

DEDYKOWANY SYSTEM OCENY DEGRADACJI KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH

Mariusz ŻÓŁTOWSKI

Streszczenie: Kształtowanie i ocena jakości degradacji stanu elementów, materiałów, segmentów, maszyn i konstrukcji w budownictwie metodami diagnostyki drganiowej i analizy modalnej wiąże się z koniecznością opracowania dedykowanych systemów diagnostycznych. Wykorzystując dokonania ostatnich lat w zakresie badania rozplywu energii drganiowej w ocenie degradacji materiałów i konstrukcji budowlanych przedstawiono wizję działania dedykowanego systemu degradacji konstrukcji budowlanych. Wykorzystano do tego wielowymiarową diagnostykę stanu degradacji i najnowsze zdobycze technologii informatycznych i sztucznej inteligencji. Może to być system uniwersalny lub specjalizowany do rozpoznawania stanu degradacji określonych konstrukcji.

Słowa kluczowe: degradacja stanu, estymatory drganiowe, ocena stanu, lokalizacja uszkodzeń

1. Wprowadzenie

Konfrontacja zmienionych wymagań i nowych możliwości badawczych (techniki informacyjne) wygenerowała nowe klasy problemów badawczych, zintensyfikowała istniejące, a równocześnie wiele kierunków prac badawczych stało się nieistotne bez możliwości aplikacyjnych, poprzez:

- dostęp do zaawansowanych technologii światowych,
- możliwości zakupu najnowszej generacji urządzeń badawczych,
- możliwości najnowszych aplikacji informatycznych w obszarze hardware'u i software'u,
- dostęp do baz danych i szerokie możliwości powiązań kooperacyjnych.

Procesy destrukcji systemów technicznych w tym obszarze wpływające na bezpieczeństwo ruchu wymuszają potrzebę nadzorowania zmian ich stanu technicznego [1, 2, 3, 4, 10, 12], przy wykorzystaniu dostępnych użytkowo wielu metod mechaniki stosowanej. Metody i środki opisu i badania stanu dynamicznego maszyn są narzędziami nadzorowania stanu technicznego, co jest podstawą podejmowanych decyzji eksploatacyjnych [6, 7, 8, 15]. To wszystko diametralnie zmienia poglądy i dokonania w obszarze wykrywania i nadzorowania zmian stanu obiektów, zaczynając od opisu stanu materii, identyfikacji stanu, wykorzystania drgań w nadzorowaniu stanu, szczególnie w obszarze kształtowania bezpieczeństwa obiektów technicznych. Daje to możliwość nadzorowania zmian i lokalizacji uszkodzeń i minimalizacji skutków uszkodzeń materiałów i obiektów budowlanych [16, 17].

Uogólnione procedury badania własności dynamicznych różnych elementów, maszyn i konstrukcji budowlanych, uwzględniają modelowanie, badania symulacyjne oraz ich weryfikację w badaniach stanowiskowych i eksploatacyjnych. Zagadnienie opisu i badania

zmian stanu destrukcji elementów, materiałów i konstrukcji oraz maszyn budowlanych prowadzi się przy wykorzystaniu miar diagnostyki drganiowej oraz opartych na drganiach metod analizy modalnej. Ocena stanu dynamicznego maszyn i konstrukcji budowlanych za pomocą miar propagacji energii drganiowej, wymaga skojarzenia cech struktury ocenianego obiektu ze zbiorem miar procesów wyjściowych.

Dotychczasowe doświadczenia badawcze stanowią o potrzebie opracowania dedykowanych algorytmów metodyki drganiowego badania destrukcji stanu w budownictwie. Dedykowany algorytm postępowania badawczego podczas analizy rozplywu energii drganiowej w badaniach maszyn i konstrukcji budowlanych winien ujmować:

- akwizycję i przetwarzanie miar energii drganiowej,
- optymalizację jakościową symptomów drganiowych,
- modele związania miar ze stanem degradacji,
- wnioskowanie i prezentację wyników.

W ogólności metodyka badania stanu degradacji maszyn i konstrukcji budowlanych zawiera szczegółowe procedury opracowania: systemu akwizycji danych, ich przetwarzania i wnioskowania statystycznego - powtarzalne w wielu różnych zagadnieniach badania sygnałów drganiowych.

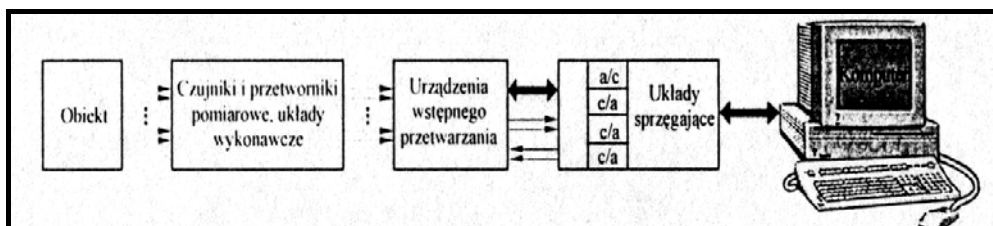
Przedstawiona problematyka znajduje swoje uzasadnienie w drganiowym opisie procesów destrukcji, towarzyszących każdej konstrukcji tuż po jej wytworzeniu, aż do likwidacji. Drganiowe deskryptory stanu dynamicznego umożliwiają tworzenie dedykowanych systemów oceny degradacji zapewniając nowoczesne utrzymanie zdatności [8, 9].

2. Identyfikacja stanu degradacji maszyn i konstrukcji budowlanych

Rzeczywistości techniczna to wynik analizy modeli, które ją mniej lub bardziej poprawnie opisują. Proces, którego celem jest zbudowanie najlepszego modelu operacyjnego (matematycznego lub empirycznego) nazywany jest procesem identyfikacji. W skład jego wchodzi zadania: modelowania, eksperymentu, estymacji i weryfikacji modelu. W wielu badaniach konstrukcji budowlanych pomiar sił wymuszających drgania jest trudny lub wręcz niemożliwy, dotyczy to obiektów o bardzo dużej masie lub sztywności, gdzie zapotrzebowania na energię przy wzbudzeniu ruchu jest zbyt duże, aby można było doprowadzić dysponując klasycznym sprzętem do badań dynamiki strukturalnej. Dla układów liniowych zostały opracowane metody identyfikacji oparte o wymuszenia eksploatacyjne (np. w eksploatacyjnej analizie modalnej), ale dalej brak jest takich metod dla obiektów nieliniowych [11, 13].

Ograniczone możliwości analizy nieliniowych równań różniczkowych skłaniają do stosowania modeli liniowych lub wykorzystania procedur linearyzacji. Istnieje duża klasa obiektów technicznych, które z dopuszczalną dla praktyki dokładnością mogą być reprezentowane przez modele liniowe.

Systemy diagnostyczne posiadają zdolność pobierania i przetwarzania informacji z badanego obiektu - rys.1.



Rys.1. System akwizycji i przetwarzania informacji w identyfikacji konstrukcji

Prowadzone coraz częściej badania identyfikacyjne stanu degradacji konstrukcji wykorzystywane do oceny zmian tego stanu, rozwoju uszkodzeń oraz lokalizacji przyczyn zaistniałego stanu stanowią podstawę do stworzenia przesłanek dedykowanego systemu oceny degradacji. Winien on umożliwiać akwizycję i przetwarzanie danych pomiarowych, tworzenie wielu miar sygnałów drganiowych, badania wrażliwości diagnostycznej, opracowanie statystyczne oraz dedykowane obiektowo wnioskowanie diagnostyczne.

Podstawą budowy dedykowanych systemów oceny degradacji jest wykorzystywany już w wielu badaniach materiałów i konstrukcji budowlanych System Informatyczny Badań Identyfikacyjnych - SIBI [17]. Struktura programu przedstawiona na rys.2 jest konstrukcją modułową zawierającą:

- A. Moduł **READ UNV**, który umożliwia przetwarzanie danych z formatu **UNV** na format **XLS**.
- B. Moduł **SYMPTOMS** umożliwiający zdefiniowanie, wyznaczenie oraz utworzenie macierzy wielu miar procesów drganiowych.

Moduły A i B stanowią część oprogramowania odpowiedzialnego za akwizycję i przetwarzanie procesów drganiowych w celu pozyskania macierzy obserwacji estymatorów drganiowych.

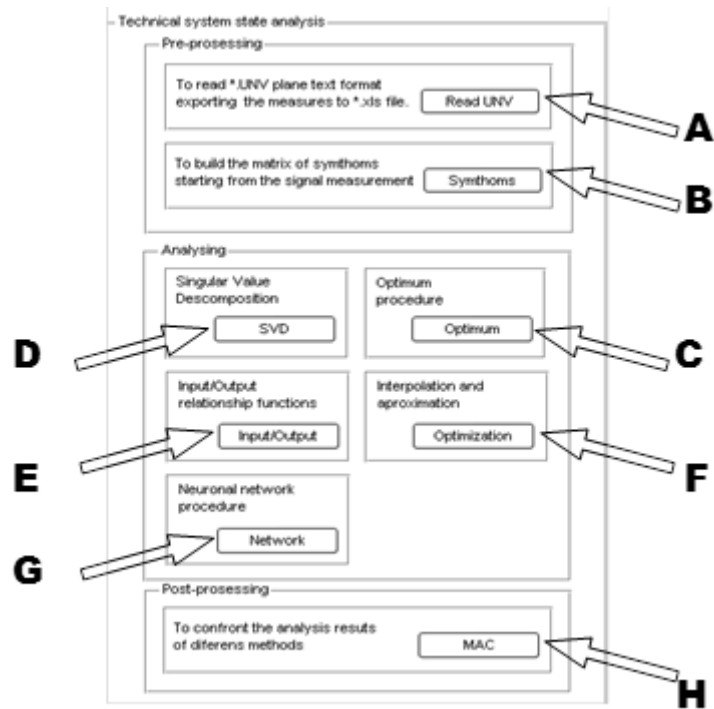
- C. Moduł **OPTIMUM** wykorzystuje metodę punktu idealnego do indywidualnej oceny wrażliwości mierzonych symptomów procesów drganiowych.
- D. Moduł **SVD** używany do wyznaczenia uogólnionych miar uszkodzenia oraz oceny ich rozwoju.
- E. Moduł **INPUT/OUTPUT** stosowany do analizy podobieństw procesów drganiowych oraz do wyznaczania różnych miar eksploatacyjnych badanego obiektu.
- F. Moduł **OPTIMIZATION** wykorzystywany do opracowania modeli i danych w genozowaniu (metodami aproksymacji i interpolacji), diagnozowaniu i prognozowaniu stanów obiektów.
- G. Moduł **NETWORK** wykorzystujący sieci neuronowe do klasyfikacji stanów na bazie otrzymanych wyników w postaci szeregów czasowych.

Moduły C, D, E, F, G są elementami 2 części oprogramowania umożliwiającego przeprowadzenie wnioskowania statystycznego oraz oceny relacji przyczynowo – skutkowych, a także wizualizację otrzymanych wyników.

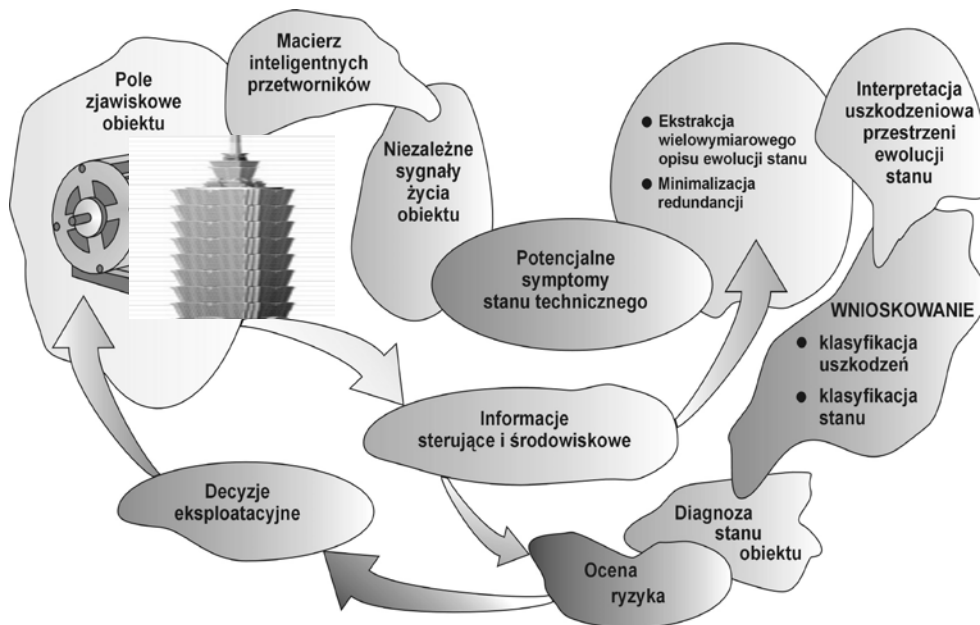
- H. Moduł **MAC** stanowi procedurę umożliwiającą porównanie różnych wektorów rozumianych, jako miary na wejściu i wyjściu systemu.

Program ten jest próbą implementacji oprogramowania dla potrzeb: akwizycji procesów drganiowych, ich przetwarzania, wnioskowania statystycznego i wizualizacji.

Kolejną przesłanką do budowy dedykowanych systemów oceny degradacji są koncepcje Samodzielnego Agenta Diagnostycznego (SAD) - rys.3 - wspierający eksploatację innowacyjnych systemów krytycznych [1, 2, 3].



Rys. 2. Główne okno dialogowe programu SIBI



Rys. 3. Koncepcja agenta diagnostycznego (SAD) dla maszyn i konstrukcji budowlanych [1]

Hardwarowe właściwości sensomotoryczne w postaci przetworników osadzone w polu zjawiskowym krytycznego obiektu, skąd SAD czerpie całą informację o jego ewolucji umożliwiają pozyskiwanie drganiowych symptomów stanu, z których można dalej utworzyć wektor obserwacji diagnostycznej i symptomową macierz obserwacji dla kolejnych wartości czasu życia obiektu. Z macierzy tej przez zastosowanie procedur ekstrakcji informacji (np. PCA, SVD, itp.) i po każdym odczycie wektora obserwacji przeprowadzona jest ekstrakcja uogólnionych symptomów uszkodzeń. We współpracy z lokalną bazą wiedzy wzbogaconą o informacje sterujące i środowiskowe obiektu możliwa jest klasyfikacja jego uszkodzeń i końcowa diagnoza stanu degradacji.

Kolejny etapem pracy SAD jest wypracowanie miary ryzyka dalszej pracy obiektu i podjęcie decyzji eksploatacyjnej wynikającej z oceny stanu degradacji i informacji o obiekcie i środowisku. Tak to może w ogólności przebiegać, ale wobec braku historii podobnych doświadczeń dla obiektów budowlanych istnieje szansa wypełnienia tej misji w trybie samouczenia.

Analiza i synteza stanu wiedzy oraz wyników badań własnych pozwoliła na opracowanie propozycji dedykowanych reguł wnioskowania diagnostycznego w zakresie pozyskiwania i przetwarzania danych dla macierzy obserwacji i wyznaczania testu oceny stanu poprzez oszacowanie przyczyny stanu degradacji konstrukcji. Osiągnięte wyniki umożliwiają także opracowanie pokładowego dedykowanego systemu rozpoznawania stanu degradacji, którego podstawowym narzędziem powinny być reguły wnioskowania diagnostycznego.

3. Charakterystyka systemu rozpoznawania stanu degradacji konstrukcji

Celem działania jest opracowanie systemu rozpoznawania stanu degradacji konstrukcji, który stanowi podstawę do opracowania koncepcji dedykowanego systemu oceny degradacji konstrukcji. Główne założenia takiego systemu są następujące [4,8, 9]:

1. System rozpoznawania stanu degradacji powinien umożliwiać: kontrolę stanu i lokalizację uszkodzeń w przypadku niezdatności konstrukcji oraz określenie przyczyny wystąpienia uszkodzenia.
2. Wymagania, które powinien spełniać system rozpoznawania to: niezawodność; duża prędkość działania; unifikacja; ekonomiczność (niskie koszty produkcji i eksploatacji).
3. System rozpoznawania stanu powinien charakteryzować się: prostym, możliwie optymalnym algorytmem funkcjonowania, uniwersalnością, tzn. możliwościami rozpoznawania stanu konstrukcji różnych typów, automatycznym generowaniem diagnozy, jednoznacznością i czytelnością przedstawiania diagnozy oraz prostotą obsługi.
4. System rozpoznawania stanu powinien spełniać wymagania dotyczące jakości wyrobów zgodnie z obowiązującymi normami.

W tym zakresie w wielu opracowaniach autora [14-19] uzyskano rozwiązanie problemów związanych z wyborem:

- zbioru parametrów diagnostycznych dla różnych czasów istnienia konstrukcji;
- metody wyznaczania stanu degradacji konstrukcji budowlanych w zależności od czasu eksploatacji;
- metod statystycznego przetwarzania informacji dla badań materiałów i konstrukcji budowlanych.

Uwzględniając wyniki badań uznano, że:

- system rozpoznawania stanu degradacji konstrukcji powinien wykorzystywać zbiory parametrów na podstawie analizy wartości ich wag;
- uzupełnieniem powyższego powinno być uwzględnienie parametrów diagnostycznych preferowanych przez użytkownika konstrukcji, np. w aspekcie bezpieczeństwa;
- system rozpoznawania stanu powinien zapewnić kontrolę stanu i lokalizację uszkodzeń konstrukcji.

Etapy opracowania systemu rozpoznawania stanu degradacji obejmują [9]:

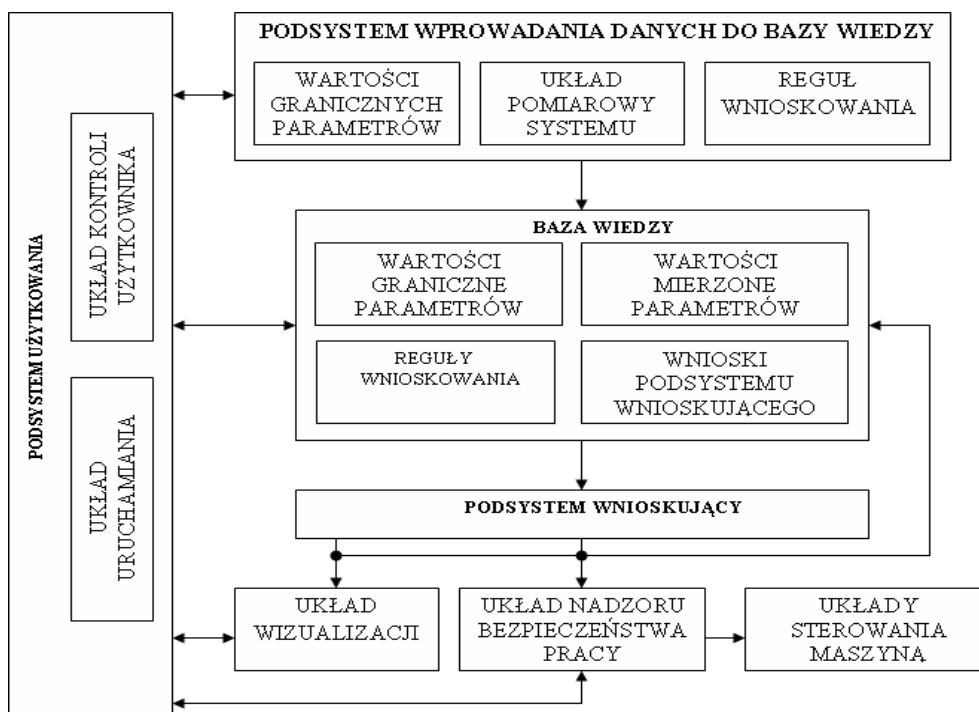
1. analizę przedsięwzięcia – dotyczy analizy potrzeb i możliwych rozwiązań problemu, analizy rachunku ekonomicznego obejmującego budowę systemu, a także analizy wymagań funkcjonalnych, technicznych, informatycznych i ekonomicznych obejmujących relację kosztów wytworzenia i eksploatacji systemu a uzyskanych korzyści w wyniku jego zastosowania;
2. projektowanie systemu – dotyczy określenia architektury mikroprocesora, modułów, interfejsów i innych części składowych oraz oprogramowania w aspekcie spełniania cech użytkowych systemu obejmujących:
 - projekt logiczny – dotyczy logicznych aspektów organizacji systemu oraz procesów i przepływu informacji,
 - projekt funkcjonalny – dotyczy opisu funkcji elementów składowych oraz ich współdziałania,
 - projekt konstrukcyjny – dotyczy opisu struktury elementów systemu (np.: procesora, pamięci, komunikacji, wejść i wyjść, zegara, zasilania);
3. budowę symulatora pracy systemu (komputerowego) – jego celem jest zapewnienie wstępnej oceny pracy systemu przy symulowanych stanach konstrukcji;
4. implementację systemu – celem jest opracowanie i budowa modelu fizycznego spełniającego założone funkcje systemu;
5. zapewnienie jakości systemu – dotyczy testowania programów i badań eksploatacyjnych;
6. wykonanie dokumentacji systemu – obejmujących budowę, wymagania i ograniczenia, funkcjonowanie i procedury obsługowe.

Etapy I – II dotyczą analizy podjętego przedsięwzięcia w aspekcie oceny spełnianych funkcji przez system rozpoznawania stanu odniesionych do poniesionych nakładów na ich realizację. Przyjmuje się, że zastosowanie takiego systemu będzie miało wpływ na eksploatację maszyny oraz że nakłady poniesione na opracowanie i wdrożenie systemu będą miały wpływ na koszty wytworzenia materiałów i konstrukcji. Wszystko to razem powoduje, iż konieczne staje się udzielenie odpowiedzi na pytanie: czy efekty użytkowe wynikające z zastosowania systemu rozpoznawania stanu są zasadne w odniesieniu do oczywistych relacji ekonomicznych?

W nawiązaniu do powyższego istotnym staje się również udzielenie odpowiedzi na pytanie: czy i na ile zmniejszy się zagrożenie bezpieczeństwa ludzi i otoczenia? Można np. przyjąć, że koszt pokładowego systemu diagnostycznego maszyny nie powinien przekraczać (5-8)% jej wartości. Ponadto uwzględniając ciągły wzrost wymagań odnoszących się do produkcji można przyjąć, że zastosowanie w nich systemów rozpoznawania stanu zwiększy ich atrakcyjność.

Etapy III – IV obejmują analizy możliwości wytworzenia systemu rozpoznawania stanu odniesione do relacji: potencjał narzędzi diagnostycznych – założenia techniczno – ekonomiczne. W etapie tym tworzona jest koncepcja systemu rozpoznawania stanu zawierająca projekt logiczny i konstrukcyjny. Projekt odnosi się do podstawowych, elektronicznych układów funkcjonalnych systemu i powinien obejmować moduły: zasilania, wejścia/wyjścia, elektroniki cyfrowo – analogowej, wizualizacji i sygnalizacji, wnioskowania i sterowania. Przyjmuje się, że skonfigurowany według wyznaczonych wymagań system rozpoznawania stanu degradacji powinien działać dwufazowo:

- wstępnie, tj. od momentu włączenia zasilania i realizowane będzie testowanie systemu;
- zasadniczo, tj. po zakończeniu testowania i uruchomienia zasadniczych funkcji diagnostycznych.



Rys. 4. Schemat konfiguracji i działania systemu rozpoznawania stanu degradacji [9, 17]

Istota działania systemu w obszarze oceny stanu degradacji polega:

- na wnioskowaniu o stanie konstrukcji w oparciu o relacje między mierzonymi wartościami zbioru parametrów drganiowych i ich wartościami nominalnymi na podstawie opracowanego testu kontroli stanu;
- na wnioskowaniu o lokalizacji uszkodzenia konstrukcji w oparciu o relacje między mierzonymi wartościami zbioru parametrów drganiowych i wartościami nominalnymi na podstawie opracowanego testu lokalizacji uszkodzeń.

Do realizowania powyższych funkcji systemu powinno wykorzystywać się procedury programowania obiektowego. Wówczas podstawowym modulem systemu rozpoznawania stanu maszyny jest baza wiedzy:

<OBIEKT, ATRYBUT (cecha stanu) – WARTOŚĆ>

Obiektem definiowanym w systemie rozpoznawania stanu będą materiały i konstrukcje budowlane. Atrybutami będą natomiast dane, których to opisujące je wartości (wybrane parametry drganiowe) określać będą ich stan degradacji. Struktury relacji mogących zachodzić między obiektami definiowane są na etapie projektowania. Obiekty zdefiniowane w systemie mogą zawierać zbiory informacji o podobnych strukturach. Powoduje to, że najpierw konieczne staje się tworzenie bazy danych, a następnie łączenie wybranych obiektów systemu z określonymi zasobami bazy, np. za pomocą dedykowanych odpowiednim grupom obiektów reguł wnioskowania diagnostycznego. Informacje o stanie degradacji mają strukturę hierarchiczną, gdzie ogólne informacje zajmują poziom najwyższy, np. dla Oceny Stanu (kontrola stanu), a poziomy niższe przeznaczone są dla informacji szczegółowych (lokalizacja uszkodzeń).

Etap V zawiera opracowanie wstępnego projektu (logicznego i funkcjonalnego) systemu rozpoznawania stanu degradacji, budowę i badania jego modelu, oraz opracowanie projektu technicznego systemu uwzględniającego analizę wyników zrealizowanych badań. Opracowanie projektu funkcjonalnego systemu rozpoznawania stanu degradacji powinno ujmować następujące warianty jego pracy:

- użytkowy, dotyczy oceny stanu degradacji w czasie jej użytkowania według testu kontroli stanu;
- diagnostyczno – obsługowy, obejmuje rozpoznawanie stanu degradacji oraz realizację jego obsługi według określonych stanów niezdatności na etapie lokalizacji uszkodzeń;
- informacyjny, dotyczy tworzenia bazy danych historii eksploatacji konstrukcji zapewniającej:
 - określanie rodzajów uszkodzeń (stanów niezdatności) odnoszonych do czasu eksploatacji,
 - wyznaczanie alertowych terminów obsługi Θ_d odnoszonych do bezpieczeństwa eksploatacji konstrukcji (przede wszystkim bezpieczeństwa ludzi i otoczenia),
 - informowanie o osiągnięciu zagrożenia bezpieczeństwa ludzi i otoczenia.

Zastosowanie przedstawionej koncepcji systemu rozpoznawania stanu degradacji zapewnia:

- ciągły nadzór parametrów diagnostycznych w zakresie oceny stanu degradacji;
- rejestrowanie i archiwizacja wartości parametrów drganiowych;
- przetwarzanie zebranych danych na decyzje zapewniające efektywną eksploatację konstrukcji;
- bieżące lub sekwencyjne informowanie o stanie degradacji oraz alarmowania o jej stanach niezdatności z prawdopodobną przyczyną ich wystąpienia.

Strukturę funkcjonowania systemu rozpoznawania stanu degradacji konstrukcji (rys.5) można umownie opisać następującą zależnością [4, 9]:

$$S_S = \langle O_T, S_P, S_R, S_M, S_Z, R_{TZ} \rangle \quad (1)$$

gdzie: O_T – obiekt diagnozy; S_P – podsystem pomiarowy; S_R – podsystem rozpoznawania stanu; S_M – podsystem magistrali (adresy, dane, sterowanie); S_Z – podsystem zobrazowania informacji; R_{TZ} – relacje.

Podsystem pomiarowy obejmuje zestaw czujników, przetworników A/C, wzmacniaczy, złącz układów dopasowujących w aspekcie zgodności informatycznej, metrologicznej i eksploatacyjnej sygnału, a także procesor sygnałów.

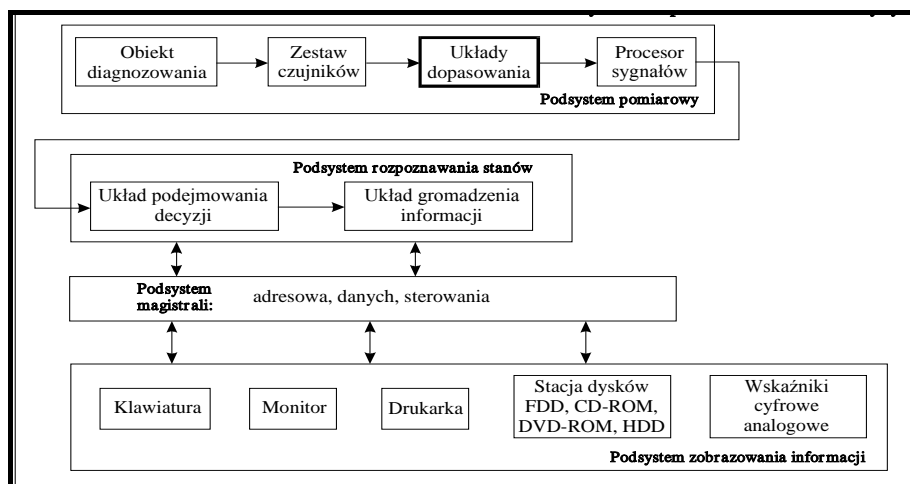
Procesor sygnałów – służy do przetwarzania sygnałów według określonych algorytmów celem uzyskania ich miar w dziedzinie amplitud czasu i częstotliwości.

Podsystem rozpoznawania stanu obejmuje układ podejmowania decyzji, która służy do ustalenia diagnozy, prognozy, genezy, czyli określenie stanu obiektu w chwili Θ_b , $\Theta_b + \tau_1$, $\Theta_b - \tau_2$, a także podsystem gromadzenia informacji.

Podsystem gromadzenia informacji zbiera dane dotyczące: miar sygnałów, wartości granicznych parametrów diagnostycznych i wzorów stanów i inne.

Podsystem magistrali obejmuje szynę: adresową danych i sterowania.

Podsystem zobrazowania informacji może zawierać elementy: klawiaturę, monitor, drukarkę, wskaźniki analogowe i cyfrowe.



Rys. 5. System rozpoznawania stanów degradacji konstrukcji [9]

W systemie tym rolę układu rozpoznawania stanów, gromadzenia informacji a także układu dopasowania sygnałów i złącz wyjściowych jest system mikroprocesorowy, obejmujący: pamięć RAM, EEPROM, Flash EEPROM, procesor, magistralę danych, adresową, sterującą a także oprogramowanie.

Zastosowane w systemie rozpoznawania stanu degradacji oprogramowanie powinno zapewnić realizację jego zadań na podstawie: testu kontroli stanu, testu lokalizacji uszkodzeń za pomocą reguł wnioskowania diagnostycznego typu „IF – THEN”.

Z analizy wymagań działaniowych i konfiguracji systemu rozpoznawania stanu degradacji wynika, że architektura systemu powinna zapewnić [7, 8, 9]:

- konfigurowanie systemu w zakresie wyznaczonych uprzednio potrzeb, w tym obejmujących wprowadzenie odpowiedniej liczby parametrów diagnostycznych, ich wartości granicznych i wartości nominalnych parametrów drganiowych, stany i czas istnienia konstrukcji;
- pomiar i rejestrację wartości mierzonych sygnałów drganiowych według wyznaczonych warunków (początek i koniec pomiaru, które wielkości i kiedy podlegają rejestracji);

- wnioskowanie w oparciu o analizę relacji między wartościami wzorcowymi a mierzonymi na podstawie analizy reguł wnioskowania;
- wizualizację stanu konstrukcji, w tym generowanie decyzji eksploatacyjnych (zdatna, niezdatna, lokalizacja uszkodzenia, inne).

Wynika z tego, że konieczne staje się utworzenie bazy danych, w której obok zbiorów wartości granicznych i nominalnych oraz zbioru wartości parametrów drganiowych rejestrowanych podczas badania degradacji są reguły wnioskowania diagnostycznego.

4. Algorytm wyznaczania testu kontroli stanu degradacji i lokalizacji uszkodzenia

Przedstawiony powyżej system rozpoznawania stanu degradacji konstrukcji jednoznacznie identyfikuje element, materiał, segment lub konstrukcję, w aspekcie rozpoznania ich stanu degradacji. Opracowane algorytmy testu kontroli stanu destrukcji lub lokalizacji uszkodzeń umożliwiają opracowanie dedykowanych algorytmów oprogramowania (dla maszyn i konstrukcji budowlanych) systemu rozpoznawania stanu [9].

Algorytm wyznaczania testu diagnostycznego degradacji konstrukcji zawiera następujące etapy:

- etap akwizycji danych;
- etap optymalizacji zbioru parametrów drganiowych (tylko w przypadku dużej liczebności zbioru Y, np. $m > 10$);
- etap porządkowania zbioru danych poprzez określenie zbioru $\{s_i(\Theta_k), i=1, \dots, 1; k=1, \dots, K\}$;
- etap selekcji informacji oraz istotności parametrów $\{y_j(\Theta_k)\}$ w zależności od stanu $\{s_i = f(\Theta_k); \Theta_k \in (\Theta_1, \Theta_b)\}$, tzn. który z parametrów „najlepiej” opisuje stan s_i ;
- etap wyznaczenie macierzy obserwacji (boolowskiej) przyjmującej:
 - 1 – gdy zmiana stanu s_i powoduje istotne zmiany wartości parametru y_j ;
 - 0 – gdy zmiana stanu s_i nie powoduje istotnych zmian wartości parametru y_j ;
- etap wyznaczenie testu kontroli stanu T_{KS} na podstawie macierzy boolowskiej – test T_{KS} jako wektor wartości logicznych (0, 1) parametrów i tożsamy jemu wektor stanów: $\{(y_1, \dots, y_n, \dots, y_N)\} \Rightarrow S^0 \vee S^1 = \{(s_1, \dots, s_n, \dots, s_N)\}$ dla stanu zdatności S^0 i stanu niezdatności S^1 ;
- etap wyznaczenie testu lokalizacji uszkodzeń T_{LU} na podstawie macierzy boolowskiej – test T_{LU} jako wektor wartości logicznych $\langle 0, 1 \rangle$ parametrów i tożsamy jemu wektor stanów: $\{(y_1, \dots, y_n, \dots, y_N)\} \Rightarrow S^1 = \{(s_1, \dots, s_n, \dots, s_N)\}$, przy czym:
 - jeżeli wartość logiczna wektora sprawdzeń parametru przyjmuje wartość „1” – to jest w przedziale wartości granicznej;
 - jeżeli wartość logiczna wektora sprawdzeń parametru przyjmuje wartość „0” – to jest poza przedziałem wartości granicznych.
- etap interpretacja wyników testów:
 - $T_{KS} = \{y_1, \dots, y_j, \dots, y_m\}$:
 - $\{0, \dots, 0, \dots, 0\}$ - konstrukcja zdatna („0” oznacza, że wartość $y_j \neq y_{jg}$),
 - $\{1, \dots, 0, \dots, 0\}$ - konstrukcja niezdatna („1” oznacza, że wartość $y_1 = y_{1g}$),
 - $\{1, \dots, 1, \dots, 0\}$ - konstrukcja niezdatna („1” oznacza, że wartość $y_j = y_{jg}$),
 - $\{1, \dots, 1, \dots, 1\}$ - konstrukcja niezdatna („1” oznacza, że wartość $y_m = y_{mg}$),
 - $T_{LU} = \{y_1, \dots, y_j, \dots, y_m\}$:

- { 1, ..., 0, ..., 0 } - konstrukcja niezdatna, lokalizacja uszkodzenia – stan s_i
(„1” oznacza, że wartość $y_1=y_{1g}$),
- { 1, ..., 1, ..., 0 } - konstrukcja niezdatna, lokalizacja uszkodzenia– stan s_{i+1}
(„1” oznacza, że wartość $y_j=y_{jg}$),
- { 1, ..., 1, ..., 1 } - konstrukcja niezdatna, lokalizacja uszkodzenia– stan s_{i+n}
(„1” oznacza, że wartość $y_m=y_{mg}$).

Przedstawione zasady budowy sprawdzeń pozwalają stwierdzić, że możliwe jest opracowanie odpowiednich algorytmów rozpoznawania stanu degradacji konstrukcji oraz odpowiednich reguł wnioskowania niezbędnych do opracowania oprogramowania dedykowanego systemu rozpoznawania stanu degradacji technicznej.

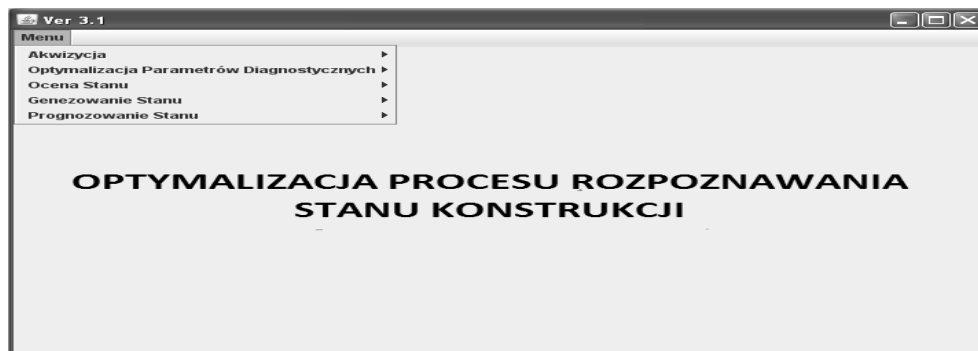
Opracowywany program dla algorytmów oceny stanu degradacji może pracować w systemie Windows i został napisany w języku Java z wykorzystaniem Firebird 1.5 jako silnika bazodanowego [9]. W programie wykorzystano zaawansowane komponenty pakietu Swing dla pakietu Java(TM) SE Runtime Environment 6. Zastosowanie zaawansowanych komponentów graficznych umożliwia intuicyjne poruszanie się po programie oraz zmniejsza liczbę przycisków koniecznych do realizacji zadań realizowanych przez program. Wymagania aplikacji Optymalizacja.jar:

- komputer Pentium II 250 MB RAM minimum;
- Java(TM) SE Runtime Environment 6;
- Server Firebird 1.5;
- preferowana rozdzielczość 1280 x 1024.

Instalacja oprogramowania:

- zainstalować Java(TM) SE Runtime Environment 6 z płytki CD (załącznik C);
- zainstalować sterowniki relacyjnej bazy danych Firebird 1.5 z płytki CD (załącznik C);
- utworzyć katalog C:\ATR_RB do którego trzeba wgrać plik ATR_RB.fdb zawierający bazę Firebird wykorzystywaną w programie;
- uruchomić program przez wybranie pliku Optymalizacja.jar.

Program składa się z pięciu modułów (rys.6).



Rys. 6. Widok rozwiniętego menu głównego programu „Optymalizacja”

5. Podsumowanie

Dedykowany System Oceny Degradacji Konstrukcji (DSODK) stanowi zaimplementowane procedury rozpoznawania stanu degradacji, które dla dowolnej

konstrukcji umożliwiając:

- wyznaczenie optymalnego zbioru parametrów drganiowych dla procedur oceny stanu degradacji i lokalizacji uszkodzeń;
- wyznaczenie testu oceny stanu degradacji na podstawie określonej macierzy obserwacji estymatorów drganiowych;
- wyznaczenie zakresu czynności i prac koniecznych do podtrzymania lub przywrócenia stanu zdadności badanej konstrukcji.

Każda dowolna konstrukcja budowlana charakteryzuje się różnymi wartościami zbiorów: parametrów drganiowych, parametrów procesowych i parametrów otoczenia oraz zbiorem wyróżnionych stanów niezdatności. Na podstawie tak sformułowanych danych wejściowych zaimplementowane procedury DSODK automatycznie i/lub przy ingerencji operatora systemu wyznaczają odpowiednie (dedykowane dla każdej dowolnej konstrukcji) metody w poszczególnych grupach działania, tzn. oceny stanu degradacji i lokalizacji uszkodzeń. Konsekwencją ich działania są odpowiednie dla dowolnej konstrukcji odpowiednie dedykowane wyniki działania procedur przedstawiające:

- dedykowany dla konstrukcji zbiór parametrów drganiowych;
- dedykowany dla konstrukcji test kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń;
- dedykowany dla konstrukcji zakres prac dla przywrócenia zdadności.

Stwarza to podstawę do sformułowania stwierdzenia o uniwersalności opracowanego narzędzia, co powinno zwiększyć efektywność użytkowania w stanie zdadności konstrukcji budowlanych oraz spowodować jego szerokie zastosowanie w budownictwie.

Literatura

1. Cempel C.: Fundamentals of vibroacoustic condition monitoring. Handbook of condition monitoring, Londres, Inglaterra: Chapman and Hall, 1998. 1^a Ed, str.325-333.
2. Cempel C., Natke H.G.: An introduction to the holistic dynamics of operating systems. Progress Report No.2, CRI - B - 2/92, 1996.
3. Cempel C.: Multi Dimensional Condition Monitoring of Mechanical Systems in Operation, Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka, 2002 s.109-118.
4. Eykhoff P.: Identyfikacja w układach dynamicznych. BNInż., Warszawa 1980.
5. Findeisen W. ii: Analiza systemowa - podstawy i metodologia. PWN, Warszawa 1985.
6. Kwaśniewski J.: Analiza struktur inteligentnych systemów do diagnostyki maszyn, Wyd. AGH, Seria Rozprawy, Kraków, 1997, str.155-168.
7. Niziński S., Michalski R.: Diagnostyka obiektów technicznych. ITE, Radom 2002.
8. Tylicki H., Żółtowski B.: Rozpoznawanie stanu maszyn. Wydawnictwo ITE Radom. Radom – Bydgoszcz 2010.
9. Tylicki H.: Wykorzystanie dedykowanego systemu diagnostycznego w rozpoznawaniu stanu maszyn. Sprawozdanie z realizacji prac badawczych, WIM – UTP, Bydgoszcz 2011.
10. Uhl T., Giergiel J.: Identyfikacja układów mechanicznych. PWN, Warszawa 1990.
11. Zeigler B.: Teoria modelowania i symulacji. PWN, Warszawa 1984.
12. Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. ATR, Bydgoszcz 1996.
13. Żółtowski B., Castaneda Heredia L.F.: Badania pojazdów szynowych. Transport. Wydawnictwo UTP, Bydgoszcz, 2009 str.220-229.
14. Żółtowski M.: Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji. ITE, Radom 2011.

15. Żółtowski M.: Investigations of harbour brick structures by using operational modal analysis. Polish Maritime Research, No.1/(81), v.21, ISSN-1233-2585, 2014, str.42-54.
16. Żółtowski M.: Assessment State of Masonry Components Degradation. Applied Mechanics and Materials Vol. 617, Trans. Tech. Publications, Switzerland 2014, ISSN 1662-7482. str.142-147.
17. Żółtowski B., Żółtowski M.: Vibrations in the Assessment of Construction State. Applied Mechanics and Materials Vol. 617(2014), Trans Tech Publications, Switzerland 2014., ISSN 1662-7482. str. 136-141.
18. Żółtowski M.: Badanie niezawodności elementów infrastruktury murowej z użyciem operacyjnej analizy modalnej. Materiały Niezawodności, Szczyrk 2013, str.127-129.
19. Żółtowski M. ii.: Study of the state Francis Turbine. Polish Maritime Research, No.2/(78), vol.20, ISSN 1233-2585, 2013, str. 41-48.

Dr inż. Mariusz ŻÓŁTOWSKI
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Wydział Zarządzania,
Katedra Informatyki w Zarządzaniu i Controllingu
Adres: ul. Fordońska 430, Bydgoszcz 85-790
e-mail: mariusz.zoltowski@utp.edu.pl