

Stanisław RADKOWSKI¹, Robert GUMIŃSKI²

PROAKTYWNA STRATEGIA EKSPLOATACJI

Streszczenie. Biorąc pod uwagę współczesne wyzwania konkurencji, dzisiejsi dostawcy usług muszą być bardziej proaktywni w spełnianiu warunków środowiskowych oraz potrzeb klientów. Proaktywna eksploatacja powinna rozpocząć się na etapie projektowania, z ustanowieniem funkcji, błędów funkcjonalnych i rodzajów uszkodzeń.

Zrozumienie zachowania w fazie uszkodzenia, specjalne zależności pomiędzy potencjalnym uszkodzeniem, błędami funkcjonalnymi i parametrami diagnostycznymi, są najważniejszymi zadaniami.

W następnym kroku projektant powinien zbadać czynności eksploatacyjne, które powinny być zastosowane jako kryteria projektowe. Modele i sposób postępowania zostały przedstawione w artykule jako zwarty przegląd literatury i wyniki badań laboratoryjnych.

Słowa kluczowe: proaktywna eksploatacja, kryteria projektowe, diagnostyka wibroakustyczna, procesy zmęczeniowe

PROACTIVE STRATEGY MAINTENANCE

Summary. Given challenging competition of today service providers are required to be more proactive in satisfying the environmental conditions and customer needs. Proactive maintenance should start at the design stage with establishing the functions, functional failures and failure modes.

The understanding the failure behavior, especially the relationship between potential failures, functional failures and diagnostic parameters is the most important task.

In the next step the designer have to explore the maintenance activities as they have to apply to the design criteria. The models and frameworks have been presented in the paper also a comprehensive review of literature and some results of laboratory investigations.

Keywords: proactive maintenance, design criteria, vibroacoustic diagnostic, fatigue processes

1. WPROWADZENIE

Rozwój systemów mechatronicznych, w szczególności pomiarów i analizy wielkości dynamicznych, spowodował, że konstruktor jest w stanie na etapie projektowania w coraz większym stopniu uwzględniać ewolucję właściwości wytworu, wywołaną procesami zużycia

¹ Faculty of Automotive and Construction Machinery Engineering, The Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland, e-mail: ras@simr.pw.edu.pl.

² Faculty of Automotive and Construction Machinery Engineering, The Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland, e-mail: rgumin@simr.pw.edu.pl.

i degradacji zachodzącymi podczas eksploatacji. Efektywne wykorzystanie tej wiedzy w wielu przypadkach będzie decydować o przyjętej strategii eksploatacji, poziomie i wielkości zaangażowanych środków diagnostycznych, sposobie osiągania wymaganego poziomu bezpieczeństwa wytworu w każdej fazie jego istnienia, w szczególności w fazie wykonywania obsługi i napraw.

Z tego punktu widzenia proces wyboru wariantu projektu wymaga wielu informacji, które będą konkretyzowane w miarę zbliżania się do ostatecznego rozwiązania technicznego. W wielu przypadkach do wyboru przystępuje się wielokrotnie, czyniąc to w miarę osiągania wyższego poziomu danych informacyjnych. W efekcie konkretyzacji projektu koncepcyjnego, konstrukcyjnego czy realizacyjnego, kolejno dochodzimy do różnych wariantów rozwiązań, które są poddane procesowi wartościowania na podstawie określonych kryteriów technicznych i ekonomicznych, umożliwiającą obiektywizację podejmowania decyzji [1, 2].

W tak zarysowanym podejściu ciągle nierozwiązanym problemem jest ustalenie kryterium wyboru odpowiednich metod i środków diagnozowania. Zauważmy, że wybór procedur diagnostycznych ma decydujące znaczenie dla ostatecznego ukształtowania podatności diagnostycznej projektowanego wytworu. Analizę parametrów określających właściwości podatności diagnostycznej podejmowano w wielu publikacjach [3, 4], natomiast do tej pory nie sformułowano tego problemu w sposób umożliwiający uwzględnienie predykcyjnej analizy ryzyka, niezbędnej w proaktywnej strategii zarządzania ryzykiem technicznym.

1.1. Eksploatacyjnie zorientowane projektowanie z uwzględnieniem diagnostyki technicznej

Waga tych zagadnień została podkreślona przez opracowanie miary efektywności diagnostycznej w międzynarodowej normie ISO 13379, poświęconej diagnostyce technicznej [5]:

$$DSE = \frac{\sum_{D_F} S_i P_i}{\sum_F S_i P_i}, \quad (1)$$

gdzie:

F – zbiór uszkodzeń otrzymany w efekcie przeprowadzenia analizy typu *FMEA* (ang. *Failure Mode and Effect Analysis* – Analiza Rodzajów i Efektów Uszkodzeń),

D_F – zbiór uszkodzeń diagnozowanych obraną procedurą diagnostyczną, będący podzbiorem zbioru uszkodzeń F ,

S_i – miara krytyczności i -tego uszkodzenia,

P_i – prawdopodobieństwo wystąpienia i -tego uszkodzenia.

Miara krytyczności uszkodzenia określana jest następującą zależnością:

$$S_i = FR_i \cdot CF_i \cdot SF_i \cdot SDF_i, \quad (2)$$

gdzie:

FR_i – częstotliwość występowania i -tego uszkodzenia,

CF_i – wskaźnik kosztów uwzględniający koszty utrzymywania stanu niezdatności, określany w skali od 1 (mała wartość wskaźnika) do 3 (duża wartość wskaźnika),

SF_i – wskaźnik bezpieczeństwa, również określany w skali od 1 (mała wartość wskaźnika) do 3 (duża wartość wskaźnika),

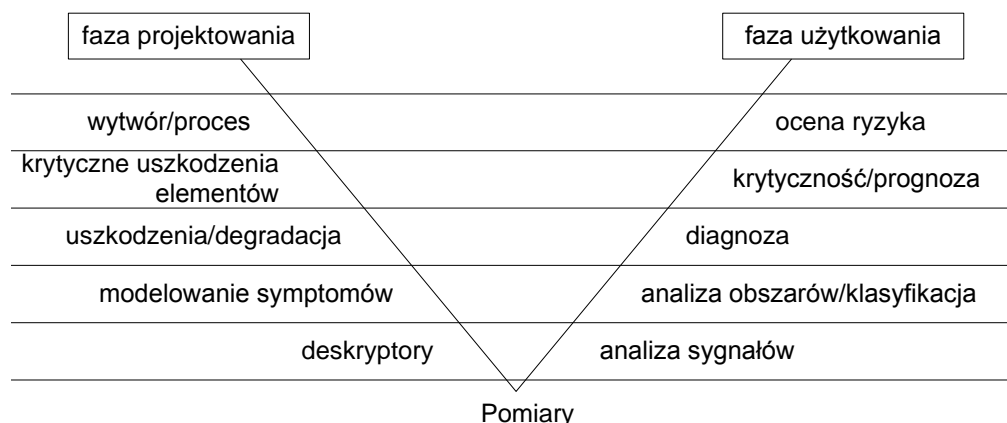
SDF_i – wskaźnik wtórnych uszkodzeń wywołanych wystąpieniem i -tego uszkodzenia w skali od 1 (mała wartość wskaźnika) do 3 (duża wartość wskaźnika).

Wspomniana norma wskazuje na konieczność prowadzenia analizy potrzeb diagnostycznych zarówno na etapie projektowania, jak i wprowadzania wytworu do użytkowania. Tak określony cykl monitoringu i diagnozowania określany jest jako „zasada – V” (rys. 1).

Zgodnie z opisem odpowiadającym lewej stronie litery V, studium potrzeb diagnostycznych na etapie projektowania powinno zawierać analizę rodzajów uszkodzeń i efektów ich występowania (*FMEA*) oraz analizę symptomów rodzajów uszkodzeń (*FMSA* – ang. *Failure Mode Symptom Analysis*).

O ile metoda *FMEA* była omawiana w wielu pracach [6, 7], a poszerzoną analizę jej stosowania przedstawiono w opracowaniu [8], to zagadnienia *FMSA* są stosunkowo mało znane, nawet w środowisku diagnostycznym. Celem analizy *FMSA* jest taki wybór strategii i metody diagnozowania, aby uzyskać maksymalny poziom wiarygodności diagnozowania danego rodzaju uszkodzenia i prognozy jego rozwoju oraz okresu do wystąpienia awarii.

Stąd w opisie tego zagadnienia w pracy [1] zwrócono uwagę na konieczność uwzględnienia wpływu wyników analiz diagnostycznych na proces podejmowania decyzji na poziomie przedsiębiorstwa. W szczególności podkreślono, że wartość informacji diagnostycznej można wyrazić w postaci miary uwzględniającej zmianę skuteczności decydentów. Inaczej mówiąc, dostarczenie informacji o określonej wartości spowodowało zmniejszenie niepewności co do wyboru właściwego działania i umożliwiło podjęcie właściwej decyzji.



Rys. 1. Schemat zasady V, opisującej cykl monitorowania i diagnostyki

Fig. 1. Schema principle V describes the cycle monitoring and diagnostics

Zauważmy, że oceniając użyteczność dostarczonej informacji na etapie projektowania wytworu, zajmujemy się nie tyle ilością informacji, co jej wpływem na zmianę skuteczności decydenta, którym w tym przypadku jest konstruktor.

Dla ilustracji: według [9] lista wymagań tworząca w istocie podstawę określenia funkcji wartości opisującej podatność eksploatacyjną powinna uwzględniać trzy parametry: niezawodność R_n , obsługowość R_o , podatność obsługowo-naprawczą M .

Strnad i Vorath [10] zwracają uwagę, że podatność eksploatacyjna jest funkcją poziomu techniki, organizacji i przygotowania personelu. Dodatkowa trudność oceny wynika z faktu stosowania różnych zasad kształtowania bezpieczeństwa. Odpowiednio elementy kształtowane według zasady *fail-safe* z założenia powinny dopuszczać wystąpienie uszkodzenia i możliwość przeprowadzenia naprawy, natomiast elementy kształtowane według

zasady *safe-life* powinny zachować zdolność funkcjonalną przez cały przewidywany czas eksploatacji. O wyborze zasady kształtowania bezpieczeństwa elementu decyduje poziom zagrożenia, jaki niesie za sobą potencjalna awaria.

W każdym przypadku, już w fazie tworzenia projektu koncepcyjnego, efektem przeprowadzenia analizy procesu eksploatacji powinny być ustalenie zakresu prac obsługowo-naprawczych i związanej z tym oceny bezpieczeństwa.

Rozwiązanie tego zagadnienia wymaga, obok zapewnienia odpowiednich programów zarządzania ryzykiem, podjęcia również wielu działań mających na celu odpowiednie przygotowanie użytkowników do prowadzenia tego typu ocen i formułowania wniosków. Podstawowym zadaniem jest określenie ograniczeń obszarowych dla uzyskania rozwiązań zadowalających. Za takie powszechnie uznaje się rozwiązania minimalizujące ryzyko poniesienia odpowiedzialności prawnej. Wymaga to przeprowadzenia odpowiedniej identyfikacji aspektów ryzyka i uczynienia użytkownika wytworu maksymalnie bezpiecznym, między innymi przez:

- określenie istotnych norm bezpieczeństwa;
- prowadzenie badań projektu i prototypu pod kątem spełnienia wymogów bezpieczeństwa;
- określenie przeznaczenia wytworu i sformułowanie ostrzeżeń dotyczących aspektów uznanych za niebezpieczne;
- opracowanie metod identyfikacji wytworów w celu ułatwienia ich wycofania z obiegu (należy ustalić możliwe przyczyny niezgodności i ustalić związki przyczynowo-skutkowe, a następnie zidentyfikować parametry mające wpływ na możliwość spełnienia wymagań norm);
- sformułowanie polityki przedsiębiorstwa dotyczącej bezpieczeństwa wytworu i jego oddziaływania na środowisko;
- określenie wymagań stosowanych w świecie oraz lokalnych wymagań i regulacji prawnych dotyczących odpowiedzialności z zakresu bezpieczeństwa i obciążenia środowiska, w celu umożliwienia wszystkim zainteresowanym prowadzenia analizy ryzyka i kompatybilności środowiskowej.

Elementem analizy prawnych implikacji bezpieczeństwa jest badanie możliwości niewłaściwego użycia wytworu. Wymaga to przeprowadzenia identyfikacji zagrożeń i opracowania wymagań mających na celu wyeliminowanie lub zredukowanie związanego z tym ryzyka.

Kolejnymi zagadnieniami związanymi z optymalizacją są status informacji i formuła ogłoszeń alarmów. Za najistotniejsze z tego punktu widzenia uznaje się minimalizację fałszywych oraz mało ważnych alarmów, organizację alarmów w sposób umożliwiający operatorowi lepsze zrozumienie istoty zaburzeń, przez zachowanie czasowych i przyczynowych zależności pomiędzy poszczególnymi alarmami, a szczególnie prowadzenie monitoringu według zasady diagnozowania funkcjonalnie zorientowanego. Z tego względu wiele miejsca poświęcono omówieniu metod diagnostyki, które mogą być wykorzystywane w tworzeniu tego typu systemów, szczególnie procedur on-line oraz układów z elementami samodiagnozy. Pod tym kątem dokonano przeglądu możliwości wykorzystania różnych sposobów rozwiązania, uwzględniając podstawowy podział na [11]:

- metody heurystyczne, odwołujące się do badania ukrytych w danych związków i zależności, które następnie stanowią podstawę do wnioskowania diagnostyczno-prognostycznego,
- metody modelowo wspartej diagnostyki, do których należy przede wszystkim zaliczyć diagnostyczne modele zaburzonego zachowania układu, w tym modele propagacji błędów oraz diagnostyczne modele normalnego funkcjonowania, w tym modele funkcjonalnej dekompozycji, diagnostyczne modele hierarchiczne oraz diagnostyczne modele ilościowej symulacji,

- metody odwołujące się do informacji diagnostycznej zawartej w danych (data-driven approaches). Szczególne znaczenie mają w tej grupie diagnostyczne modele statystyczne, metody analizy danych wielowymiarowych, metody analizy trendu oraz metody sztucznej inteligencji, w tym sieci neuronowe i metody rozpoznawania obrazów.

2. PROAKTYWNA EKSPLOATACJA

Proaktywna strategia eksploatacji wykorzystuje różne techniki umożliwiające wydłużenie okresu użytkowania maszyn i urządzeń, których celem jest ustalenie mechanizmów i przyczyn wystąpienia błędów (ang. *Root Cause Failure Analysis*).

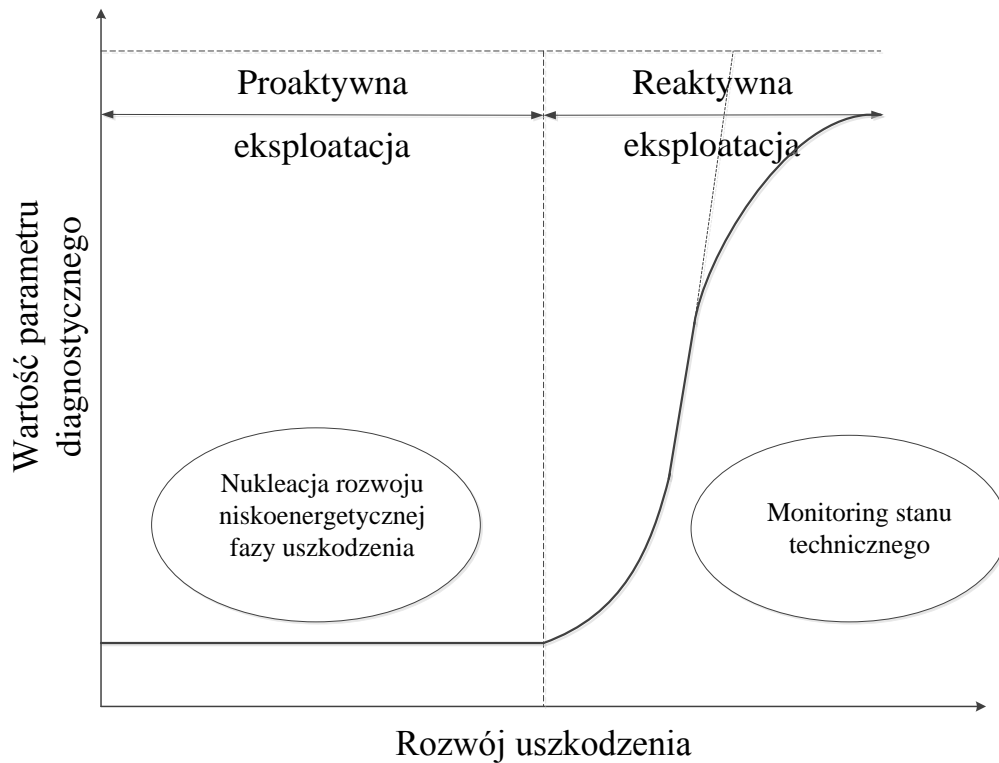
W konsekwencji proces powstania uszkodzeń może być analizowany i uwzględniany w nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych, a eksploatacja istniejących maszyn odpowiednio korygowana. W tym ostatnim przypadku główne zadanie polega na diagnozowaniu okresu inicjacji uszkodzenia (rys. 2).

Z punktu widzenia istotności informacji diagnostycznej w rozważanej proaktywnej strategii eksploatacji jednym z podstawowych problemów jest przyjęcie odpowiedniego modelu diagnostyczno-prognostycznego. W literaturze można spotkać całe spektrum proponowanych modeli: od modeli umożliwiających jedynie jakościowy opis i zrozumienie analizowanych procesów, przez modele umożliwiające wgląd w ogólny trend zmian parametrów diagnostycznych, po modele w postaci wirtualnego laboratorium symulującego przebieg realnych procesów eksploatacyjnych.

Otrzymane wyniki mogą być wykorzystywane bezpośrednio na etapie konstruowania w prognozowaniu rozmiaru możliwych strat dla określonych typów uszkodzeń. Projektant ma w ten sposób możliwość porównania różnych wariantów rozwiązań oraz sprawdzenia stopnia realizacji zaleceń wynikających z przyjętego poziomu ryzyka technicznego. W przypadku konieczności przeprowadzenia modyfikacji analizowanego rozwiązania, dysponując rezultatami analizy wielkości zagrożeń związanych z określonym typem uszkodzenia, konstruktorzy będą w stanie dokonać wartościowania wariantów. Podobnie można przeprowadzić ocenę doboru materiałów, sposobu wykonania i montażu elementów oraz przyjętej strategii użytkowania ze względu na ewolucję uszkodzeń i zmianę w czasie oddziaływań na inne elementy systemu.

Osobną grupę stanowią modele, które umożliwiają badanie potencjalnego zachowania się nadzorowanego obiektu na podstawie odpowiednio wybranego wektora parametrów diagnostycznych.

Zadanie oceny przydatności analizowanego parametru diagnostycznego czy sposobu diagnozowania należy prowadzić z wykorzystaniem odpowiednich kryteriów użyteczności informacji diagnostycznej w procesach wartościowania i podejmowania decyzji. O przyjęciu konkretnego rozwiązania powinna rozstrzygać systematyczna analiza celów diagnostycznych, uwzględniająca wszystkie istotne cechy nadzorowanego układu i umożliwiająca całościową ocenę rozwiązań alternatywnych.



Rys. 2. Zadania diagnostyczne eksploatacji proaktywnej

Fig. 2. The tasks of diagnostics proactive maintenance

Podstawą niezawodności i racjonalności systemu diagnostycznego jest poprawne sformułowanie i rozwiązanie zadania wyboru parametrów diagnostycznych.

W tym kontekście właściwe wydaje się być przeanalizowanie problemu oceny wpływu informacji diagnostycznej na proces podejmowania decyzji w diagnostyce uszkodzeń. W ogólności wskazuje się, że zmiany w działaniu decyzyjnym zależą od wartości informacji, natomiast otwarty pozostaje problem miar wpływu informacji na zmianę niepewności i zmianę działania wynikającą z podjętej decyzji. W modelu należy również uwzględnić możliwości działania decydenta, a także przewidzieć prawdopodobne skutki takich działań. Ponadto, aby móc wybrać najlepsze działanie, powinno być możliwe dokonanie oceny czynników wpływających na osiągnięcie celów.

2.1. Badanie zależności pomiędzy uszkodzeniem-zadaniem funkcjonalnym a symptomem

W nowoczesnym ujęciu projektowania przyjmuje się, że dla osiągnięcia założonych celów niezbędne jest rozpoznanie i ocenienie krytyczności wszystkich potencjalnych rodzajów uszkodzeń już na koncepcyjnym etapie projektowania. Sposób zaproponowany w [12] jest rozszerzeniem metody podobieństwa funkcjonalności różnych wytworów [13] na analizę podobieństwa rodzajów uszkodzeń. Dodatkowo zakłada się, że jest to zbiór uszkodzeń, które mogą wystąpić w określonym zbiorze składowych i wytworów podczas ich użytkowania.

Odpowiednio wektor rodzajów uszkodzeń jest definiowany na podstawie standardowych rodzajów uszkodzeń opracowanych przez Collinsa i zaprezentowanych w pracy [14]. Zgodnie z przedstawioną metodologią, w procedurze tej należy przede wszystkim określić wektor rodzajów uszkodzeń $Z(n)$. W podobny sposób określa się wektor wszystkich elementarnych zadań funkcjonalnych $F(r)$, które powinny być realizowane przez składowe projektowanego wytworu.

Następnie, uwzględniając zbiór elementów wytworu, tworzone są macierze $SZ(m \times n)$ oraz $FS(r \times m)$, które odpowiednio ujmują związki pomiędzy zbiorem składowych i zbiorem uszkodzeń (macierz uszkodzeń składowych) oraz zbiorem składowych i zbiorem elementarnych zadań funkcjonalnych (funkcjonalna macierz składowych).

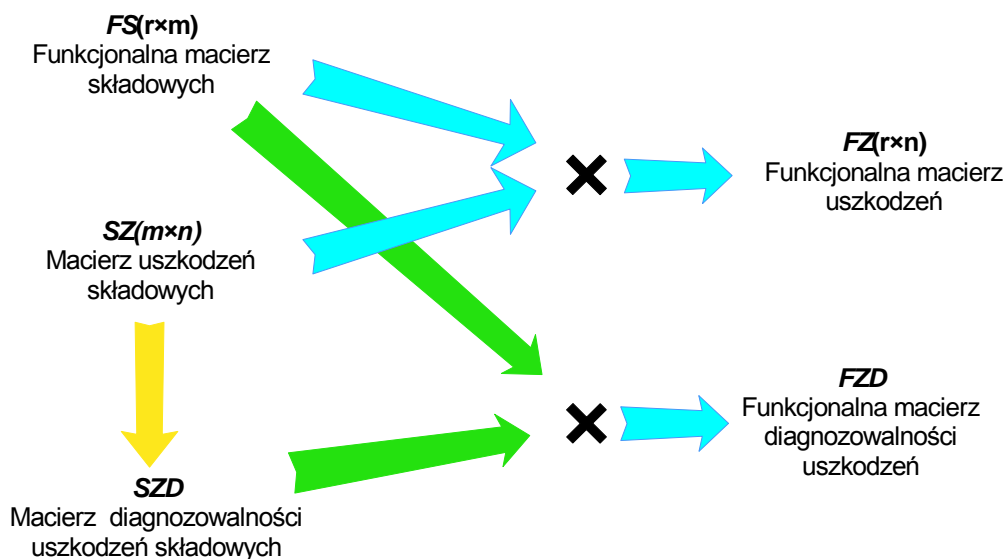
Macierz FS jest konstruowana jako macierz binarna, gdzie wartość 1 oznacza, że określony element realizuje pewne zadanie funkcjonalne, natomiast wartość 0 wskazuje na brak takiego związku. Inaczej są konstruowane pozostałe macierze, tzn. jako wielowartościowe. Macierze SZ i FS są wykorzystywane do analizy związków pomiędzy poszczególnymi zadaniami funkcjonalnymi a rodzajami uszkodzeń dla analizowanego zbioru składowych wytworu w zadanym zakresie aplikacyjnym:

$$FZ(r \times n) = FS(r \times m) \times SZ(m \times n) \quad (3)$$

Każdy element funkcjonalnej macierzy uszkodzeń fz_{ij} wskazuje, ile elementów realizujących zadanie i może być zniszczonych przez rodzaj uszkodzenia j .

Tak otrzymana macierz $FZ(r \times n)$ jest podstawą do wyznaczenia potencjalnych rodzajów uszkodzeń dla analizowanej składowej wytworu, natomiast bezpośrednio dostarcza informacje odnośnie do skorelowania określonych funkcji z analizowanymi rodzajami uszkodzeń.

Zauważmy, że aby prezentowane ujęcie spełniało wymóg zapewnienia kontrolowania wpływu procesów degradacyjnych na poziom niezawodności, należy zapewnić wybór odpowiednich metod diagnozowania. Oznacza to konieczność rozszerzenia dotychczas przedstawionej procedury o aspekty detekcji, identyfikacji i lokalizacji uszkodzeń w funkcji fazy rozwoju i rodzaju uszkodzenia.



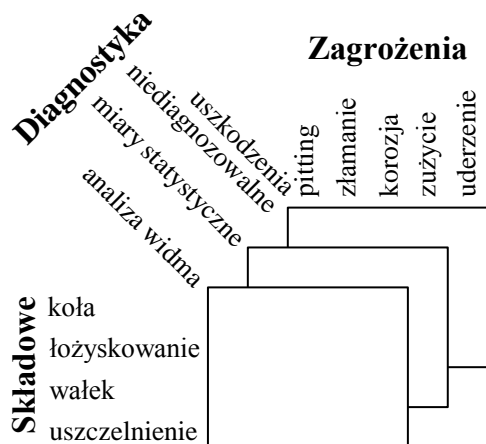
Rys. 3. Schemat analizy związków uszkodzenie – symptom – zadanie funkcjonalne

Fig. 3. Schema analysis of compounds failure – a symptom – a functional task

Zauważmy, że wymaga to analizy trójwymiarowych macierzy diagnostyczności składowych (SZD) oraz funkcjonalnej macierzy diagnostyczności uszkodzeń (FZD). Dla ilustracji tego sposobu postępowania, biorąc pod uwagę informacje na temat diagnozowania kół zębatych i łożysk tocznych, rozbudowano dwuwymiarową macierz SZ o wymiar diagnostyczny (rys. 4). W ten sposób trójwymiarowa macierz SZD wiąże składowe i rodzaje uszkodzeń z metodami diagnozowania.

Każdy element macierzy szd_{ijk} opisuje liczbę uszkodzeń kryjących się pod głównym rodzajem uszkodzenia j , mogących wystąpić w składowej i , oraz diagnostycznych przy

użyciu metody k . Nie możemy się tu posługiwać tylko rodzajami uszkodzeń, ponieważ nawet dla tej samej składowej mogą być one diagnozowane w różny sposób, zależnie od postaci symptomu. Na przykład rozważając zmęczeniowe uszkodzenie koła zębatego, analizujemy zbiór zarówno zmęczeniowych uszkodzeń powierzchni (pitting, spaling), jak i zmęczeniowe złamanie u podstawy zęba, zakładamy, że wszystkie uszkodzenia mogą być diagnozowane za pomocą analizy widma sygnału wibroakustycznego.



Rys. 4. Schemat analizy związków uszkodzenie – symptom – zadanie funkcjonalne

Fig. 4. Schema analysis of compounds failure – a symptom – a functional task

Natomiast jeśli rozpatrujemy zużycie koła zębatego, którego parametry diagnostyczne nie są okresowe i mają charakter stochastyczny, jak np. symptom zacierania, to podstawą analizy diagnostycznej staje się analiza statystyczna sygnału wibroakustycznego. Takie postępowanie zakłada dostęp do odpowiednich informacji a priori, co najczęściej nie jest możliwe i oznacza, że nie można z góry wyznaczyć metody diagnozowania. Zatem jesteśmy zmuszeni odwołać się do szczegółowego podziału uszkodzeń.

Należy zwrócić uwagę, że w analizie powinny być uwzględnione wszystkie występujące rodzaje uszkodzeń, ponieważ nie możemy z góry założyć, że określony rodzaj uszkodzenia nie wystąpi. Dążymy natomiast do ograniczenia metod diagnozowania, jeśli występuje kilka metod umożliwiających wykrycie danego rodzaju uszkodzenia dla określonej składowej, w analizie uwzględniamy tylko jedną, wybieramy metodę dla nas korzystniejszą (dostępność sprzętu, znajomość metodyki itp.).

Wymnażając macierz FS przez wszystkie warstwy macierzy SZD , otrzymujemy macierz FZD , która wiąże funkcje i uszkodzenia z metodami diagnostycznymi:

$$FZD = FS \times SZD \quad (4)$$

Wyniki wskazują zależności między uszkodzeniem, zadaniem funkcjonalnym a metodą diagnostyczną. Każdy element macierzy fzd_{ijk} opisuje liczbę składowych realizujących funkcję i oraz mogących ulec uszkodzeniu j i diagnozowanych metodą k .

Aby macierz SZD budować w określonym standardzie potrzebnym do wyboru technik diagnostycznych, celowe wydaje się uporządkowanie metod diagnozowania podobnie jak uczyniono to z rodzajami uszkodzeń.

Zauważmy, że istotnym elementem proponowanego podejścia jest wprowadzenie kategoryzacji uszkodzeń. Takie ujęcie, klasyczne w metodzie $FMEA$, do tej pory nie znalazło uznania w inżynierii mechanicznej. Z lektury publikacji poświęconych zagadnieniom analizy modelowania uszkodzeń wynika, że najczęściej w przyjmowanych modelach zakłada się taki

charakter złożoności wymuszających czynników, zarówno zewnętrznych, jak i wewnętrznych, aby można było przyjąć rozkład wykładniczy trwałości obiektu i jego podzespołów [15, 16].

Również rozszerzenia tego sposobu modelowania na badanie wpływu wielu innych uszkodzeń, stale spełniających warunki rozkładu wykładniczego, pozwala końcowy efekt oddziaływania przedstawić jako funkcję systemowej intensywności uszkodzeń, której postać jest podobna do funkcji uzyskanej dla niezawodnościowej struktury układu szeregowego, zachowującej postać rozkładu wykładniczego. Inżynierska praktyka wskazuje, że taki model, poprawny w wielu przypadkach, szczególnie wówczas, gdy dominują czynniki losowe, nie może być podstawą do podejmowania decyzji eksploatacyjnych w sytuacji, gdy występują zmiany funkcji intensywności uszkodzeń w czasie. Równocześnie, przyjęcie modelu oddziaływań powodujących zmiany trwałości o charakterze wykładniczym, zgodnie ze znaną właściwością tego rozkładu, wyklucza potrzebę diagnozowania tej właściwości układu [17].

3. UWAGI KOŃCOWE

Planując proaktywną strategię eksploatacji, w rzeczywistości analizujemy system proaktywnego zarządzania ryzykiem w systemie transportowym. Oznacza to konieczność zrozumienia generowania zagrożeń na wszystkich poziomach systemu i możliwość podejmowania odpowiednich decyzji.

Niezbędne jest zrozumienie konieczności identyfikacji potrzeb informacyjnych decydentów, zarówno odnośnie do rzeczywistego stanu rzeczy, jak i identyfikacji aspektów istotnych dla poprawy jakości realizacji zadań oraz założonych celów. W konsekwencji proaktywne zarządzanie ryzykiem w systemie transportowym wymaga podjęcia następujących aktywności:

- analizowania normalnej aktywności elementów systemu z badaniem tych właściwości, które będą miały największy wpływ na zachowanie systemu w przyszłości;
- badania wzajemnych oddziaływań oraz zmian struktur systemu z punktu widzenia teorii układów sterowania;
- nadzorowania możliwości przepływu informacji dostępu do odpowiednich źródeł informacji, doboru odpowiednich metod detekcji i identyfikacji oraz agregacji ze względu na realizację zadań związanych z zarządzaniem ryzykiem technicznym;
- formułowania zaleceń odnośnie działań mających na celu poprawę do jakości funkcjonowania systemu, minimalizację liczby błędów i zmniejszenie hipotetycznych konsekwencji zdarzeń niepożądanych.

Reasumując, proaktywna strategia eksploatacji nie polega na próbach usuwania przyczyn błędów, szczególnie błędów ludzkich, skupia się natomiast na projektowaniu strategii użytkowania w taki sposób, aby:

- identyfikować granice bezpiecznego funkcjonowania systemu, czynić je czytelnymi i widzialnymi w procesie podejmowania decyzji;
- minimalizować wpływ czynników sprzyjających podejmowaniu decyzji o przekroczeniu założonych granic bezpiecznego działania systemu.

Niniejsza praca jest współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, projekt „Program Rozwojowy Politechniki Warszawskiej” realizowany przez Centrum Studiów Zaawansowanych

Bibliografia

1. Radkowski S.: Wibroakustyczna diagnostyka uszkodzeń niskoenergetycznych. Instytut Technologii Eksploatacji. Warszawa – Radom 2002.
2. Growiec J.: Modelowanie endogenicznego wzrostu. „Ekon”, nr 3, 2005, s. 323-328.
3. Dybała J., Mączak J., Radkowski S.: Wykorzystanie sygnału wibroakustycznego w analizie ryzyka technicznego. Instytut Technologii Eksploatacji, Warszawa – Radom 2006.
4. Niziński S.: Eksploatacja obiektów technicznych. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2002.
5. Żółtowski B., Cempel Cz.: Inżynieria diagnostyki maszyn. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom.
6. ISO 13379: Condition monitoring and diagnostics of machines – General guidelines on data interpretation and diagnostics techniques, 2003.
7. Gandhi O.P., Agrawal V.P.: FMEA – A Digraph and Matrix Approach. Reliability Engineering and System Safety, No. 35, 1992, p. 147-158.
8. IEC 812: Analysis Techniques for System Reliability – Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), International Electrotechnical Commission, 1985.
9. Radkowski S.: Podstawy bezpiecznej techniki. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2003.
10. Van der Mooren A.L.: Instandhaltungsgerechtes Konstruieren und Projektieren. Springer – Verlag, Berlin Heidelberg 1991.
11. Strnad H., Vorath B.J.: Sicherheitsgerechtes Konstruieren. Verlag TÜV, Rheinland 1992.
12. Papadopoulos Y., McDermid J.: Automated Safety Monitoring: A Review and Classification of Methods. International Journal of COMADEM, No. 4, 2001, s. 14-32.
13. Tumer T.Y., Stone R.B.: Mapping Function to Failure Mode During Component Development. ASME Design for Manufacturing Conference, Vol. DETC 2001/DFM – 21173, Pittsburgh USA 2001.
14. Stone R.B., Wood K.L.: Development of a functional basis for design. Journal of Mechanical Design, No. 122 (4), 2000, p. 359-370.
15. Collins J.A.: Failure of materials in mechanical design: analysis, prediction, prevention. John Wiley & Sons, USA 1993.
16. Jaźwiński J., Klimaszewski S.: Przyczyny i wybrane modele statków powietrznych. XXXIII Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk 2005, s. 192-208.
17. Tomaszek H., Żurek J.: Metody szacowania niezawodności urządzeń statków powietrznych z uwzględnieniem wybranych modeli powstawania uszkodzeń. XXXIV Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk 2006, s. 324-332.
18. Billinton R., Allan R.N.: Reliability Evaluation of Engineering Systems. Plenum Press, New York–London 1992.

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ



Centrum Studiów Zaawansowanych PW
Center for Advanced Studies WUT

