BADANIE JAKOŚCI DIAGNOZY MASZYN

Henryk TYLICKI
Joanna ŻÓŁTOWSKA

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy
Wydział Mechaniczny
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
tel. (52) 340 82 83
tylicki@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie
W opracowaniu przedstawiono problematykę badania jakości procesu wyznaczania testów i programów diagnostycznych stanu technicznego maszyn. Zaprezentowano także algorytmy wyznaczania testów i programów diagnostycznych stanu technicznego maszyn.

Słowa kluczowe: ocena stanu technicznego maszyn, algorytmizacja i implementacja procedur wyznaczania testów i programów diagnostycznych.

THE INVESTIGATION OF DIAGNOSIS MACHINE QUALITY

Summary
The problems of investigation of quality process marking the tests and diagnostic program of machine technical state in study was introduced. The algorithms of marking the tests and diagnostic program of machine technical state were presented also.

Key words: opinion of machines technical state, algorithmization and implementation of marking procedures of tests and diagnostic programmes.

1. WPROWADZENIE

Intensywny rozwój maszyn o coraz wyższym poziomie konstrukcyjnym i technologicznym stworzył wiele problemów natury technicznej i organizacyjnej. Jednym z tych problemów jest zapewnienie szybkiej i wiarygodnej informacji o stanie technicznym maszyny. Osiągnięcie tego celu jest możliwe pod warunkiem dostarczenia użytkownikowi efektywnych i optymalnych testów i programów diagnozowania.

2. CHARAKTERYSTYKA ZAGADNIENIA

Zastosowanie w procesie eksploatacji metod oceny stanu technicznego maszyn, będących podstawą automatyzacji procesu rozpoznawania ich stanu, wymaga optymalizacji: zbioru parametrów diagnostycznych, testów i programów diagnostycznych, metod genezowania i metod prognozowania. Rozwiązanie tych zadań zależy od wielu czynników związanych ze stopniem złożoności maszyn, wykorzystaniem obserwacji wielosymptomowych, jakości procesu eksploatacji oraz procesu zużycia.

W procesie rozpoznawania stanu szczególnie obok wyznaczenia zbioru sygnałów diagnostycznych, metody prognozowania i genezowania wydaje się być ważna problematyka wyboru metody wyznaczania testów i programów diagnostycznych w zależności od wiarygodności diagnozy, ilości informacji, prawdopodobieństwa uszkodzenia zespołów maszyny i kosztu testu lub programu diagnostycznego;

Przystępując do wyznaczania jednego z elementów rozpoznawania stanu jakim są programy kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń, prognozy oraz genezy stanu maszyn natrafia się na problemy, które obszarze badanie jakości zbioru sygnałów diagnostycznych maszyny sprowadzają się do następujących pytań:

a) czy optymalny program lub test diagnostyczny jednoznacznie wyznacza diagnozę maszyny?
b) czy jest wiarygodny ?
c) czy uzyskana diagnoza zawiera odpowiednią ilość informacji o stanie maszyny?

Skutkuje to oczywiście koniecznością udzielenia odpowiedzi na pytania, co możliwe będzie odpowiednich analiz i badań w zakresie badania proponowanych procedur wyznaczania programu lub testu diagnostycznego w aspekcie możliwości ich wykorzystania w procesie rozpoznawania:

a) określenie optymalnej metody wyznaczania programu lub testu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń w funkcji wiarygodności diagnozy;
b) określenie optymalnej metody wyznaczania testu lub programu kontroli stanu maszyny;
c) określenie optymalnej metody wyznaczania testu lub kontroli lokalizacji uszkodzeń maszyny,
d) określenie optymalnej metody wyznaczania testu lub kontroli stanu maszyny i lokalizacji uszkodzeń maszyny.

Rozwiązanie tego bardzo obszernego problemu powinien być osiągnięty w wyniku realizacji następujących celów cząstkowych:

a) wyboru metody wyznaczania optymalnego testu oraz programu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń w zależności od:
   - wiarygodności diagnozy,
   - liczebności zbioru parametrów diagnostycznych,
   - czasu pracy maszyny;
b) opracowanie i implementacja algorytmów wyznaczania testów i programów kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń maszyn;
c) badanie wpływu czasu pracy maszyny na optymalny test lub diagram diagnostyczny.

3. METODY WYZNACZANIA TESTÓW I PROGRAMÓW DIAGNOSTYCZNYCH

3.1. Budowa testu i programu diagnostycznego kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń

W celu wyróżnienia zbioru $\hat{D}$ proponuje się zastosować następujące kryteria $d_{\hat{d}} \in D_{\hat{D}}$ oraz procedury $\varphi(\hat{D}) \in \Phi(\hat{D})$:

$d_{\hat{D}1}$ - kryterium rozróżnialności stanów obiektu;

$d_{\hat{D}2}$ - kryterium maksymalnej ilości informacji o stanie technicznym obiektu;

$d_{\hat{D}3}$ - kryterium maksymalnej rozróżnialności stanów obiektu;

$d_{\hat{D}4}$ - kryterium zmodyfikowanego wskaźnika skuteczności informacyjnej;

$d_{\hat{D}5}$ - kryterium minimalnego kosztu (czasu) programu diagnostycznego.

Odpowiednio dla tak określonych kryteriów $d_{\hat{D}i}(D_D)$ formułuje się odpowiednio procedury $\varphi_{\hat{D}i} \in \Phi_{\hat{D}}$:

$\varphi_{\hat{D}1}$ - procedura budowy testu metodą macierzy boolowskiej;

$\varphi_{\hat{D}2}$ - procedura budowy testu metodą informacyjną;

$\varphi_{\hat{D}4}$ - procedura budowy zmiennego programu diagnostycznego;

$\varphi_{\hat{D}5}$ - procedura budowy programu diagnostycznego metodą programowania dynamicznego.

3.1.1. Metoda macierzy boolowskiej

W wyniku realizacji metody otrzymuje się test do kontroli zdatności D_{KZ} lub test do lokalizacji uszkodzeń D_{LU}. W pierwszym przypadku na podstawie macierzy binarnej M_b^d (tabeli stanu) należy utworzyć macierz boolowską M_b^{KZ} do kontroli zdatności, w której w miejsce stanów wprowadza się podzbiór par rozróżnialnych stanów S_o, S_i, $i = \overline{1,k}$, o postaci:

$$M_b^{KZ} = \begin{array}{c} \\ S_o, S_1 \\ S_o, S2 \\ \vdots \\ S_o, S_i \\ \vdots \\ \vdots \\ S_o, S_k \end{array} \begin{array}{c} y_1, \; y_2, \; \cdots, \; y_j, \; \cdots, \; y_m \\ \left[\begin{array}{ccc} & | & \\ & | & \\ & | & \\ ------- & - & \\ & & \\ & & \\ & & \end{array} \right] \end{array} \tag{1}$$

$$M_{bij}^{KZ} = \begin{cases} 0 \text{ gdy } \left(1 - M_{bij}^{d}\right) = 0 \\ 1 \text{ gdy } \left(1 - M_{bij}^{d}\right) = 1 \end{cases} \tag{2}$$

Występujące w elementach macierzy $M_{bij}^{KZ} \in M_b^{KZ}$ jedynki oznaczają rozróżnialność stanu $S_i \in S$ przy pomocy parametru $y_j \in Y$, zaś zera – nierozróżnialność. Analizując następnie macierz M_b^{KZ}, do testu D_{KZ} wybiera się taki parametr

$y_j \in Y$, który w kolumnie posiada maksymalna liczbę jedynek.

W przypadku gdy j-ta kolumna nie zawiera samych jedynek, szuka się brakujących jedynek w n-tej kolumnie i w przypadku ich wystąpienia dołącza się wówczas n-ty parametr $y_n \in Y$ do testu $\hat{D}_{KZ}$.

Wówczas test $\hat{D}_{KZ}$ przyjmuje postać:

$$\hat{D}_{KZ} = \{y_j, y_n\};\ \hat{D}_{KZ} = \{d_j, d_n\} \tag{3}$$

dj – sprawdzenie wartości parametru y_j.

W przypadku określania elementów testu D_{LU} należy utworzyć macierz boolowską M_b^{LU} do lokalizacji uszkodzeń, w której w miejsce stanów wprowadza się podzbiór par stanów S_l, S_i; $l = \overline{1,k}$; $i = \overline{1,k}$; $i \neq L$, o postaci:

$$M_b^{KZ} = \begin{array}{c} \\ S_1, S_1 \\ S_1, S2 \\ \vdots \\ S_l, S_i \\ \vdots \\ \vdots \\ S_{k-1}, S_k \end{array} \begin{array}{c} y_1,\ y_2,\ \cdots,\ y_j,\ \cdots,\ y_m \\ \left[\begin{array}{c} | \\ | \\ | \\ -\,-\,-\,-\,-\,-\,-\ \ - \\ \\ \\ \\ \end{array} \right] \end{array} \tag{4}$$

$$M_{blij}^{LU} = \begin{cases} 0 \text{ gdy } \left| \mathrm{M}_{\mathrm{blj}}^{\mathrm{d}} - M_{bij}^{d} \right| = 0 \\ 1 \text{ gdy } \left| \mathrm{M}_{\mathrm{blj}}^{\mathrm{d}} - M_{bij}^{d} \right| = 1 \end{cases} \tag{5}$$

Występujące w elementach macierzy $\mathrm{M}_{\mathrm{blij}}^{\mathrm{KZ}} \in \mathrm{M}_{\mathrm{b}}^{\mathrm{KZ}}$ jedynki oznaczają rozróżnialność między stanami $S_l \in S$ i $S_i \in S$ przy pomocy parametru $y_j \in Y$, zaś zera nierozróżnialność.

Analizując następujące macierze M_b^{LU}, do testu D_{LU} wybiera się taki parametr $y_j \in y$, który w kolumnie posiada maksymalną liczbę jedynek. W przypadku gdy j- ta kolumna nie zawiera samych jedynek należy szukać brakujących jedynek w n- tej kolumnie lub w $n+1$ kolumnie.

W przypadku ich występowania dołącza się n- ty i $n+$ 1-ty parametry do testu D_{LU} . Wówczas test D_{LU} przyjmuje postać:

$$D_{LU} = \{y_j, y_n, y_{n+1}\} \tag{6}$$

$$D_{LU} = \{d_j, d_n, d_{n+1}\}. \tag{7}$$

3.1.2. Metoda informacyjna

Metoda ta polega na tym, że przy wyborze sprawdzeń $d_j \in D$ parametrów $y_j \in Y$ do testu $\hat{D}$ wykorzystuje się ilość informacji o stanie technicznym maszyny dostarczonym przez każde sprawdzenie $d_j \in \hat{D}$ Przyjmując, że maszyna może znajdować się w jednym ze stanów $s_i \in S$ i oznaczając przez p_i prawdopodobieństwo znalezienia się obiektu w stanie $s_i \in S$, nieokreśloność stanu obiektu można wyrazić jego entropią:

$$E(s) = -\sum_{i=0}^{k} p(s_i) \cdot \lg_2 p(s_i) \tag{8}$$

Każde sprawdzenie d_j zawiera pewną ilość informacji $I(d_j)o$ o stanie technicznym obiektu S. Jak przyjęto w pracy [1] ilość informacji jakiej można dostarczyć badanie parametru y_j jest równa entropii $E(y_j)$ badania parametru y_j .

Przyjmując powyższe, aby zbudować program D, przy wykorzystaniu metody skuteczności informacyjnej należy:

1. Określić entropię początkową maszyny

$$E(s) = -\sum_{i=1}^{k} p(s_i) \cdot \lg_2 p(s_i) \tag{9}$$

2. Dokonać wyboru pierwszego parametru diagnostycznego do testu $\hat{D}_T(a = 1)$, wg kryterium:

$$y(a) = \lfloor y_j : \eta(d_j) \rfloor = \max_{y_j \in Y} \eta(d_j) \tag{10}$$

gdzie:

$\eta(d_j)$ - wskaźnik skuteczności informacyjnej

$$\eta\left(d_j\right)=\frac{I\left(d_j\right)}{c\left(d_j\right)} \tag{11}$$

$$I\left(d_j\right)=-\sum_{w=0j}^{1} p\left(y_j^w\right)\cdot \lg_2 p\left(y_j^w\right) \tag{12}$$

$$p\left(y_j^w\right)=\sum_{i=1}^{k} p\left(s_i / y_j^w\right) \tag{13}$$

gdzie:

$p\left(y_j^w\right)$- prawdopodobieństwo uzyskania wyniku sprawdzenia W przy badaniu parametru y_j

W=0 - negatywny wynik sprawdzenia, $y_j = y_{gr}$

w=1 - pozytywny wynik sprawdzenia, $y_j \neq y_{gr}$

$c\left(y_j\right)$ - koszt badania j-tego parametru y_j

3. Wybór następujących parametrów diagnostycznych do testu $\hat{D}$ dokonywać wg kryterium z pkt. 2, przy czym:

$$\eta_j = \frac{I\left(y_j / y_{(1)}, y_{(2)},..., y_{(a)}\right)}{c\left(y_j\right)} \tag{14}$$

$$I\left(y_j / y_{(1)}, y_{(2)},..., y_{(a)}\right)=\sum_{W_1}^{W_a} p\left(y_{(1)}^{W_1}, y_{(2)}^{W_2},..., y_{(a)}^{W_a}\right)\cdot I\left(y_j / y_{(1)}^{W_1}, y_{(2)}^{W_2},..., y_{(a)}^{W_a}\right) \tag{15}$$

$a=\overline{1.A}$ - zbiór numerów parametrów wybranych do testu $\hat{D}$,

$b=\overline{1.B}$ - zbiór numerów parametrów nie wybranych do testu $\hat{D}$

$W_a = 0$

$$p=\left(y_j / y_{(1)}^{W_1}, y_{(2)}^{W_2},..., y_{(a)}^{W_a}\right)=\sum_{i=1}^{k} p\left(s_{i(1)}^{W_1}, y_{(2)}^{W_2},..., y_{(a)}^{W_a}\right) \tag{16}$$

4. Sprawdzić warunek końca obliczeń jeśli:

$$I\left(y_{(1)}\right)+I\left(y_{(2)} / y_{(1)}\right)+...+I\left(y_{(A)} / y_{(1)}, y_{(2)},..., y_{(A-1)}\right)\geq E(s) \tag{17}$$

to test diagnostyczny przyjmuje postać:

$$D_T = \left\langle y_1, y_2,..., y_A \right\rangle \tag{18}$$

W przeciwnym przypadku należy przejść do wyboru następnego parametru diagnostycznego, tzn. kontynuować obliczenia wg punktu 3.

Przedstawiony algorytm przedstawia test diagnostyczny $\hat{D}$, który określa jednocześnie stan techniczny obiektu. Jego wykorzystanie do D_{KZ} i D_{LU} zależy od określenia macierzy M_d^b i wektora prawdopodobieństwa $\left\{p\left(s_i\right)\right\}$.

W przypadku testu kontroli zdatności obiektu $\hat{D}_{KZ}$ dla wykorzystania przedstawionego algorytmu należy tak skonstruować macierz bierną M_d^b, aby jeden z jej wierszy odpowiadał stanowi zdatności $s_0 \in s$. Elementy macierzy w tym wierszu powinny mieć wartość O co oznacza, że żadne ze sprawdzeń $d_j \in \hat{D}$ nie daje żadnej informacji o uszkodzeniach obiektu.

Trzeba też odpowiednio ustalić wektor prawdopodobieństwa a'priori występowania stanów $\left\{p\left(s_i\right)\right\}$. Proponuje się przyjąć:

$$\sum_{i=1}^{k} p\left(s_i\right)=0{,}5 \tag{19}$$

oraz

$$p\left(s_o\right)=0{,}5\ , \tag{20}$$

co przy braku wyników badań niezawodnościowych umożliwia obliczenie:

$$p\left(s_i\right)=\frac{1}{2k} \tag{21}$$

przy spełnieniu warunku

$$\sum_{i=0}^{k} p\left(s_i\right)=1\ . \tag{22}$$

W przypadku testu lokalizacji uszkodzenia obiektu $\hat{D}_{LU}$ dla wykorzystania przedstawionego algorytmu macierz M_d^b zawiera już wiersze charakteryzujące stany z podzbioru niezdatności

$$S^1 = \left\{s_i\right\}\ i = \overline{1,\ k}\ . \tag{23}$$

Przy braku wyników niezawodnościowych wektor prawdopodobieństw a`priori proponuje się określić jako:

$$p\left(s_i\right)=\frac{1}{K} \tag{24}$$

przy spełnieniu warunku:

$$\sum_{i=1}^{k} p\left(s_i\right) = 1 \tag{25}$$

3.1.3. Metoda zmiennego programu diagnostycznego wg wskaźnika skuteczności informacyjnej

Metoda ta stanowi pewne rozwinięcie metody informacyjnej przedstawionej powyżej. Wykorzystując zmodyfikowany wskaźnik skuteczności informacyjnej

$$\eta_j = \frac{I(d_j)}{c(d_j)} \tag{26}$$

gdzie: $c(d_j)$ – koszt sprawdzenia $d_j \in \hat{D}$ umożliwia jednoczesne wyznaczenie zmiennego programu kontroli zdatności i lokalizacji uszkodzeń $\hat{D}_Z$.

Podstawę do obliczeń stanowią:

- zbiór sprawdzeń wyznaczony według odpowiedniego algorytmu;
- macierz binarna M_d^b.
- wektor prawdopodobieństwa a`priori występowania stanów.

Wyznaczenie programu $\hat{D}_Z$ przeprowadza się wówczas wg następującej procedury:

1. Na podstawie macierzy M_d^b wyznaczyć koszty umowne dla każdego sprawdzenia $d_j \in \hat{D}$ według wyrażenia (w przypadku gdy koszty są nieznane)

$$c\left(d_j\right) = \frac{k - b(j)}{k} \tag{27}$$

gdzie: b(j) – liczba „1" w j-tej kolumnie macierzy M_d^b.

Wyznaczenie umownych kosztów zapewnia, że sprawdzenie d_j „posiadajace" maksymalną liczbę „1" w macierzy M_d^b / szybko identyfikuje stan niesprawności $s_i \in S^1$ /, będzie najtańsze.

2. Wybrać pierwszy parametr diagnostyczny wspólny dla całego programu wg kryterium skuteczności informacyjnej:

$$y_{(1)}^i = \left[y_i : \eta_j = \max\left(\eta\left(y_i\right)\right)\right] \tag{28}$$

$$\eta_j = \frac{I\left(y_j\right)}{} \tag{29}$$

$$I\left(y_j\right) = -\sum_{W=0}^{W=1} p\left(y_j^w\right) \cdot \lg_2 p\left(y_j^w\right) \tag{30}$$

$$p\left(y_j^w\right) = \sum_{i=1}^{k} p\left(s_i / y_j^w\right) \quad w = 0\gamma 1 \tag{31}$$

,

Wybrany w ten sposób parametr diagnostyczny dzieli zbiór stanów obiektu na dwa podzbiory. O przynależności stanów do jednego /lub drugiego/ z nich decyduje pozytywny/ lub negatywny/ wynik sprawdzenia tego parametru.

3. Wybrać kolejne parametry diagnostyczne, różne dla „i"-tych zmiennych programów diagnostycznych (w zależności od zbioru wybranych już parametrów dla danego stanu) korzystając z kryterium maksymalnej ilości informacji:

$$y_a^i = \left[y_a^i : I\left(y_j^i / y_{(1)}^i\right), y_{(2)}, \ldots, y_{(a)}^i = \max I\left(y_j^i\right)\right] \tag{32}$$

gdzie: $I_j^i\left(y_j^i / y_{(1)}^i, y_{(2)}^i, \ldots, y_{(a)}^i\right)$ - określone jak w punkcie 6.1.4.2, z tą jednak różnicą, że odnalezienie dla określonych już wcześniej podzbiorów.

Wyboru kolejnych parametrów diagnostycznych dla i-tego zmiennego programu diagnostycznego dokonuje się tak długo, aż wskutek kolejnego podziału podzbiorów otrzyma się zbiór jednoelementowy, co jest równoznaczne z identyfikacją jednego ze stanów obiektu.

4. Sprawdzić warunek końca obliczeń.

- Wybór wszystkich A parametrów diagnostycznych /ze wzoru $\hat{D}$/ do „i"-tych zmiennych parametrów diagnostycznych lub
- wcześniejsze określenie zmiennego programu diagnostycznego $\hat{D}_z$ /kolejne podziały na podzbiory dały w efekcie zbiory jednoelementowe/ w postaci:

$$\hat{D}_z = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & y_3 - y_5 \\ y_1 & -y_2 \ldots & . \\ \vdots & \vdots & \vdots \quad \vdots \\ -y_1 & y_3 & \ldots \quad . \\ -y_1 - y_3 & \ldots & . \end{bmatrix} \begin{matrix} \Rightarrow S_1 \\ \Rightarrow S_2 \\ \Rightarrow S_i \\ \vdots \\ \Rightarrow S_k \end{matrix} \tag{33}$$

gdzie i-ty wiersz macierzy $\hat{D}_z$

$$\hat{D}_i = \left[y_{(1)}, y_{(2)}, \ldots, y_{(5)}\right] \tag{34}$$

oznacza zmienny program diagnostyczny dla lokalizacji i-tego stanu.

Jeżeli nie zachodzi jeden z powyższych przypadków /a, b/ należy kontynuować wybór kolejnych sprawdzeń d_j parametrów y_j do programu diagnostycznego wg punktu 3

Interpretacja otrzymanego w postaci macierzy $\hat{D}_z$, zmiennego programu diagnostycznego jest następująca:

-dokonać sprawdzenia $d_{(1)}$ pierwszego parametru $y_{(1)}$,

-w przypadku pozytywnego wyniku sprawdzenia $d_{(1)}$ dokonać sprawdzenia $d_{(2)}$ wartości parametru $y_{(2)}$,

- w przypadku pozytywnego wyniku sprawdzenia $d_{(2)}$ dokonać sprawdzenia $d_{(3)}$ wartości parametru $y_{(3)}$,

- w przypadku pozytywnego wyniku sprawdzenia $d_{(3)}$ dokonać sprawdzenia $d_{(5)}$ wartości parametru $y_{(5)}$,

- negatywny wynik sprawdzenia $d_5=D_5^0$ lokalizuj stan S_1 obiektu.

Określony w powyższy sposób zmienny program diagnostyczny jest optymalny ze względu na maksimum informacji. Jest to równoważne z dążeniem do maksymalnej równomierności dendrytu programu diagnostycznego, co prowadzi do minimalizacji liczby sprawdzeń wchodzących w skład pełnego programu diagnostycznego $\hat{D}_Z$.

Wprowadzenie w pierwszym punkcie algorytmu kryterium skuteczności informacyjnej ma na celu przystosowanie algorytmu do wyznaczania programu zabezpieczającego kontrolę zdatności jak i też lokalizację uszkodzeń.

3.4.5. Metoda klasyfikacji stanów maszyny

Analiza literaturowa badań w zakresie rozpoznawania stanów maszyn pozwoliła na stwierdzenie możliwości wykorzystania kwalifikowania rejestrowanych przebiegów zmian wartości parametrów diagnostycznych w procesie diagnozowania. Możliwości takie ukazuje rozwiązanie zastosowane w rozpoznawaniu stanów układu hydraulicznego koparki [3]. Polega to na opracowaniu specjalistycznej aplikacji, przeznaczonej do kwalifikowania zarejestrowanych zmian wartości parametru diagnostycznego do określonej klasy. Możliwe są wówczas do wyróżnienia są następujące klasy:

a) klasa 1 – układ hydrauliczny (zespół) zdatny;
b) klasa 2 – układ hydrauliczny (zespół) niezdatny;
c) klasa 3 – układ hydrauliczny (zespół) zdatny zadaniowo (stany alertowe, zagadnienia prognozowania stanu).

Przyporządkowanie stanu do jednej z wymienionych klas wymaga uprzedniego określenia:

a) parametru diagnostycznego;
b) miary parametru diagnostycznego;
c) wartości granicznych miary parametru diagnostycznego.

Rozpoznanie i zaliczenie obserwacji do klasy pozwala na wygenerowanie diagnozy stanu technicznego obiektu. Statystyczne kryterium podejmowania decyzji oparte jest na algorytmie rozpoznawania Bayesa [3],. Niech χ^P, gdzie P wymiar wektora parametrów, będzie przestrzenią obserwacji. Niech M będzie przestrzenią klas i równocześnie (dla uproszczenia) przestrzenią decyzji. Dla zadanych (lub estymowanych) prawdopodobieństw pojawia się obserwacja (obraz) x z danej klasy m, tzn. P_1, P_2, …, P_M, oraz dla zadanych, estymowanych rozkładów gęstości M prawdopodobieństw warunkowych $Q(x|1)$, $Q(x|2)$, $Q(x|M)$. Statystyczne rozpoznawanie polega na przyporządkowaniu losowo pojawiającemu się obrazowi $x = (x_1, x_2, ..., x_p …, x_M) \in \chi^P$; decyzji o jej przynależności do jednej z klas.

Funkcję $\Psi(x)$ dla której obraz $x \in m$ nazywamy regułą decyzyjną.

Wprowadzając pojęcie ryzyka średniego $R(\Psi)$:

$$R(\Psi) = R_m(x) = \sum_{l=1}^{M} c_{m,l} P\,(l/x), \tag{35}$$

gdzie: $c_{m,l}$ – element macierzy strat, który określa wartość straty wynikającej z zaliczenia obserwacji (obrazu) z klasy 1 jako należącą do klasy m.

Ponieważ prawdopodobieństwo $P(l|x)$ z jakim rozpoznawany obraz reprezentuje klasę m jest związane z gęstością prawdopodobieństw warunkowych, zależnością Bayesa:

$$P(m|x) = \frac{Q(x/m)P_m}{\sum_{l=1}^{M} Q(x/l)P_l}; \tag{36}$$

$m = 1, 2, ... , M$

oraz uwzględniając fakt że dla danego obrazu x mianownik zależności na $P(x|m)$ jest stały można zależność na ryzyko średnie sprowadzić do postaci:

$$R_m(x) = \sum_{l=1}^{M} c_{m,l} Q(x/l) P_l\,. \tag{37}$$

Wobec tego reguła rozpoznawania Bayesa $\Psi(x)$ przyjmie następującą postać:

$$\Psi(x) = m \quad \text{tzn. } x \in m \tag{38}$$

jeśli:

$$R_m(x) < R_l(x); \text{ jeśli } \bigwedge_{k \neq l}; \ k = 1,M. \tag{39}$$

Sytuacja, kiedy znamy wartości wszystkich rozkładów jest sytuacją idealną i w praktyce nie występuje.

Wiele systemów rozpoznających, oparte są na prostym pomyśle przypisania obserwacji do klasy, do której ma ona najbliżej. W algorytmach rozpoznawania nieparametrycznego występują określone związki pomiędzy dwoma obserwacjami (obrazami), lub też między obserwacją a jej wzorcem danej klasy, nazywane funkcjami podobieństwa FP. Są one miarą umożliwiającą realizację reguły decyzyjnej. Funkcje podobieństwa mogą występować w postaci funkcji odległości (w skrócie zwanej odległością), lub funkcji bliskości. Do najczęściej stosowanych algorytmów wykorzystujących tę metodę klasyfikacyjną należą:

a) metoda najbliższego sąsiada (zastosowano ją jako klasyfikator w postaci makra);
b) metoda k - najbliższych sąsiadów (stanowiący modyfikację tej pierwszej).

Algorytm NN (Nearest Naighbour – najbliższy sąsiad) działa na zasadzie przypisania nowej obserwacji x do znanych wcześniej klas ciągu uczącego CU [3].

W procesie rozpoznawania właściwego pojawia się nowa obserwacja (obraz), którego przypisanie do określonej klasy jest nieznane $\{x\} \in \chi^P$. Procedura algorytmu NN dokonuje obliczenia funkcji podobieństwa (najczęściej odległości) pomiędzy wszystkimi obserwacjami (obrazami) ciągu uczącego CU, a nieznaną (nową) obserwacją x:

$$FP(x, W_{m,i}) \tag{40}$$

dla $m = 1, 2, \ldots, M$, $i = 1, 2, \ldots, I_m$

przy czym $W_{m,i} = x(m,i)$

Po obliczeniu wszystkich funkcji podobieństwa wyszukiwana jest najmniejsza z nich (w przypadku odległości), a jako decyzja klasyfikatora podawana jest nazwa (kod) lub numer klasy do której należał obraz ciągu uczącego i który okazał się najbardziej bliski, w sensie funkcji podobieństwa do obrazu rozpoznawanego:

$$\Psi(x) = m \text{ dla } x \in m \tag{41}$$

jeśli:

$$FP(x, W_{m,l}) < FP(x, W_{l,l}) \tag{42}$$

$$\text{dla } \bigwedge_{m \neq l}; \ m, l = 1, 2, \ldots, M. \tag{43}$$

Metoda najbliższego sąsiada pomimo znacznego czasu rozpoznawania, charakteryzuje się wysoką dokładnością rozpoznawania wynoszącą 90% [3]. Uwzględniając takie kryteria jak: rodzaj obrazu (400 wektorów), możliwości obliczeniowe sprzętu i dostępnych programów, czas rozpoznawania i dokładność oraz wykorzystując pakiet Visual Basic dla aplikacji w MS Excel, opracowano program do rozpoznawania oscylogramów.

W zaproponowanym rozwiązaniu jako funkcję podobieństwa, z wielu stosowanych w algorytmach minimalno – odległościowych, możliwe jest zastosowanie odległości Euklidesowej:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^{p} \left(x_{ik} - x_{jk}\right)^2} \tag{44}$$

Określenie zbioru uczącego realizuje się podczas badań układów hydraulicznych i polega na rejestrowaniu zmian wartości parametrów diagnostycznych dla układów hydraulicznych (zespołów) zdatnych. Tworzy się w ten sposób macierz danych należących do klasy 1. Następnie wprowadzając kolejne rozregulowania i uszkodzenia, dokonuje się rejestracji zmian wartości parametrów diagnostycznych dla układów hydraulicznych (zespołów) niezdatnych i zdatnych zadaniowo tworząc macierz obserwacji.

4. Wnioski

Przeprowadzona prezentacja różnych możliwości budowy testów i programów diagnostycznych maszyn pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wszystkie prezentowane algorytmy pozwalają wyznaczyć optymalne, ze względu na przyjmowane kryterium, testy i programy diagnostyczne.
2. Metoda klasyfikacji stanu maszyny, ze względu na to, że nie korzysta z macierzy obserwacji: parametr – stan wydaje się być najprostszą, szczególnie w sytuacji niepełnej informacji o relacji: parametry diagnostyczne – stany maszyny.
3. Ze względu na powyższe w celu określenia zbioru parametrów diagnostycznych proponuje się do dalszych badań procedurę φ_{y^2} oraz metodę klasyfikacji stanu maszyny.

LITERATURA

[1] Gołębiowski A., Tylicki H.: Model procesu rozpoznawania stanu technicznego obiektów. WAT. Warszawa 1987.
[2] Cholewa W., Kaźmierczak J.: Data processing and reasoning in technical diagnostcs. WNT, Warszawa 1995.
[3] Surówka L.: Diagnozowanie układów hydraulicznych. Materiały seminarium KMRiP, ATR . Bydgoszcz 2004.
[4] Tylicki H.: Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1998.
[5] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki technicznej. Wydawnictwa uczelniane ATR, Bydgoszcz 1997.

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego KBN nr 4 T07B 033 26

Informacje o Autorach znajdują się na stronie 62.