

POKŁADOWY SYSTEM DIAGNOSTYCZNY ŚRODKÓW TRANSPORTU

W artykule omówiony został problem budowy pokładowych systemów diagnostycznych dla środków transportu. Przedstawiono procedury systemu oraz ich działanie w eksploatacji środków transportu.

WPROWADZENIE

Występujące działania racjonalizujące eksploatację środków transportu obejmują projektowanie efektywnych strategii eksploatacji. Jednym z przejawów tej działalności jest wprowadzanie Pokładowych Systemów Diagnostycznych (PSD), gdzie obok modułu oceny stanu znajduje się moduł prognozowania stanu, który generuje informację o terminie obsługiwanego środka transportu. Umożliwi to:

- kontrolę stanu i lokalizację uszkodzeń w przypadku stanu niezdatności na podstawie wyników badań diagnostycznych poprzez;
- oszacowanie czasu niezawodnego użytkowania środka transportowego na podstawie niepełnej historii wyników badań diagnostycznych.

Będzie to jednak wymagało opracowania procedur:

- wyznaczenia zbioru parametrów diagnostycznych opisujących zmianę stanu środków transportu;
- oceny stanu środków transportu;
- wyznaczenia terminu obsługiwanego środka transportu.

Sposoby rozwiązania powyższych problemów oraz działanie zaimplementowanych procedur PSD w eksploatacji środków transportu stanowią przedmiot niniejszego opracowania.

1. PROCEDURY POKŁADOWEGO SYSTEMU DIAGNOSTYCZNEGO

Główne zadania, które można sformułować przy rozwiązywaniu problematyki określenia procedur PSD to [1,2,3,11,12]:

- wyбір „najlepszych” parametrów diagnostycznych opisujących aktualny stan i ich zmiana w czasie eksploatacji środka transportu;
- wyznaczenie testu diagnostycznego;
- wyznaczenie wartości prognozowanej parametru diagnostycznego dla horyzontu prognozy τ_1 , $S_{jp}(\Theta_b + \tau_1)$ za pomocą „najlepszej” metody prognozowania i wyznaczenie terminu kolejnego obsługiwanego Θ_0 .

1.1. Redukcja informacji diagnostycznej

Podstawowym zagadnieniem w tym procesie jest wyznaczenie zbioru parametrów diagnostycznych do oceny stanu maszyn przy uwzględnieniu kryterium rozróżnialności stanów maszyny oraz do prognozowania z wykorzystaniem metod korelacji wartości parametru diagnostycznego ze stanem i czasem eksploatacji środka transportu oraz pojemności informacyjnej parametru diagnostycznego [8,11,12].

Głównymi problemami pojawiającymi się przy rozwiązaniu tak ujętych zadań jest wybór „najlepszych” parametrów diagnostycznych

opisujących aktualny stan i ich zmianę w czasie eksploatacji. Użyte powyżej pojęcie „najlepsze” wiąże się z przyjęciem odpowiednich kryteriów i rozpatrzenie tych problemów w kategoriach poszukiwania rozwiązania optymalnego, zaś ze względu na wiele kryteriów oceny wymaga rozpatrzenie tych problemów w kategoriach rozwiązania polioptymalnego, np. dla poszczególnych zadań (optimum lokalne) lub dla zadania całościowego monitorowania stanu środków transportu (kryterium globalne).

1.2. Ocena stanu i lokalizacja uszkodzeń

Wyznaczenie oceny stanu środka transportu wiąże się z badaniem relacji parametr diagnostyczny – stan. Na podstawie wyników badań i ustaleń literaturowych [1,2,3,5,8] uważa się, że wykorzystanie odpowiednich procedur powinno uwzględniać:

- potrzebę uzyskania informacji diagnostycznej na odpowiednim poziomie dekompozycji środka transportu;
- potrzebę uzyskania informacji diagnostycznej w odpowiednim zakresie oceny stanu (kontrola stanu, lokalizacja uszkodzenia, kontrola stanu i lokalizacja uszkodzenia);
- ilość informacji o relacji: parametr diagnostyczny – stan, parametr diagnostyczny – czas eksploatacji środka transportu; Rozwiązanie tego bardzo problemu osiąga się w wyniku realizacji następujących celów częściowych:

- wyboru metody wyznaczania optymalnego testu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń w zależności od liczebności zbioru parametrów diagnostycznych oraz przebiegu środka transportu;
- opracowanie i implementacja algorytmów wyznaczania testu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń.

Analiza problematyki dotyczącej implementacji badania ewolucji stanu w zakresie budowy testu diagnostycznego kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń generuje odpowiedni algorytm implementacji modułowej:

- dane (wprowadzanie, edycja, zapis, interpolacja i aproksymacja danych wejściowych);
- parametry diagnostyczne (optymalizacja zbioru parametrów diagnostycznych, badanie wrażliwości zbioru na czynniki eksploatacyjne);
- test kontroli stanu oraz test lokalizacji uszkodzeń;
- raportowanie (grupowanie poszczególnych symulacji celem porównania wyników),
- generowanie reguł wnioskowania diagnostycznego do wykorzystania w oprogramowaniu PSD.

1.3. Prognozowanie stanu

Proces prognozowania stanu środka transportu polega na określeniu zmian wartości parametrów diagnostycznych, charakteryzujących proces pogarszania stanu w przyszłości. W tym sposobie stan środka transportu przedstawia się w postaci funkcji wektorowej: $Y(\Theta) = [y_1(\Theta), \dots, y_l(\Theta), \dots, y_m(\Theta)]$, o przebiegu dyskretnym lub

ciągłym w czasie $\Theta_1, \dots, \Theta_b$ (Θ_1 -czas początku eksploatacji, Θ_b - termin badania), przy czym zakłada się, że wiadome są wartości funkcji $Y(\Theta_1), \dots, Y(\Theta_b)$ w tym czasie.

Następnie określa się przebieg funkcji $Y(\Theta_b + \tau)$, przy czym prognoza może dotyczyć funkcji $Y(\Theta)$, jak również każdej jej składowej $y_j(\Theta)$. Przyjmuje się jednak wówczas założenie, że przebieg funkcji $Y(\Theta_b + \tau)$ jest „podobny” do przebiegu funkcji $Y(\Theta_1), \dots, Y(\Theta_b)$, co czyni się przy przyjęciu założenia, że istnieje ciągłość zmian wartości badanych parametrów diagnostycznych. Wnioskowanie takie, szczególnie w zakresie „podobieństwa przebiegu funkcji $Y(\Theta)$ ”, może być uzasadnione tylko przy należyтым poznaniu przebiegu tych zmian, np. w okresie zużycia normalnego i nieuwzględnieniu nieciągłości wynikających z wymiany lub regulacji zespołów środka transportu.

Wynikiem wykorzystania procedury prognozowania jest wnioskowanie o stanie środka transportu na podstawie prognoz wartości parametrów diagnostycznych, przy czym jednym z możliwych sposobów jest formułowanie prognostycznych wniosków o stanie środka transportu na podstawie porównania prognoz wartości parametrów diagnostycznych z ich wartościami granicznymi, wyznaczającymi klasy stanów zdadności i niezdadności oraz określenie postaci prognozy np. jako terminu kolejnego obsługiwanania w strategii eksploatacji środka transportu według stanu [9, 10, 11].

Podobnie, jak w przypadku implementacji procedury oceny stanu i lokalizacji uszkodzenia, generowany jest algorytm implementacji modułowej:

- dane (wprowadzanie, edycja, zapis, interpolacja i aproksymacja danych wejściowych);
- parametry diagnostyczne (optymalizacja zbioru parametrów diagnostycznych, badanie wrażliwości zbioru na czynniki eksploatacyjne);
- prognozowanie wartości parametrów diagnostycznych
- wyznaczenie terminu obsługiwanania środka transportu;
- raportowanie (grupowanie poszczególnych symulacji celem porównania wyników),
- generowanie reguł wnioskowania diagnostycznego do wykorzystania w oprogramowaniu PSD.

2. POKŁADOWE SYSTEMY DIAGNOSTYCZNE

2.1. Projektowanie pokładowych systemów diagnostycznych

W procesie projektowania PSD rozpatrzono następujące zagadnienia [6, 11, 13, 15, 16]:

1. Określenie zakresu wymagań, jakie powinien spełniać system PSD środka transportu, z obszaru:

- realizowanych funkcji (ocena stanu, prognozowanie wartości parametrów diagnostycznych (wyznaczanie terminu kolejnego obsługiwanania);
- właściwości: konstrukcyjnych, funkcjonalnych, niezawodnościowych i bezpieczeństwa, ekonomicznych i innych;
- architektury i algorytmu działania PSD (projektowanie i implementacja systemu, wykorzystanie reguł wnioskowania diagnostycznego do budowy oprogramowania systemu, testowanie oprogramowania systemu i dokumentacji systemu).

2. Budowa procedur systemu:

- wyznaczenie optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych do oceny stanu i prognozowania parametrów diagnostycznych;
- wyznaczenie testu kontroli stanu i testu lokalizacji uszkodzenia;
- wyznaczenie terminu obsługiwanania środka transportu.

2. Implementacja procedur oraz akwizycja danych i raportowanie wyników realizacji procedur.

3. Budowa reguł wnioskowania diagnostycznego, które obok możliwości ich wykorzystania w oprogramowaniu PSD powinny umożliwić opracowanie schematu jego działania.

4. Opracowanie uniwersalnego oprogramowania komputerowego, co umożliwi realizację sprzętową i programową PSD dla dowolnej grupy środków transportu w dowolnej sytuacji eksploatacyjnej i procesowej zadania transportowego [13].

2.2. Wykorzystanie pokładowych systemów diagnostycznych w eksploatacji środków transportu

Przedstawione powyżej elementy PSD zaimplementowano w modułach programu komputerowego „Pokładowy System Diagnostyczny”. Są to:

1. W module Akwizycja wprowadzane są dane poprzez import z pliku csv, pliku Excel lub z czujników środka transportu.. Są to:

- zbiór wartości parametrów diagnostycznych $\{y_i(\Theta_i)\}$ wraz ze zbiorem wartości granicznych $\{y_{ig}\}$ i wartości nominalnych $\{y_{jn}\}$;
- zbiór stanów środka transportu $\{s_m(\Theta_i)\}$ zaistniałych podczas jego eksploatacji.

2. W module Optymalizacja Parametrów Diagnostycznych przy zastosowaniu procedur optymalizacji wielokryterialnej następuje obliczenie wartości funkcji kryterialnych oraz wag w_{j1} parametrów diagnostycznych z możliwością zapisu do pliku tekstowego. Możliwa jest także aktualizacja wartości wag w_{j1} parametrów diagnostycznych (według preferencji operatora systemu) oraz „ręczny” wybór parametrów diagnostycznych przez operatora. Znajdują tu zastosowanie reguły wnioskowania:

- jeśli $w_j \geq 0,1$ to $y_j \in Y^o$ – otrzymuje się zbiór wieloelementowy;
- lub jeśli $w_j = w_{jmax}$ to $y_j \in Y^o$ – otrzymuje się zbiór jednoelementowy.

Wskutek działania reguł uzyskuje się zbiory jednoelementowe lub wieloelementowe, przy czym zgodnie z właściwością modułu Optymalizacja Parametrów Diagnostycznych operator systemu może „ręcznie” kształtować elementy zbioru Y^o , jak i wartości wagi w_j .

3. W module Ocena Stanu tworzona jest macierz diagnostyczna na podstawie danych wejściowych (wybrane parametry diagnostyczne oraz zbiór stanów) z możliwością jej edycji i zapisu do pliku tekstowego. Na podstawie macierzy diagnostycznej wyznaczany jest test kontroli stanu oraz test lokalizacji uszkodzeń, który następnie można realizować „ręcznie” lub zaprogramować jego wykonanie przez PSD. W celu jego wyznaczenia należy:

- określić zbiór stanów według kryterium wartości prawdopodobieństwa $p(s_m)$ przy założeniu, że istnieje zbiór $p(s_m)$;
- określić zbiór stanów według kryterium wartości czasu eksploatacji $s_i(\Theta_i) \in S$ przy założeniu, że nie istnieje zbiór $p(s_m)$;
- wyznaczyć macierz diagnostyczną MD;
- na podstawie macierzy MD wyznaczyć test kontroli stanu T_{KS} i określić sposób interpretacji wartości logicznych „0” i „1”;
- na podstawie macierzy MD wyznaczyć test lokalizacji uszkodzeń T_{LU} i określić sposób interpretacji wartości logicznych „0” i „1”;

4. W module Prognozowanie Stanu na podstawie optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych (działanie modułu Optymalizacja Parametrów Diagnostycznych) wyznaczane są prognozowane wartości parametrów diagnostycznych z błędami prognozy według odpowiednich modeli. Istnieje możliwość „ręcznego” wyboru metod prognozowania i parametrów metod przez operatora w celu automatycznego przeszukiwania metod i wyboru metody według kryterium minimalnego błędu prognozy. Umożliwia to następnie wyznaczenie terminu obsługiwanania maszyny według odpowiedniej metody. Istnieje także możliwość „ręcznego” wyboru metody wyznaczenia terminu obsługiwanania maszyny przez operatora systemu. W przypadku wieloelementowego optymalnego zbioru parametrów diagno-

stycznych występuje ważenie wyniku terminu obsługiwanego. Występuje także wizualizacja wyznaczania terminu obsługiwanego na podstawie prognozowanych wartości parametrów diagnostycznych i ich odległości od wartości granicznej. Prognozowanie stanu dla każdej z grup zawiera określenie zbioru metod prognozowania wartości parametrów diagnostycznych i metody szacowania terminu następnego obsługiwanego. W celu jego wyznaczenia należy:

- a) wykorzystać optymalny zbiór parametrów diagnostycznych (zbiór jednoelementowy lub zbiór wieloelementowy);
- b) określić metody prognozowania wartości parametrów diagnostycznych poprzez minimalizację błędu prognozy;
- c) określić metody wyznaczania terminu kolejnego obsługiwanego Θ_o poprzez jego minimalizację;
- d) określić, dla zbioru wieloelementowych parametrów diagnostycznych, sposobu interpretacji wartości ważonego terminu kolejnego obsługiwanego Θ_{ow} poprzez uwzględnienie wag w_j .

Przeprowadzone badania symulacyjne procedur PSD oraz uzyskane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że dla różnych dowolnych środków transportu różniących się zbiorami: wartości parametrów diagnostycznych, wartości parametrów procesowych, stanów) uzyskuje się wyniki rozwiązań na każdym etapie działania procedur. Wynika to z następujących przesłanek:

1. Na etapie wyznaczenie optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych poprzez możliwość uzyskiwania zbiorów jednoelementowych i wieloelementowych z wartościami wagi w_j .
2. Na etapie wyznaczenia testu oceny stanu technicznego poprzez :
 - a) wyznaczenia macierzy relacji: stan techniczny – czas eksploatacji – wartość parametru diagnostycznego;
 - b) możliwość wyznaczenia różnorodnych postaci testów kontroli stanu i testów lokalizacji uszkodzenia uzależnionych tylko od relacji parametr diagnostyczny – stan w macierzy diagnostycznej MD.
3. Na etapie prognozowania stanu środka transportu poprzez:
 - a) wyznaczenie metody prognozowania wartości parametru diagnostycznego według funkcji błędu prognozy ze zbioru: metoda Browna – Mayera rzędu pierwszego i drugiego oraz metoda Holta;
 - b) określenie metody wyznaczenia terminu kolejnego obsługiwanego z zbioru: metoda poziomowania wartości błędu prognozy i metoda prognozowania wartości granicznej parametru diagnostycznego.

Powyższe stwierdzenia pozwalają na sformułowanie wniosku, że PSD umożliwia dla dowolnego środka transportu wyznaczenie wyników działania procedur w zakresie oceny oraz prognozowania stanu środków transportu.

PODSUMOWANIE

Przedstawiona w opracowaniu analiza dotycząca wykorzystania procedur redukcji informacji diagnostycznej, oceny stanu i prognozowania stanu oraz przeprowadzone badania symulacyjne modułów Pokładowego Systemu Diagnostycznego oraz uzyskane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że dla różnych środków transportu różniących się zbiorami wartości parametrów diagnostycznych i stanów maszyn), uzyskuje się wyniki rozwiązań na każdym etapie działania procedur. Wynika to z następujących możliwości PSD:

1. Wyznaczenie optymalnego zbiorów jednoelementowych i wieloelementowych parametrów diagnostycznych z wartościami wagi w_j .
2. Wyznaczenie testu oceny stanu technicznego środka transportu poprzez:

- a) wyznaczenie macierzy diagnostycznej MD;
 - b) wyznaczenie testu kontroli stanu i testu lokalizacji uszkodzenia.
3. Wyznaczenie prognozy stanu środka transportu poprzez:
 - a) wyznaczenia metody prognozowania wartości parametru diagnostycznego;
 - b) wyznaczenie terminu kolejnego obsługiwanego środka transportu.

Pozwala to sformułować ogólny wniosek, że przedstawiony w opracowaniu Pokładowy System Diagnostyczny umożliwia:

- a) dla dowolnego środka transportu;
 - b) w dowolnych warunkach eksploatacji;
 - c) dowolnych warunkach pracy przewozowej
- wyznaczenie wyników działania procedur w zakresie oceny stanu i prognozowania stanu.

Stwarza to także podstawę do sformułowania stwierdzenia o uniwersalności opracowanego narzędzia, co powinno zwiększyć efektywność użytkowania i obsługiwanego środków transportu oraz spowodować jego szerokie zastosowanie w ich eksploatacji.

BIBLIOGRAFIA

1. Cempel C.: Multidimensional condition monitoring of mechanical systems in operation. Mechanical systems and signals processing, Poznań, Poland, University of Technology. 2003.
2. Cholewa W., Kaźmierczak J.: Data processing and reasoning in technical diagnostics. WNT, Warszawa 1995.
3. Inman D.J., Farrar C.J., Lopes V., Valder S. : Damage prognosis for aerospace, civil and mechanical systems. John Wiley & Sons, Ltd. New York 2005.
4. Merksiz J., Mazurek S.: Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych. Wydawnictwo WKŁ, Warszawa 2007.
5. Lewitowicz J.: Podstawy eksploatacji statków powietrznych, t. 4. Badania eksploatacyjne statków powietrznych. Wydawnictwo ITWL, Warszawa 2006.
6. Niziński S., Wierzbicki S.: Zintegrowany system diagnostyczny sterowania pojazdów. Kongres Diagnostyki, Politechnika Poznańska, Poznań 2004.
7. Staszewski W.J., Boller C., Tomlinson G.R.: Health Monitoring of Aerospace Structures. John Wiley & Sons, Ltd. Munich, Germany 2004.
8. Tomaszewski F.: Redukcja informacji diagnostycznej w rozpoznawaniu stanu maszyn. Diagnostyka. Vol. 26, PTDT, Olsztyn, 2002.
9. Tylicki H., Żółtowski B.: Forecasting of Technical Condition of the Mechanical Vehicles. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, vol.49, Nr.2, Warsaw 2001.
10. Tylicki H.: Badanie ewolucji stanu maszyn. Diagnostyka, vol.25 Warszawa 2001.
11. Tylicki H., Żółtowski B.: Rozpoznawanie stanu maszyn. Wydawnictwo ITE Radom. Radom – Bydgoszcz 2010.
12. Tylicki H.: Sprawozdanie z realizacji prac badawczej „Techniki wirtualne w badaniach stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn” I, II, III, IV kwartału 2011r.. Bydgoszcz 2011.
13. Żółtowski B., Castaneda L.: Sistema Portail de Diagnostico para el Sistema Metro de Medellin. VIII Congreso Internacional de Mantenimiento, Bogota, Columbia 2006.

On-board diagnostic systems of transportation vehicles

The article focuses on issues regarding the construction of on-board diagnostic systems for transportation vehicles. The author depicts system procedures and how they function during the exploitation of transportation vehicles.

Autor:

Prof. dr hab. inż. **Henryk Franciszek Tylicki** – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Stanisława Staszica w Pile, Instytut Politechniczny.