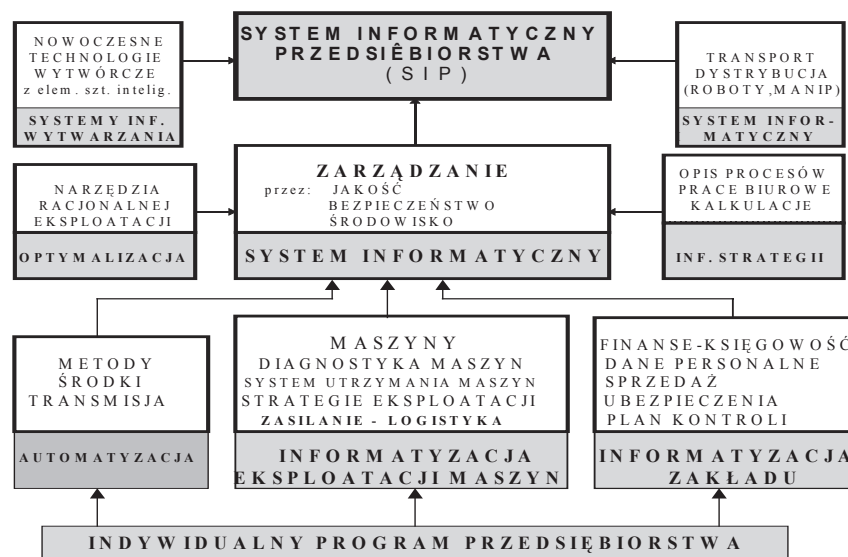
wykonanej pracy (statystyczne oszacowania słabych ogniw i czasu do awarii): $W_{ip} \ll 1$.

Dla strategii „według stanu technicznego”, w której zakres i częstotliwość czynności obsługowo-naprawczych limituje stan techniczny wskaźnik efektywności $W_{DT} < 1$.

Jakościowa analiza tych wskaźników wskazuje, że ich uszeregowanie w postaci: $W_{AA} > W_{DT} > W_{ip}$ preferuje, poza strategią uszkodzeniową, strategię według stanu technicznego. Przedstawione wskaźniki dobrze ilustrują efektywność działań obsługowo-naprawczych w różnych strategiach utrzymania maszyn w ruchu.

Coraz większa ilość informacji wytwarzanej w przedsiębiorstwie w sferach zarządzania, procesów produkcji i procesów pomocniczych wymaga właściwego ich uporządkowania, przetworzenia i redukcji do zakresu niezbędnego dla podejmowania racjonalnych decyzji. Technika komputerowa ogarnęła wszystkie sfery działalności przedsiębiorstwa, a ponadto załamała dotychczasowe podziały i zachwiała istniejącą dotychczas strukturę oraz zmieniła jej otoczenie. Jeżeli już dziś nasze przedsiębiorstwa nie będą w sposób racjonalny adoptować się do zmian, to jutro nie będą uczestniczyć w światowym podziale pracy.

Na rys.6 przedstawiono system informatyczny przedsiębiorstwa, wyróżniając w nim problematykę utrzymania maszyn w ruchu, gdzie problematyka diagnostyki technicznej znajduje swoje wyróżnione miejsce. W takim systemie problematyka monitorowania stanu maszyn i związanych z nią wszystkich problemów cząstkowych jest wkomponowana w strukturę informatyczną przedsiębiorstwa.



Rys.6 System informatyczny przedsiębiorstwa z wyróżnionym zadaniem utrzymania maszyn w ruchu.

8. PODSUMOWANIE

Przedstawione w pracy rozważania dotyczą systemów eksploatacji maszyn oraz przyszłościowych rozwiązań monitorowania i zarządzania środkami trwałymi w przedsiębiorstwie, przy wyróżnieniu zagadnień i obszarów możliwych zastosowań monitorowania stanu i badań diagnostycznych.

Do podstawowych stwierdzeń tego opracowania należy zaliczyć:

1. potrzebę wprowadzania nowoczesnych strategii zarządzania do przedsiębiorstw jako: zarządzanie przez jakość, zarządzanie bezpieczeństwem, zarządzanie środowiskiem;
2. nadrzędną rolę informacji (monitorowanie, badania diagnostyczne) w sterowaniu przedsiębiorstwem;
3. potrzebę nowych technologii w zakresie metod monitorowania i transformacji informacji do decydentów (jaka, ile, kiedy, w jakiej postaci, na jaki szczebel);
4. wyróżnienie zarządzania systemem eksploatacji maszyn w systemie logistycznym zakładu, a w nim miejsca na monitorowanie i badania diagnostyczne (przyszłość DT);
5. potrzebę opracowania dokumentacji funkcjonowania DT w systemie zarządzania jakością, bezpieczeństwem, środowiskiem;
6. konieczność usankcjonowania w PN roli, miejsca i zadań DT w nowoczesnych strategiach zarządzania przedsiębiorstwem.

Od strony badań diagnostycznych pojawia się potrzeba wykorzystania modelowego opisu energetycznego, bezpośrednio odpowiedzialnego za zmiany stanu obiektów. Powstające w ten sposób ewolucyjne modele diagnostyczne winny doskonalić metodologię i wnioskowanie diagnostyczno - eksploatacyjne oraz indywidualizować metody i środki diagnostyki technicznej.

LITERATURA

1. Cempel C.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa 1982.
2. Michalski R.: Pokładowe systemy nadzoru maszyn ze sztuczną inteligencją. Wydawnictwo ART., Olsztyn 1997.
3. Niziński S., Żółtowski B.: Informatyczne systemy zarządzania eksploatacją obiektów technicznych. ISBN – 83-916198-0-X, Olsztyn-Bydgoszcz, 2001 s.334.
4. Niziński S., Żółtowski B.: Zarządzanie eksploatacją obiektów technicznych za pomocą rachunku kosztów. ISBN – 83-916198-0-X, Olsztyn-Bydgoszcz, 2002.
5. Uhl T. ii: New trends in design of monitoring and diagnostic systems. ZEM,Z.3, vol.38, 2003 pp.133-144.

6. Uhl T., Batko W.: Wybrane problemy diagnostyki maszyn. CCATIE, Kraków 1996.
7. Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. ATR. Bydgoszcz. 1996 (s.467).
8. Żółtowski B., Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji maszyn. ISBN – 83-916198-3-4, Bydgoszcz-Sulejówek, 2002 s.250.
9. Żółtowski B.: Badania dynamiki maszyn. ISBN – 83-916198-3-4, Bydgoszcz, 2002 s.335.
10. Żółtowski B., Niziński S.: System informatyczny eksploatacji pojazdów mechanicznych. Wyd. PWSZ, Piła 2004 s.234.
11. Żółtowski B., Tylicki H.: Wybrane problemy eksploatacji maszyn. Wyd. PWSZ, Piła 2004 s.214.



Prof. dr hab. inż. Bogdan ŻÓŁTOWSKI, prof. zw. ATR w działalności naukowej zajmuje się problemami dynamiki maszyn, wibrodiagnostyki, diagnostyki technicznej, metrologii i eksploatacji pojazdów. Ma w swoim dorobku ogólnie około 320 publikacji, w tym 19 pozycji zwartych (własne i współautorskie), 41 publikacji naukowych, 155 publikacji naukowo-technicznych i konferencyjnych oraz 45 opracowań naukowo-technicznych. Jest członkiem Instytutu Badań Nieniszczących NDT (Anglia), członkiem Sekcji Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk (od 1989r.), członkiem Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej, członkiem Zespołu Diagnostyki SPE KBM PAN. Jest także redaktorem działowym Diagnostyki Technicznej w Zagadnieniach Eksploatacji Maszyn PAN, członkiem Rady Programowej wydawnictwa PTDT – *DIAGNOSTYKA* oraz członkiem Oddziału PAN w Lublinie. Wypromował 7 doktorów nauk technicznych oraz kilkudziesięciu absolwentów studiów magisterskich i inżynierskich.