



prof. zw. dr hab. inż. Bogdan Żółtowski
UTP Bydgoszcz

Wielokryterialne badania systemu transportowego

Wprowadzenie

Systemy techniczne o coraz wyższym stopniu automatyzacji, unifikacji i integracji modułowej stwarzają szereg nowych problemów natury technicznej, organizacyjnej i ekonomicznej, szczególnie na etapie ich eksploatacji. Jednym z tych problemów jest utrzymanie wysokiej gotowości technicznej maszyn, tzn. utrzymanie ich w stanie zdatności do wykonania przewidzianych zadań zgodnie z przeznaczeniem i aktualnymi możliwościami technicznymi.

Traktując eksploatację maszyn jako główny etap weryfikacji ich przydatności i spełniania oczekiwań społecznych, coraz częściej na tym etapie prowadzi się intensywne badania poprawności działania maszyn w odpowiednio sformalizowanych strukturach eksploatacji.

Zagadnienia poprawnego wykorzystania informacji do bezdemontażowej oceny stanu maszyn krytycznych, zagrożenia bezpieczeństwa oraz zagrożeń środowiska stanowią o problematyce realizowanego projektu POIG, gdzie do zagadnień głównych należą: badanie dynamiki konstrukcji (eksperymenty identyfikacyjne), ewolucja zmian stanu maszyny, rozpoznawanie stanu maszyny (do modułu), opracowanie kryteriów zagrożenia bezpieczeństwa i środowiska, optymalizacja dostępnych rozwiązań oraz praktyczne aspekty monitorowania zmian stanu modułów maszyny (dedykowane systemy diagnostyczne).

Celem projektu *Techniki wirtualne w badaniach stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn - WND-POIG.01.03.01-00-212/09* jest wykorzystanie technik wirtualnych w budowie nowoczesnych systemów zarządzania i eksploatacji maszyn. Efektem końcowym przedstawionego projektu powinno być opracowanie metodyki budowy dedykowanych systemów monitorowania stanu oraz oceny zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska użytkowanych maszyn oraz opracowanie narzędzi do realizacji tych zadań. Zakres merytoryczny przedstawionego projektu skupia się szczególnie na problematyce wykorzystania nowoczesnych narzędzi wirtualnych w monitorowaniu stanu bezpieczeństwa, zagrożeń środowiska oraz oceny zmian stanu technicznego maszyn krytycznych.

Rozwój technik wirtualnych umożliwia wiele nowych rozwiązań w zakresie modelowania, symulacji oraz pozyskiwania i przetwarzania informacji diagnostycznej, które w realizacji projektu POIG są główne w obszarze realizowanych eksperymentów. Niektóre z



tych możliwości sygnalnie i przykładowo przedstawiono w tym artykule, a dotyczy to przetwarzania sygnałów, optymalizacji statystycznej wyników i wnioskowania diagnostycznego.

1. Badania jakości maszyn

Zadania systemowe

System jest to zbiór elementów powiązanych ze sobą relacjami w taki sposób, że stanowią one całość zdolną do funkcjonowania w określony sposób.

Analiza systemowa jest szczególnie przydatna do złożonych zadań w szybko zmiennym otoczeniu, typowym dla naszych czasów. Ma na celu określenie pożądanego działania lub linii postępowania przez rozpoznanie i rozważenie dostępnych wariantów oraz porównanie ich przewidywanych następstw. Wymaga jasnego określenia granic badanego systemu i jego części składowych. Zasadniczo analiza taka może być prowadzona na modelu, może być czysto intuicyjna, czy też formalna - zależnie od możliwości. Oto poszczególne kroki analizy systemowej w zastosowaniu do wygenerowanych poprzednio wariantów rozwiązań systemu:

- studium wykonalności systemu, można podzielić na badanie wykonywalności fizycznej, technicznej oraz czasowo - ekonomicznej.
- studium akceptowalności systemu, pod względem prawnym, pracowniczym, gospodarczym i socjalnym.
- studium własności systemu - czy zapewnione są podstawowe własności wariantów systemu.
- studium funkcjonalności, upewniające o spełnieniu podstawowych celów operacyjnych i obsługowych systemu i jego elementów.
- analiza struktury systemu, wykrycie właściwej struktury zapewniającej wykonanie celów systemu.

Metodyka badań ewolucji stanu modułowo konstruowanych systemów technicznych metodami inżynierii wirtualnej zaproponowana w tym projekcie (w ujęciu badań systemowych) obejmuje [12,15]:

- modelowe opracowanie zasad ewolucji stanu systemów technicznych (systemów modułowych oraz ewolucji procesów uszkodzeń),
- opracowanie i adaptacja procedur rozpoznawania stanu badanych modułów narzędziami inżynierii wirtualnej (FEM, BEM, MATLAB, SIMULINK, systemy ekspertowe, sieci neuronowe, data mining, zbiory rozmyte, szare systemy, optymalizacja, programowanie genetyczne i ewolucyjne),



Logistyka - nauka

- modelowanie diagnostyczne degradacji modułów badanych systemów technicznych (modele symptomowe, holistyczne),
- weryfikację opracowanego systemu narzędzi kształtowania jakości obiektów technicznych w proponowanych systemach utrzymania zdolności – diagnostyczny system eksploatacji maszyn - w aplikacji praktycznej wybranych przedsiębiorstw (FMEA, TPM, QFD, Kansei),
- opracowanie miar dla badań systemów technicznych w aspekcie efektywności funkcjonalna i ekonomiczności, bezpieczeństwo oraz analizy ryzyka technicznego,
- praktyczne wskazania procedur stosowania inżynierii wirtualnej w obszarach życia obiektów (diagnostyka, niezawodność, projektowanie, konstruowanie, technologia wytwarzania, eksploatacja, bezpieczeństwo, ochrona środowiska),
- opracowanie zasad wdrażania dokonań projektu w praktycznych przykładach zastosowań,
- opracowanie książkowe (zbiorowe) z zakresu projektu.

Przedstawione zamierzenia wsparte wieloma specyficznymi i szczegółowymi zagadnieniami, sygnalizowanymi w materiałach tego artykułu umożliwić powinny monitorowanie ewolucji stanu na poziomie modułów maszyn, z jednoczesnym wyznaczeniem wielu wartości miar niezawodności i jakości eksploatacji (potrzeby użytkowników), koniecznych i możliwych do wyznaczenia w oparciu o „dobre” sygnały diagnostyczne.

W tym obszarze przewiduje się wykorzystanie wielu metod opracowania statystycznego wyników badań, takich jak: OPTIMUM, PCA, BEDIND, SVD, metody wyznaczania relacji przyczynowo-skutkowych, wybrane metody sztucznej inteligencji, z których zostanie dodatkowo zaimplementowany system do opracowania wyników badań diagnostycznych.

Efektem końcowym przedstawionego projektu powinno być ***opracowanie metodyki budowy dedykowanych systemów monitorowania stanu oraz oceny zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska ze strony użytkowanych maszyn krytycznych*** oraz ***opracowanie narzędzi wirtualnych do realizacji tych zadań***. Wymiernym efektem realizacji przedstawionego projektu będą prace dysertacyjne członków zespołu badawczego, publikacje konferencyjne i opracowanie książkowe.

Treści merytoryczne projektu wpisują się w każdą z organizacji gospodarczych, mające określony system zarządzania, który spełnia jej wymagania w zakresie realizacji przyjętej strategii. Jest to szczególnie istotne dla takich 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 ruchu, naprawy, przeglądy) [3,6.7].

Badania systemowe dotyczą głównie jakości racjonalnie zbudowanych systemów eksploatacji, gdzie realizuje się wiele funkcji:

- prowadzi klasyfikację i ewidencję wszystkich środków trwałych,
- proponuje podstawowe wskaźniki techniczno-ekonomiczne,
- nadzoruje eksploatację środków trwałych,
- analizuje dane z monitoringu i podejmuje decyzje,
- wnioskuję 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 zamiennie i materiały potrzebne do napraw,
- wnioskuję i uzasadnia leasing, wnioskuję 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 eksploatacji można określić, jakie grupy danych powinny do niego wpływać, jak również dane jakie on generuje.

Współczesne maszyny określane są takimi cechami jak: **funkcjonalność, niezawodność, gotowość, bezpieczeństwo, mobilność i podatność eksploatacyjna**. Kształtowanie i utrzymanie tych cech jest możliwe metodami diagnostyki technicznej, która umożliwia: 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**, która imiennie wskazuje na twórcę i odpowiedzialnego za wytwór. 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 swój wytwór własnym serwisem obsługowym w czasie eksploatacji, a także wyposaża obiekty w środki diagnostyczne (najlepiej automatyczne).



Użytkownicy maszyn są zainteresowani ich zdatnością, dla określenia której należy [4,12,15]:

- 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 wybiórczo omówione poniżej, przy czym szczegółowy ich opis można znaleźć w pracach autora [6,7].

Zadania operacyjne

Badania operacyjne - dyscyplina naukowa związana z teorią decyzji pozwalająca wyznaczyć metodę i rozwiązanie określonych problemów związanych z podjęciem optymalnych decyzji. Badania operacyjne to zbiór metod matematycznych i statystycznych, obejmujących m. in.: programowanie matematyczne, zagadnienie transportowe, algorytmy sieciowe, zarządzanie projektem, teoria zapasów, teoria kolejek, łańcuch Markowa, analiza szeregów czasowych, metody gradientowe.

Badania operacyjne zaczęto z powodzeniem stosować do sprawnego zarządzania w przemyśle oraz w inżynierii utrzymania stanu zdatności maszyn.

Proces zużywania się obiektu zazwyczaj nie jest jednowymiarowy, a wymiar przestrzeni uszkodzeń rośnie wraz ze stopniem skomplikowania konstrukcyjnego maszyny. Zwiększa to radykalnie wymiarowość wektorów stanu, wektorów sygnałów oraz zakłóceń. Informacja diagnostyczna możliwa do pozyskania w badaniach stanu staje się nadmiarowa, skomplikowana wymiarowo i trudna do przetwarzania.

Dostępna już wielowymiarowa reprezentacja symptomowa stanu technicznego obiektu w badaniach programowanych oraz możliwość ekstrakcji tej informacji on - line, stwarza nowe perspektywy w diagnozowaniu obiektów. Dotyczy to w szczególności nowych lub modernizowanych konstrukcji i nowych uruchomień obiektów innowacyjnych, bez żadnych doświadczeń eksploatacyjnych.

2. Pozyskiwanie i przetwarzanie informacji



W praktycznych zastosowaniach przygotowanie wstępne pozyskanych z pomiarów danych jest bardzo istotnym etapem w klasyfikacji danych mającym wpływ zarówno na efektywność rozróżniania stanów, szybkość i łatwość budowy oraz uczenia modelu przyczynowo - skutkowego, jak również na jego późniejszą generalizację [1,2,4,6,12,14,15].

Zarejestrowany sygnał czasowy badanego procesu przeniesiony do arkusza Excel jest podstawą do dalszego przetwarzania, np. w dziedzinie czasu, częstotliwości i amplitud, dając wiele miar umożliwiających dekompozycję sygnału wyjściowego na sygnały poszczególnych rozwijających się uszkodzeń. Na proces decyzyjny składa się ciąg operacji od momentu zdobycia informacji o stanie maszyny, przez jej gromadzenie i przetwarzanie, aż do momentu wyboru i przekazania ustalonej decyzji do realizacji.

Wstępne przetwarzanie danych

Transformacje danych

Analizowanie danych doświadczalnych związane jest z występowaniem różnego rodzaju skal pomiarowych, które mogą być symboliczne lub też numeryczne. Systemy przetwarzania informacji diagnostycznej charakteryzują się tym, że najczęściej wszystkie cechy opisujące analizowane obiekty muszą być numeryczne.

W przypadku modeli klasyfikacyjnych używających odległości jako miary podobieństwa bardzo często zdarza się, że poszczególne cechy charakteryzują jakiś stan fizyczny na podstawie różnych wielkości fizycznych, mających różne zakresy wartości, przez co mogą mieć one różny wpływ na odległość. Zastosować tu można kilka transformacji ujednolicających wpływ poszczególnych cech do wartości odległości. Do najbardziej znanych należy normalizacja oraz standaryzacja.

Normalizacja

$$X_N = \frac{x_i - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (1)$$

gdzie: $x_{i\max}$ jest maksymalną wartością występującą w zbiorze dla i-tej cechy, $x_{i\min}$ minimalną wartością dla i-tej cechy.

W wyniku normalizacji otrzymuje się wektory, których wartości cech są z zakresu [0,1].

Transformacja ta nie uwzględnia rozkładu wartości danego symptomu, w związku z tym w przypadku wystąpienia kilku symptomów posiadających wartości znacznie różniące się, w wyniku normalizacji następuje ściśnięcie większości wartości w bardzo wąskim przedziale.



Standaryzacja

$$X_s = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i(x)}; \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_j x_j^i$$

$$\sigma_i(x) = \frac{1}{n-1} \sum_j (x_i^j - \bar{x}_i)^2 \quad (2)$$

W wyniku tej transformacji otrzymuje się symptomy, których wartość średnia $\bar{x}=0$, natomiast odchylenie standardowe $\sigma=1$, dzięki czemu wszystkie symptomy mają jednakowy wkład co do wartości informacji.

Stała precyzji – uwzględnia zakres zmienności i wartość średnią mierzonych parametrów oraz zapewnia bezwymiarowość, zgodnie z zależnością:

$$p_i = \frac{\bar{x}_i}{w_i} \quad (3)$$

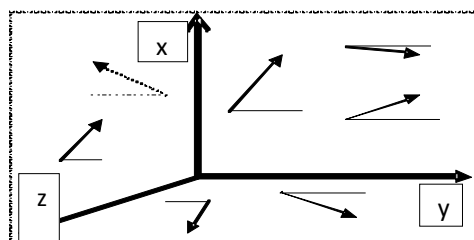
Wrażliwość symptomów w_i wraz z wartością średnią ujęte w jedną liczbę zapewniają bezwymiarowość i oceniają zakres zmienności pojedynczego symptomu:

$$w_i = \frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{\bar{x}_i} \quad (4)$$

Zadbanie o możliwość wzajemnego, porównywalnego wagowo - rozważania dalszego pozyskanych z pomiarów danych, to jeden z ważnych i niezbędnych już na początku kroków do zrealizowania.

Metoda punktu idealnego - OPTIMUM

Mierzone sygnały diagnostyczne w różny sposób odwzorowują przestrzeń obserwacji, a pośrednio rozwój uszkodzeń w maszynie - rys.1. Korzystając z technik optymalizacyjnych można w oparciu o pomiary odległości od punktu idealnego scharakteryzować wrażliwość mierzonych symptomów na zmiany stanu. Rozróżnienie uszkodzenia jest możliwe po rzutowaniu symptomów składowych na odpowiednie osie: x , y , z .



Rys.1. Wielowymiarowa przestrzeń obserwacji



Logistyka - nauka

Przedstawiony poniżej algorytm umożliwi ocenę statystyczną pojedynczo opracowywanych symptomów diagnostycznych, dając w efekcie końcowym listę rankingową ich wrażliwości i przydatności. Kolejne kroki takiego postępowania to [12,15]:

1. Stworzenie macierzy obserwacji z mierzonych symptomów: $s_1, s_2, s_3, \dots, s_m$;

2. Ocena statystyczna mierzonych symptomów dla różnych stanów za pomocą różnych kryteriów, np.:

- zmienność symptomów:

$$f_1 = \frac{S_j}{\bar{y}} \quad (5)$$

gdzie: S_j - odchylenie standardowe, \bar{y} - wartość średnia.

- ocena wrażliwości symptomu na zmiany stanu:

$$w_i = \frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{\bar{x}_i} \quad (6)$$

- skorelowanie symptomów ze stanem technicznym (współczynnik korelacji symptom - stan):

$$f_2 = r(x,y); \quad r_{xy} = \frac{1}{n-1} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_r)(y_i - \bar{y}_r)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (7)$$

Dla łatwości rozważań i możliwości prezentacji wyników na płaszczyźnie dwa wybrane wskaźniki jakościowe są wystarczające.

3. Dokonując dalej maksymalizacji i normalizacji przyjętych wskaźników jakości sygnałów otrzymuje się charakterystyki statystyczne ich wrażliwości (f_1^* , f_2^*), co pozwala wyznaczyć współrzędne punktu idealnego.

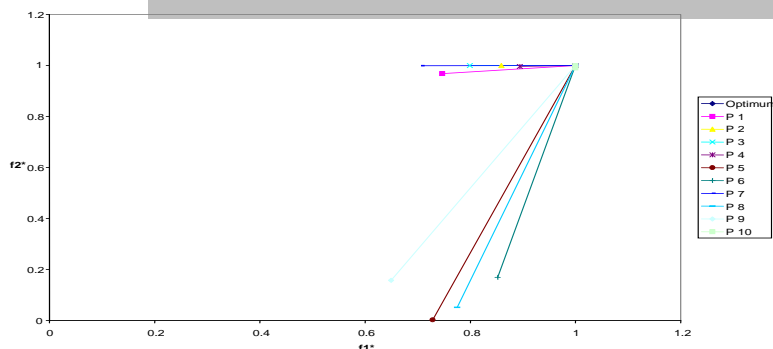
3. Wyznaczenie odległości poszczególnych miar sygnału od punktu idealnego, zgodnie z zależnością:

$$L = \sqrt{(1 - f_1^*)^2 + (1 - f_2^*)^2} \quad (8)$$

5. Ogólne współczynniki wrażliwości (wagi) dla każdego badanego sygnału są wyznaczone z zależności:

$$w_i = \frac{1}{\frac{1}{L_i} \cdot \sum_{i=1}^n L_i}, \quad \text{gdzie: } \sum w_i = 1 \quad (9)$$

Przedstawiony algorytm można łatwo zrealizować w programie Excel, uzyskując uszeregowanie jakościowe mierzonych symptomów. Na rys.2 przedstawiono końcowy wynik działania opisanego procedury dla przykładowych danych pomiarowych.

Rys.2. Wynik działania metody punktu idealnego - *OPTIMUM*

Punkty odległości poszczególnych miar od punktu idealnego (1,1) wskazują na wrażliwość ocenianych miar sygnału, przy czym punkty leżące najbliżej (1,1) to najlepsze symptomy.

Mając wyróżnione statystycznie dobre symptomy można na nich budować modele przyczynowo - skutkowe na etapie wnioskowania o stanie. Jakość modelu zależy tu jednak od liczby uwzględnianych miar, co pośrednio w najprostszych modelach regresyjnych można oceniać współczynnikiem determinacji R^2 .

Wielowymiarowa obserwacja systemu - SVD

SVD (Singular Value Decomposition) jest procedurą numeryczną dla wielowymiarowego śledzenia zmian stanu obiektu. Wykrywa rozwijające się uszkodzenia i dokonuje wyboru maksymalnie informacyjnych symptomów stanu w danej sytuacji [4,12].

Każdy złożony obiekt mechaniczny pracujący w czasie $0 < \theta < \theta_b$, ewolucyjnie rozwija kilka niezależnych **uszkodzeń**, $F_t(\theta)$, $t=1,2,..,u$, których rozwój można uchwycić przez obserwację wektora symptomów stanu technicznego; $[s_m] = [s_1,..,s_r]$, o różnej naturze fizycznej. Dla śledzenia zmian stanu obiektu wykonuje się kilkadziesiąt równo odległych odczytów wartości wektora w czasie; θ_n , $n=1,..,p$, $\theta_p \leq \theta_b$. W ten sposób otrzymuje się kolejne wiersze symptomowej macierzy obserwacji (SOM). Po wycentrowaniu (odjąć) i znormalizowaniu do wartości początkowej $S_m(0) = S_{0m}$ danego symptomu otrzymuje się bezwymiarową symptomową macierz obserwacji:

$$O_{pr} = [S_{nm}], \quad S_{nm} = \frac{S_{nm}}{S_{0m}} - 1 \quad (10)$$

gdzie: pogrubienie oznaczenia symbolizuje pierwotne wymiarowe wartości symptomów.



Tak więc dla opisu życia systemu mamy bezwymiarową macierz obserwacji O_{pr} o r - kolumnach wynikających z liczby obserwowanych symptomów i p wierszach wynikających z łącznej liczby kolejnych obserwacji. Do tej bezwymiarowej macierzy obserwacji zastosujemy procedurę rozkładu względem wartości szczególnych SVD, jak niżej[4,12]:

$$O_{pr} = U_{pp} * \Sigma_{pr} * V_{rr}^T, \quad (11)$$

gdzie: (T- transpozycja) U_{pp} to p - wymiarowa ortogonalna macierz lewostronnych wektorów szczególnych, a V_{rr} to r - wymiarowa ortogonalna macierz prawostronnych wektorów szczególnych oraz w środku - diagonalna macierz wartości szczególnych Σ_{pr} o własnościach:

$$\Sigma_{pr} = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_l), \text{ przy: } \sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_u > 0 \quad (12)$$

oraz: $\sigma_{u+1} = \dots = \sigma_l = 0$, $l = \max(p, r)$, $u = \min(p, r)$.

Oznacza to, że spośród r - mierzonych symptomów można uzyskać tylko $u \leq r$ niezależnych informacji o rozwijających uszkodzeniach. Taki rozkład SVD macierzy obserwacji możemy prowadzić po wykonaniu każdej obserwacji; $n = 1, \dots, p$, i w ten sposób śledzić ewolucję uszkodzeń $F_t(\theta_n)$ w obiekcie.

Jedno uszkodzenie F_t może opisywać para nowych wielkości; SD_t oraz σ_t . Pierwszy to uogólniony symptom uszkodzenia t , co można nazwać dyskryminantą tego uszkodzenia i można ją otrzymać jako iloczyn prawostronny macierzy obserwacji i wektora v_t [4]:

$$SD_t = O_{pr} * v_t = \sigma_t * u_t \quad (13)$$

Ponieważ wektory v_t i u_t unormowane są do jedności, to długość wektora SD_t równa jest jego normie energetycznej i wynosi:

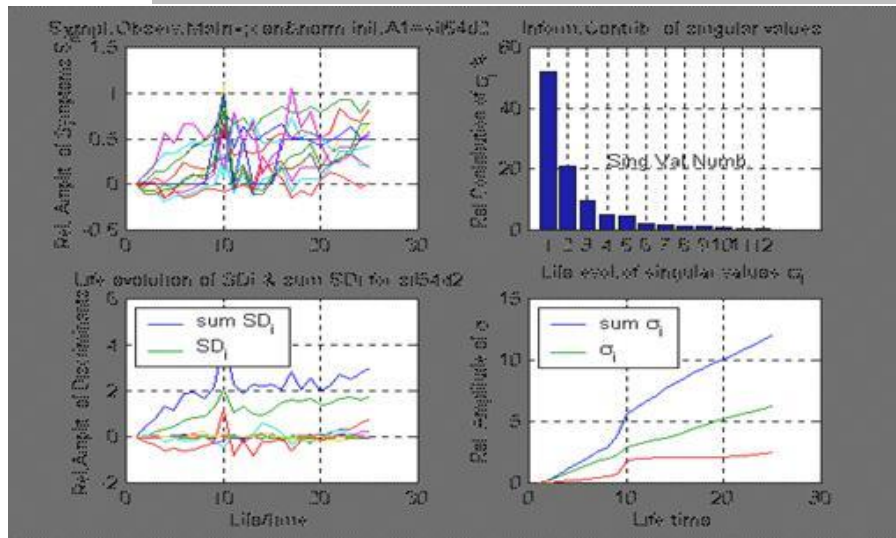
$$\text{Norm}(SD_t) \equiv \|SD_t\| = \sigma_t \quad (14)$$

Zatem dla zadanego czasu życia θ zaawansowanie zużyciowe uszkodzenia F_t może być odzwierciedlone przez wartość szczególną $\sigma_t(\theta)$, natomiast chwilowa jego ewolucja przez dyskryminantę $SD_t(\theta)$. Postuluje się równoważność nowych miar uzyskanych z SVD do charakterystyk przestrzeni uszkodzeń, w całym czasie życia θ obiektu:

$$SD_t(\theta) \sim F_t(\theta), \text{ z normą } |F_t(\theta)| \sim |SD_t(\theta)| = \sigma_t(\theta) \quad (15)$$

$SD_t(\theta)$ można by również nazwać profilem uszkodzenia, natomiast $\sigma_t(\theta)$ jego zaawansowaniem. Na rys.3 zobrazowano ideę SVD.

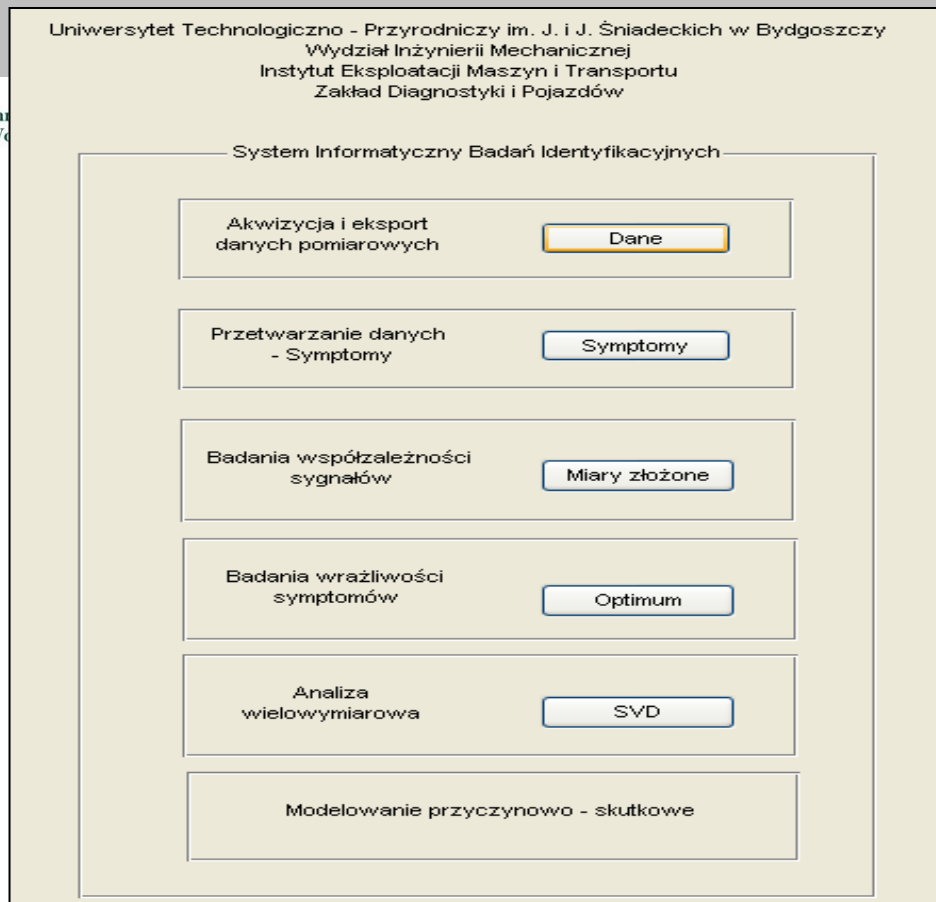
Przykładem zastosowania tych rozważań jest obserwacja diagnostyczną trakcyjnego 12 cylindrowego silnika Diesla, gdzie w jednym wybranym punkcie wykonywano co $\Delta\theta = 10$ tys. km pomiary kilkunastu symptomów drganiowych w całym cyklu życia. W sumie mierzono amplitudy 3 przyspieszeń, 3 prędkości, 3 przemieszczeń, 3 częstości Rice'a.



Rys.3 SVD w zastosowaniu do badań silników [4]

Jak widać z lewego górnego obrazka 3 mierzonych symptomów tworzy gęstwinę informacji, która jednak po przetworzeniu przez SVD jest łatwo dekodowana na dwa główne rodzaje uszkodzeń, bo σ_1 i σ_2 to ca 50% i 20% ogółu informacji diagnostycznych w macierzy obserwacji (obrazek prawy górny) mierzonej jako iloraz wartości danego σ_i do sumy wszystkich wartości szczególnych. Do tego pierwsze uszkodzenie SD_1 (lewo dół) prawie monotonicznie rośnie, natomiast drugie jest niestabilne i zaczyna rosnać po dwudziestym pomiarze (200tys. km), jak to widać również z przebiegu intensywności uszkodzenia σ_2 w prawym dolnym rogu rys.3.

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. Główne okno dialogowe programu przedstawiono na rysunku 4 [12,14,15].



Rys 4. Główne okno dialogowe programu SIBI

3. Dedykowane systemy eksploatacji

Rozwiązanie zadania głównego w zakresie badań projektu stwarza możliwości budowy dedykowanych systemów eksploatacji, uwzględniających badania stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn [12,15].

Ustalone w badaniach operacyjnych związki pomiędzy cechami stanu a parametrami sygnałów stanowią podstawę budowanych modeli ocenowych. Z relacji zachodzących pomiędzy nimi wyznaczone są wszystkie niezbędne wielkości kryterialne dla systemu oceny bezpieczeństwa, komfortu i zmian stanu technicznego badanego systemu.

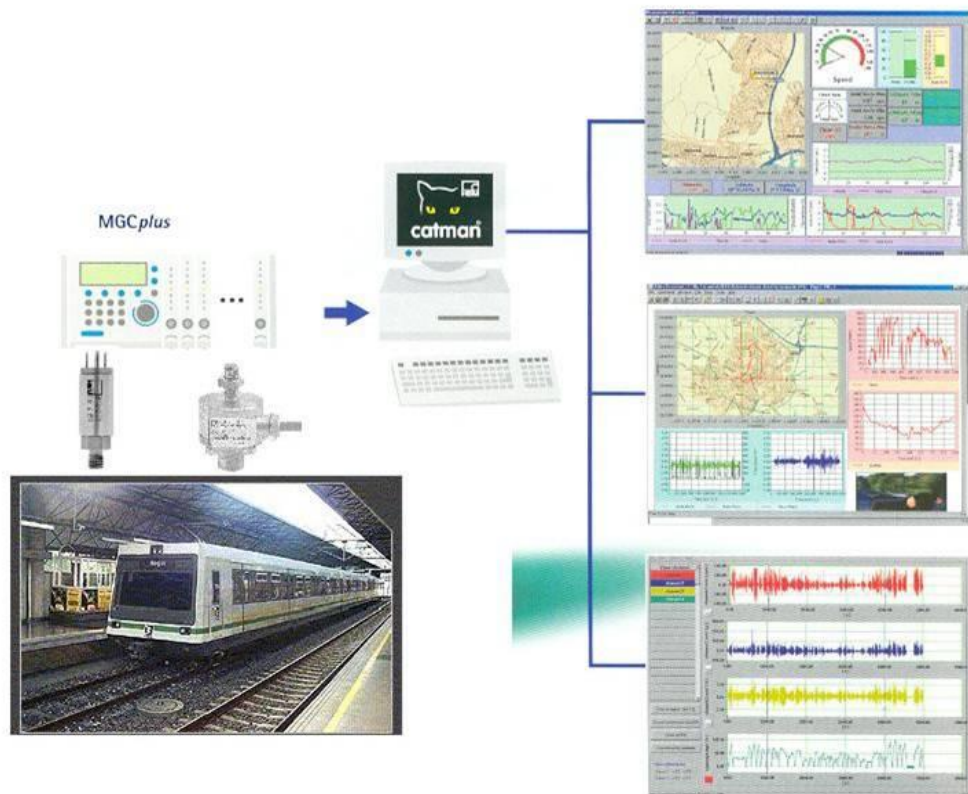
Wypracowane elementy postępowania metodycznego w zakresie zadań projektu zweryfikowano częściowo na grupie 17 pociągów, zgodnie z wymogami normy międzynarodowej UIC - 518, która opisuje warunki pracy pojazdów szynowych do badania bezpieczeństwa i komfortu jazdy, takie jak: prędkość pojazdu, stan szyny, stan statyczny i dynamiczny obiektu itd. Ogromna ilość informacji diagnostycznej z badań torowiska, badań hałasowych oraz drganiowych systemu kolejowego poddana została opracowaniu statystycznemu (BEDIND, PCA, SVD, modelowanie relacji przyczynowo-skutkowych) w



Logistyka - nauka

zakresie ekstrakcji informacji użytecznej oraz dla potrzeb wyznaczania podstawowych wskaźników charakteryzujących jakość eksploatacji.

Do badania bezpieczeństwa i komfortu jazdy zainstalowano system monitorowania pozwalający na akwizycję i rejestrowanie danych: przyspieszenie drgań, siły i prędkość jazdy pojazdu. Czujniki przyspieszenia instalowane były na masie zawieszonyj pociągu, tzn. na zestawie oś-koło, rama wózka i wagonie pojazdu. Czujniki sił umieszczone były na wysokości osi wózka napędzającego, a sygnał prędkości był dostarczony z systemu kontroli ruchu jednostki kolejowej. Konfiguracja czujników, metoda próbkowania, filtrowanie i obliczenie statystyczne estymatorów, przeprowadzone były według założeń normy UIC. Pomiar na każdym pojeździe pasażerskim przeprowadzony był w rzeczywistych warunkach eksploatacji, gdzie system monitorowania rejestrował w sposób ciągły dane z różnych przejazdów pociągów (rys.5).



Rys.5 System pomiarowy do oceny bezpieczeństwa i komfortu jazdy

W wyniku implementacji normy UIC-518 powstały raporty dla oceny bezpieczeństwa i komfortu jazdy pojazdów pasażerskich oraz zużycia toru.



Wyniki badań cech stanu technicznego torowiska i wielu parametrów drganiowych i hałasu są rezultatem zastosowania specyficznych procedur i algorytmów diagnostyki technicznej i stały się podstawą do zbudowanego wielokryterialnego systemu oceny bezpieczeństwa i komfortu jazdy pociągów.

Realizacja wszystkich zadań umożliwiła opracowanie i wykonanie przenośnego systemu diagnostycznego, który posiada wszystkie procedury do testowania pojazdów pasażerskich.

Zaproponowany system badań stanu został przystosowany do rzeczywistych warunków eksploatacji i wykorzystuje zarówno zalecane normą UIC-518 jak i nowe estymatory stanu, bezpieczeństwa i komfortu jazdy.

Podsumowanie

Problemy eksploatacji złożonych obiektów technicznych są ciągle rozwijane, a procedury pozyskiwania i przetwarzania informacji są ciągle doskonałe. Zakres badań obejmuje takie zagadnienia, jak: źródła informacji diagnostycznej, sygnały i symptomy diagnostyczne, zasady szczegółowych 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 i od strony informacyjnej, podstaw metod i technik badawczych, modelowania i eksperymentowania w diagnostyce oraz nowoczesnego wnioskowania i zarządzania systemami technicznymi.

Realizacja zadań szczegółowych przedstawionych procedur postępowania pozwoliła na opracowanie wielokryterialnego systemu oceny stanu eksploatowanych maszyn, a także umożliwiła praktyczną weryfikację przydatności wielu rozwiązań teoretycznych.

Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę badań systemu transportowego w aspekcie wymagań środowiskowych. Analiza i synteza problematyki zdatnych i bezpiecznych oraz przyjaznych środowisku maszyn pozwoliła pozyskać projekt badawczy w ramach POIG. Szczegółowa problematyka projektu i wybrane zagadnienia z obszaru pozyskiwania i przetwarzania informacji z realizowanych badań stanowią o treści tego opracowania. Weryfikację opracowanych algorytmów komputerowych oparto na badaniach utrzymania



zdatności złożonych systemów transportu kolejowego, uwzględniając bezpieczeństwo i komfort jazdy oraz oceniając zmiany stanu technicznego.

Multicriteria of investigation of the transport system

Summary

The problems of investigations of transport system in were introduced in aspect of environmental requirements. The analysis and the synthesis of problems concerning safe and friendly machines were discussed in the article.

Literatura

1. Birger I.A.: Technical diagnostics. Nauka, Moscow, 1978, (p.32, in Russian).
2. Cempel C.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa, 1982.
3. Pietrowski H.: Modułowy system organizacji przedsiębiorstwa. PWE Warszawa 1981.
4. Cempel C., Tabaszewski M., Krakowiak M.: Metody Ekstrakcji Wielowymiarowej Informacji Diagnostycznej. Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka, 2003, s.109-118.
5. Giergiel J., Uhl T.: Identyfikacja układów mechanicznych. PWN, Warszawa, 1990.
6. Tylicki H., Żółtowski B.: Terra-technologie eksploatacji pojazdów mechanicznych. Wyd. ATR, Bydgoszcz 2004 s.260.
7. Żółtowski B., Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji maszyn. ISBN – 83-916198-3-4, Bydgoszcz-Sulejówek, 2002 s.250.
8. Żółtowski B.: Badania dynamiki maszyn. MARKAR, Bydgoszcz, 2002 s.335.
9. Żółtowski B., Niziński S.: System informatyczny eksploatacji pojazdów mechanicznych. Wyd. PWSZ, Piła 2004 s.234.
10. Żółtowski B., Tylicki H.: Wybrane problemy eksploatacji maszyn. Wyd. PWSZ, Piła 2004 s.294.
11. Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. ATR, Bydgoszcz, 1996.
12. Żółtowski B., Cempel C. (red.): Inżynieria diagnostyki maszyn. ITE Radom 2005.
13. Żółtowski B.: Metody diagnostyki technicznej w ocenie destrukcji maszyn. Niezawodność Systemów, Szkoła Niezawodności PAN, Szczyrk 2007 s.587-599.
14. Żółtowski B.: Diagnostic system maintenance the ability of machines. Eksploatacja i Niezawodność, Nr 4 (36), 2007 pp.72-77.



15. Żółtowski B, Castañeda L: Monitoreo Multidimensional de la Interfase Vía-Vehículo de un Sistema Ferroviario Congreso Internacional de Mantenimiento – ACIEM – Marzo 2007, Bogotá, Colombia.