

**REDUKCJA INFORMACJI DIAGNOSTYCZNEJ W ROZPOZNAWANIU STANU
MASZYN**

Henryk TYLICKI

Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów, Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno – Rolnicza
ul. S.Kaliskiego 7, 85-763 Bydgoszcz, e-mail: tylicki@atr.bydgoszcz.pl**Streszczenie**

W opracowaniu przedstawiono problematykę wyznaczania zbioru parametrów diagnostycznych dla potrzeb tworzenia programów i testów oceny stanu technicznego maszyn. Zaprezentowano algorytmy wyznaczania optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych na przykładzie zespołów układu zasilania w energię elektryczną instalacji elektrycznej pojazdu mechanicznego.

Słowa kluczowe: informacja diagnostyczna, stan maszyn, parametr diagnostyczny.

THE REDUCTION OF DIAGNOSTICS INFORMATION IN RECOGNIZING OF STATE MACHINES**Summary**

In the paper there was presented issues on establishing the set of diagnostic parameters for needs of creation of programs and estimation tests of machine technical states. The algorithm of estimating of diagnostic parameters optimum on an example of vehicle wiring was described.

Keywords: diagnostic information, machine state, diagnostic parameter.

1. WPROWADZENIE

Intensywny rozwój urządzeń technicznych 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 obiektu. Osiągnięcie tego celu jest możliwe pod warunkiem dostarczenia użytkownikowi efektywnych i optymalnych programów diagnozowania. Jednym z ważniejszych problemów występujących w trakcie budowy tych programów jest problem określenia optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych obiektu.

2. CHARAKTERYSTYKA ZAGADNIENIA

Parametry stanu technicznego obiektu \bar{W} są wielkościami zmiennymi w czasie $\bar{W} = \bar{W}(\Theta)$, bowiem zależą od przebiegu procesów wymuszających starzenie. Zostało ustalone [1], że parametry diagnostyczne mogą odzwierciedlać stan techniczny urządzeń i zależą od zmian parametrów stanu i czasu :

$$\bar{Y} = \bar{Y}(\bar{W}, \Theta) \quad (1)$$

stąd określenie ich umożliwia rozpoznanie stanu technicznego obiektu.

Zbiór parametrów diagnostycznych Y wyróżnia się ze zbioru parametrów wyjściowych Y_{WY} , które opisują przebieg procesów wyjściowych (procesy robocze i towarzyszące), zależnych od stanu technicznego obiektu :

$$\bar{Y}_{WY} = \bar{Y}_{WY}(\bar{W}, \Theta) \quad (2)$$

Wzajemny związek parametrów stanu \bar{W} i parametrów wyjściowych pozwala przy spełnianiu podanych poniżej warunków, parametry wyjściowe $y_{WYJ} \in Y_{WY}$ wstępnie traktować jako parametry diagnostyczne oraz określić punkty pomiarowe w obiekcie technicznym.

Warunkami tymi są [2,3]:

1. Warunek jednoznaczności - każdej wartości parametru stanu $W_i \in \bar{W}$ odpowiada tylko jedna zdeterminowana wartość parametru wyjściowego $y_{WYJ} \in Y_{WY}$

$$\frac{dy_{WYJ}}{dW_i} \neq 0 \quad (3)$$

2. Warunek szerokości pola zmian - największa względna zmiana wartości parametru wyjściowego $y_{WYJ} \in Y_{WY}$ dla zadanej wartości parametru stanu $W_i \in \bar{W}$

$$\max_j \left(\frac{dy_{WYJ}}{dW_i} \right) \quad (4)$$

3. Warunek dostępności pomiaru parametru wyjściowego - charakteryzuje się poprzez wskaźnik kosztu pomiaru c_j lub czasu pomiaru t_j , przy czym narzuca się minimalizację tych wskaźników :

$$\begin{aligned} \min_j(c_j) \\ \min_j(t_j) \end{aligned} \quad (5)$$

4. Warunek mierzalności.
Warunek formułuje się dla funkcji $\bar{Y}_{WY} = \bar{Y}_{WY}(W, \Theta)$. Dowolna funkcja parametrów stanu jest zależna od W_1, W_2, \dots, W_n oraz Θ . Ograniczono się jednak do omówienia teorii miary zbiorów płaskich a więc dla $\bar{Y} = \bar{Y}(W_1, W_2)$, gdyż konstrukcja i dowody dla wyższych wymiarów są podobne.

Korzysta się przy tym z opisu własności funkcji jednej zmiennej $\bar{Y} = \bar{Y}(W_1)$.

Twierdzi się wówczas, że funkcja $\bar{Y}(W_1)$ jest mierzalna, jeżeli dla każdego k mierzalny jest zbiór [1,2] :

$$\{W_1: Y_j(W_1) < K\} \quad (6)$$

Spełnienie warunków $1 \wedge 2 \wedge 3 \wedge 4$ wyróżnia wstępnie ze zbioru Y_{WY} zbiór parametrów diagnostycznych Y . W celu dokładniejszego wyróżnienia zbiorów $Y \subset Y_{WY}$ stosuje się następujące kryteria wyboru $d_y \in D_y$ oraz procedury wyboru $\varphi_y \in \Phi_y$:

1. d_{y1} - kryterium minimalnego błędu diagnozy, wyróżnia te parametry, które charakteryzują się minimalnym błędem diagnozy;
2. d_{y2} - kryterium maksymalnej wrażliwości, wyróżnia te parametry, które charakteryzują się maksymalną wrażliwością na zmianę stanu technicznego obiektu;
3. d_{y3} - kryterium maksymalnej rozróżnialności stanów, wyróżnia te parametry, które charakteryzują się maksymalną rozdzielczością między stanami technicznymi obiektu.

Dla tak określonych kryteriów formułuje się odpowiednio procedury :

1. φ_{y1} - procedura wyboru parametrów diagnostycznych wg minimalnego błędu diagnozy.
2. φ_{y2} - procedura wyboru parametrów wg maksymalnej wrażliwości.
3. φ_{y3} - procedura wyboru parametrów wg maksymalnej rozróżnialności stanów.

3. METODY WYBORU PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH

3.1. Wybór parametrów diagnostycznych metodą minimalnego błędu diagnozy

Istotą tej metody jest określenie błędu diagnozy, tzn. obszaru „przykrycia” funkcji gęstości prawdopodobieństw warunkowych parametru $y_j \in Y$ określanego przez Serdakowa [1] zależnością :

$$D = P\left(\frac{S_1}{y_j}\right) \cdot Q_1 + P\left(\frac{S_2}{y_j}\right) \cdot Q_2 \quad (7)$$

zaś prawdopodobieństwo błędu I rodzaju polegającego na zaliczeniu obiektu będącego w stanie zdatności S_1 do stanu niezdatności S_2

$$Q_1 = \int_{y_{gr}}^{+\infty} f\left(\frac{y_j}{S_1}\right) dy_j \quad (8)$$

oraz prawdopodobieństwo błędu II rodzaju polegające na zaliczeniu obiektu będącego w stanie niezdatności S_2 do stanu zdatności S_1

$$Q_2 = \int_{-\infty}^{y_{gr}} f\left(\frac{y_j}{S_2}\right) dy_j \quad (9)$$

Następnie wybór „najlepszego” parametru $y^* \in Y$ poprzez minimalizację błędu diagnozy:

$$y^* = \min_j(D_j) \quad (10)$$

Wybór parametrów diagnostycznych według przedstawionej metody sprowadza się wówczas do :

1. Analizy jakościowej parametrów, polegającej na :
 - badaniu istotności zmian wartości parametrów przy zmianie stanu technicznego obiektu,
 - wyznaczaniu i szacowaniu wartości granicznych y_{gr} według kryterium najmniejszego ryzyka Bayesa przy założeniu wartości kosztów błędów I i II rodzaju.
2. Analizy ilościowej, która polega na wyborze parametrów pod kątem kryterium minimalnego błędu diagnozy.

W wyniku realizacji metody uzyskujemy zbiór parametrów diagnostycznych, którego elementy charakteryzują się dobrymi własnościami rozdzielczymi oraz określone są przedziały ich zmian przy zmianie stanu technicznego obiektu i wartości graniczne $y_{grj}(y_{grd}, y_{grg})$ wraz z błędami diagnozy.

3.2. Wybór parametrów diagnostycznych metodą maksymalnej wrażliwości

Istota tej metody polega na tym, że ze zbioru parametrów Y wybiera się takie, które charakteryzują się największą wartością wskaźnika wrażliwości parametru a_j , który definiuje się jako [2]:

$$a_j = \frac{k_j}{c_j} \quad (11)$$

gdzie: a_j - wskaźnik wrażliwości parametru
 k_j - liczba informacji o zmianie stanu technicznego obiektu :

$$k_j = \sum_{i=1}^k M[i, j]; \quad i = \overline{1, K}, \quad j = \overline{1, K} \quad (12)$$

Wówczas:

$M[i, j]=1$, gdy $y_j \in Y$ zmienia się istotnie w przypadku wystąpienia $s_i \in S$

$M[i, j]=0$, gdy $y_j \in Y$ nie zmienia się istotnie w przypadku wystąpienia $s_i \in S$

c_j - koszt sprawdzenia wartości parametru $y_j \in Y$; $c_j \in [1, 100]$

Wybór „najlepszego” parametru $y \in Y$ sprowadzi się wówczas do określenia maksymalnej wartości a_j , czyli

$$y^* = \max_j (a_j) \quad (13)$$

Następnie dla tak wybranych parametrów diagnostycznych należy określić wartości graniczne y_{gr}^* o ile nie podaje ich producent $y_{gr}^* \in Y_{gr}$.

W wyniku realizacji tej metody uzyskuje się zbiór parametrów diagnostycznych, którego elementy charakteryzują się największą wrażliwością na wystąpienie stanów technicznych obiektu oraz określone są przedziały ich zmian oraz wartości graniczne $y_{gr}^*(y_{grd}^*, y_{grg}^*)$ wraz z błędami diagnozy.

3.3. Wybór parametrów diagnostycznych metodą maksymalnej rozróżnialności stanów obiektu

Istota tej metody polega na wyborze takich parametrów diagnostycznych, których wartości dla poszczególnych stanów technicznych obiektu, przy zadanym poziomie ufności α są najbardziej rozróżnialne. W przypadku wyboru parametru do programu kontroli zdadności obiektu rozróżnialność stanów definiuje się jako „odległość”

$d(t_1(y_j), t_i(y_j))$ między przedziałami ufności parametru $y_j \in Y$ w stanie zdadności $s_o \in S$ i w stanie niezdadności $s_i \in S$, czyli wybór „najlepszego” sprowadzi się do wyboru takiego $y^* \in Y$, który spełnia relację [2]:

$$y_{D_{KZ}}^* = \max_{j=1, m} \min_{i=1, k} [d(t_o(y_j), t_i(y_j))] \quad (13)$$

W przypadku wyboru parametrów do lokalizacji uszkodzeń w obiekcie rozróżnialność stanów charakteryzuje się jako „odległość”:

$$d(t_1(y_j), t_n(y_j)) \quad (14)$$

między przedziałami ufności parametru $y_j \in Y$

dla stanu niezdadności $s_i \in S$ i stanu niezdadności $s_n \in S$, czyli wybór parametru najlepszego sprowadzi się do wyboru takiego $y^* \in Y$, który spełnia relację:

$$y_{\hat{D}_{LU}} = \max_{j=1, m} \min_{l=1, k} \min_{n=1, k} [d(t_1(y_j), t_n(y_j))] \quad (15)$$

W wyniku realizacji tej metody uzyskuje się zbiór parametrów diagnostycznych, którego elementy charakteryzują się największą rozróżnialnością stanów dla programu kontroli zdadności obiektu \hat{D}_{KZ} jak i też dla programu lokalizacji uszkodzeń \hat{D}_{LU} . Ponadto określone zostają wartości graniczne y_{grg} , y_{grd} wybranych parametrów diagnostycznych.

4. PRZYKŁAD LICZBOWY

Obiektem badań były zespoły układu zasilania w energię elektryczną instalacji elektrycznej samochodu STAR 200. Badania eksperymentalne przeprowadzono na 10 samochodach produkcji seryjnej, o przebiegu 1000÷50000 km [1].

Dobór zastosowanej do pomiarów aparatury pomiarowej był uwarunkowany celem badania, który wymaga rejestrowania wartości parametrów wyjściowych w funkcji zmian stanu technicznego obiektu. Do określenia wartości parametrów wyjściowych wykorzystano układy pomiarowe, których dokumentacja i warunki techniczne pomiarów przedstawione są w opracowaniu [2].

4.1. Badanie wpływu stanu technicznego obiektu na wartości parametrów diagnostycznych.

4.1.1. Określenie zbioru stanów S_D

Podstawą do określenia zbioru stanów obiektów jest zbiór wszystkich możliwych stanów obiektów $\Delta = \{\Delta_i\}$ i procedura wyboru stanów $\hat{\phi}_s$, według której tworzy się zbiór stanów obiektu $S = \{S_i\}$

$$S_D = \{S_i : \hat{\varphi}_s\} \quad (16)$$

Określenie zbioru Δ dokonano na podstawie wyników badań [1]. Przy różnych charakterach uszkodzenia dla jednego zespołu wyszczególniono je określając zarazem prawdopodobieństwa ich występowania (w nawiasie).

Układ zasilania w energię elektryczną

a. Akumulator:

- mała zdolność rozruchowa - (0,250),
- chemiczne lub mechaniczne zanieczyszczenia elektrolitu - (0,010),
- utlenienie płyt - (0,250),
- zaszarczenie płyt - (0,250),
- odwrócenie biegunowości - (0,010),
- wykruszenie masy czynnej - (0,020),
- uszkodzenie mechaniczne akumulatora - (0,020),
- zwarcie między płytami - (0,020),
- nieszczelność obudowy akumulatora - (0,050),
- niski poziom elektrolitu - (0,350).

b. Alternator

b1. Twornik alternatora:

- przerwa uzwojenia twornika - (0,250),
- zwarcie międzyzwojowe - (0,250),
- zwarcie międzyfazowe - (0,250),
- zwarcie uzwojenia do masy - (0,250),

b2. Wirnik alternatora:

- przerwa uzwojenia wirnika - (0,250),
- zwarcie uzwojenia wirnika - (0,250),
- słaby docisk szczotek do pierścieni - (0,060),
- uszkodzenie łożysk wirnika - (0,050),
- uszkodzenie paska klinowego - (0,050),
- zakleszczenie się szczotek w trzymadłach - (0,040).

b3. Prostownik alternatora:

- przerwa diody - (0,300),
- zwarcie diody - (0,300),
- uszkodzenie zacisków - (0,200),
- uszkodzenie osadzenia diody - (0,100),
- zwarcie płytki radiatora z masą - (0,100).

c. Regulator napięcia:

- przerwa w obwodzie regulatora - (0,400),
- zwarcie w obwodzie regulatora - (0,200),
- uszkodzenie zacisków regulatora - (0,150),
- uszkodzenie diody Zenera - (0,150),
- uszkodzenie tranzystora pomiarowego - (0,150).

d. Odłącznik akumulatora:

- uszkodzenie styków odłącznika - (0,400),

- przerwa w uzwojeniu elektromagnesu - (0,060),
- zwarcie uzwojenia elektromagnesu - (0,150),
- uszkodzenie włącznika odłącznika - (0,150),
- uszkodzenie zacisków odłącznika - (0,150),
- uszkodzenie bezpieczników odłącznika - (0,090).

Przyjmując następnie procedurę $\hat{\varphi}_s$ określono odpowiednio zbiór stanów $S = \{S_i\}$ w obiekcie. Prawdopodobieństwa stanów niezdatności występujących w elementach obiektu określono, uwzględniając prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń tych elementów, wg zasady :

$$p(S_o) = 0.5$$

$$\sum_{i=1}^k p(S_i) \leq 0.5 \quad (17)$$

Układ zasilania w energię elektryczną

a. Akumulator

- s_1 - nieszczelność obudowy - (0,025),
- s_2 - niski poziom elektrolitu - (0,175),
- s_3 - zaszarczenie płyt - (0,125),
- s_4 - mała zdolność rozruchowa - (0,125).

b. Alternator

b1. Twornik alternatora

- s_5 - przerwa uzwojenia twornika - (0,125),
- s_6 - zwarcie międzyzwojowe - (0,125),
- s_7 - zwarcie międzyfazowe - (0,125),
- s_8 - zwarcie uzwojenia do masy - (0,125).

b2. Wirnik alternatora

- s_9 - przerwa uzwojenia wirnika - (0,125),
- s_{10} - zwarcie uzwojenia wirnika - (0,125),
- s_{11} - słaby docisk szczotek do pierścieni - (0,130),
- s_{12} - niewłaściwy naciąg paska klinowego - (0,150).

b3. Prostownik alternatora

- s_{13} - przerwa diody - (0,150),
- s_{14} - zwarcie diody - (0,150).

c. Regulator napięcia

- s_{15} - przerwa w obwodzie regulatora - (0,20).

d. Odłącznik akumulatora

- s_{16} - uszkodzenie styków odłącznika - (0,20),
- s_{17} - przerwa uzwojenia elektromagnesu - (0,03).

Określony powyżej zbiór stanów technicznych obiektu przyjmuje postać:

$$S = \{S_i\}; \quad i = \overline{1,17}$$

4.1.2. Określenie zbioru parametrów diagnostycznych Y_D

Zgodnie z ustaleniami podstawą do określania zbioru parametrów diagnostycznych jest zbiór parametrów wyjściowych Y_{wy} i procedura wyboru parametrów φ_y , według której tworzy się zbiór parametrów diagnostycznych obiektu $Y_D = \{y_j\}$

$$Y_D = \{y_j : \hat{\phi}_y\} \quad (18)$$

Określenie zbioru Y_{WY} dokonano na podstawie badań [2] oraz na podstawie warunków wyboru zawartych w punkcie 2.

Układ zasilania w energię elektryczną

a. Akumulator :

- siła elektromotoryczna,
- napięcie akumulatora przy rozruchu silnika,
- prąd ładowania akumulatora,
- gęstość elektrolitu,
- poziom elektrolitu,
- intensywność gazowania,
- pojemność akumulatora.

b. Alternator :

- napięcie alternatora przy $n = \text{const}$ i $J_o = \text{const}$. $U = f(J)$,
- napięcie fazowe alternatora,
- napięcie międzyfazowe alternatora,
- stała czasowa T w stanie nieustalonym,
- charakterystyki:
 - $J_w = f(J_o)$ przy $n = \text{const}$.
 - $J_o = f(n)$ przy $U = \text{const}$.
 - $J_w = f(n)$ przy $J_o = \text{const}$.
- rezystancja obwodu wzbudzenia,
- napięcie paska klinowego,
- wysokość szczotek,
- rezystancja diod prostowniczych,
- wskazania amperomierza,
- spadek napięcia na diodzie.

c. Regulator alternatora RE-14 :

- wskazania amperomierza,
- napięcie alternatora przy $n = \text{const}$.
- charakterystyka $I_w = f(n)$, $J_o = \text{const}$.
- charakterystyka $U = f(n)$, $J_o = \text{const}$.

Przyjmując procedury wstępnego określania parametrów diagnostycznych ze zbioru parametrów wyjściowych, określono wstępnie dla każdego z wyróżnionych elementów obiektu, zbiór parametrów diagnostycznych i kosztów ich sprawdzania :

– Akumulator:

- poziom elektrolitu - (5,0),
- gęstość elektrolitu - (5,0),
- siła elektromotoryczna - (5,0),
- napięcie akumulatora - (50,0).

– Twornik alternatora:

- napięcie alternatora - (10,0),
- napięcie fazowe alternatora - (30,0),
- napięcie międzyfazowe alternatora - (30,0).

– Wirmik alternatora:

- napięcie paska klinowego - (10,0),
- rezystancja obwodu wzbudzenia - (10,0).
- Prostownik alternatora:
 - napięcie alternatora - (10,0),
 - spadek napięcia na diodzie - (10,0).
- Odłącznik akumulatora:
 - spadek napięcia na stykach odłącznika - (10,0),
 - natężenie prądu w obwodzie elektromagnesu - (10,0).

W celu wyznaczenia wpływu stanu technicznego elementów układów instalacji elektrycznej na wartość parametrów wyjściowych oraz uzyskania danych do weryfikacji modelu procesu budowy programów diagnostycznych przeprowadzono badania próbki 10 egzemplarzy instalacji elektrycznej w samochodach Star 200, poprzez rejestrację wartości parametrów wyjściowych $\{y_{jWY}\}$ określonych w punkcie 4.1.2. Stan techniczny elementów modelowany był przez wprowadzenie stanów $\{S_i\}$ określonych w punkcie 4.1.1, pomiary wartości parametrów diagnostycznych dla elementów $e_i \in E$, przeprowadzono według warunków sformułowanych w normach polskich i branżowych [2].

Na podstawie uzyskanych wartości parametrów wyjściowych [1] określono według odpowiednich procedur $\{\varphi_y\}$ (punkt 1) zbioru parametrów diagnostycznych.

1. Procedura φ_{y^1}

Wykorzystując algorytm procedury φ_{y^1} wykonuje się:

a. procedurę badania czy wartości parametrów podlegają rozkładowi normalnemu.

Do badania rozkładu wartości parametrów stosuje się test Monte-Carlo. Czyni się założenie, że populacja generalna ma rozkład ciągły o dystrybuancie $F(y_{j,a})$ oraz że z populacji wylosowano próbę o licznosci N .

W celu przeprowadzenia testu badania rozkładu normalnego metodą Monte-Carlo należy:

- uporządkować wartości parametru y_j dla stanu a według wartości rosnących

$$y_{j,a,1} < y_{j,a,2} < \dots < y_{j,a,t} < \dots < y_{j,a,N} \quad (19)$$

- dla $t = \overline{1, N}$ obliczyć wartości dystrybuanty $F(y_{j,a,t})$ według zależności:

$$F(y_{j,a,t}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{y_{j,a,t} - y_{j,a}} \frac{S_{j,a}}{S_{j,a}} e^{-\frac{x^2}{2}} dt \quad (20)$$

- obliczyć statystykę a według zależności:

$$a = \frac{1}{12N} + \sum_{t=1}^N \left[F(y_{j,a,t}) - \frac{t-0,5}{N} \right]^2 \quad (21)$$

Test przyjmuje wówczas postać:

$H_0: F(y_{j,a}) = \psi_0(y)$ – rozkład badanej populacji jest rozkładem normalnym o dystrybuancie $\psi_0(y)$

$H_1: \neg H_0$

– określenie kwantylu rozkładu normalnego

$$a_\alpha = a(\alpha)$$

W przypadku gdy:

$a < a_\alpha$ – nie ma podstaw do odrzucenia

hipotezy H_0

$a \geq a_\alpha$ – odrzuca się hipotezę H_0 .

Na etapie tej procedury wybiera się te parametry diagnostyczne, dla których w wyniku testu Monte-Carlo nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 , co oznacza że parametr y_j dla stanu a podlega rozkładowi normalnemu.

b. Procedurę badania istotności zmian wartości parametrów wyjściowych parametrycznym testem dwóch średnich.

W tym celu przeprowadzono dla każdego elementu zbiory Y_{WY} :

- estymacja parametrów

– wartość średnia

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (22)$$

– wariancja

$$\hat{s}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (23)$$

– testowanie hipotezy o równości wariancji przy pomocy testu F-Snedecora

$$H_0: \sigma_0^2 = \sigma_i^2 ; i = \overline{1, k} \quad (24)$$

$$H_1: \sigma_0^2 \neq \sigma_i^2$$

– wartość statystyki F-Snedecora

$$F = \hat{s}_0^2 / \hat{s}_i^2 \quad \text{gdy} \quad \hat{s}_0^2 > \hat{s}_i^2 \quad (25)$$

$$F = \hat{s}_i^2 / \hat{s}_0^2 \quad \text{gdy} \quad \hat{s}_0^2 \leq \hat{s}_i^2 \quad (26)$$

wartość krytyczna rozkładu

$$F_\alpha = F(\alpha, N_0 - 1, N_1 - 1) \quad (27)$$

gdzie: α – poziom istotności testu; $\alpha=0,05$

N_0 – liczba pomiarów dla stanu S_0

N_i – liczba pomiarów dla stanu S_i

W przypadku gdy:

$F > F_\alpha$ – odrzuca się hipotezę H_0

$F < F_\alpha$ – nie ma podstaw do odrzucenia

hipotezy H_0

– testowanie hipotezy o równości wartości średnich przy użyciu testu analizy wariancji

$$H_0: m_0 = m_i$$

$$H_1: \neg H_0$$

w przypadku $\sigma_0^2 > \sigma_i^2$ wyznacza się wartość statystyki U

$$u = \frac{|\bar{y}_0 - \bar{y}_i|}{\left(\frac{\hat{s}_0^2}{N_0} + \frac{\hat{s}_i^2}{N_i} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (28)$$

i porównuje się z wartością krytyczną rozkładu $u_\alpha [N(0,1)]$

gdy:

$u > u_\alpha$ – hipotezę H_0 odrzuca się

$u < u_\alpha$ – nie ma podstaw do odrzucenia

hipotezy H_0

– w przypadku $\sigma_0^2 = \sigma_i^2$ wyznacza się wartości statystyki t:

$$t = \frac{|\bar{y}_0 - \bar{y}_i|}{\left\{ \left[\frac{(N_0 \cdot \hat{s}_0^2 + N_i \cdot \hat{s}_i^2)}{(N_0 + N_i - 2)} \right] \cdot \left[\left(\frac{1}{N_0} \right) + \left(\frac{1}{N_i} \right) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (29)$$

i porównuje z wartością krytyczną rozkładu t_α (rozkład t-Studenta)

$$t_\alpha = t(\alpha, N_0 + N_i - 2) ; \alpha = 0,05$$

gdy $t > t_\alpha$ – odrzuca się hipotezę H_0

$t < t_\alpha$ – nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0

Na etapie tej procedury wybiera się te parametry, dla których w wyniku analizy wariancji odrzuca się hipotezę H_0 o równości wartości na korzyść hipotezy alternatywnej H_1 .

c. procedurę szacowania wartości granicznej parametrów diagnostycznych wg kryterium najmniejszego ryzyka Bayesa

Sprowadza się ona do:

1. Rozwiązania równania

$$\frac{f\left(\frac{y_j}{S_0}\right)}{f\left(\frac{y_j}{S_a}\right)} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{P(S_a)}{P(S_0)} \quad (30)$$

ze względu na y_j

gdzie :

λ – stosunek kosztów błędów I i II

rodzaju, przyjmuje się $\lambda = \frac{1}{3}$

$f\left(\frac{y_j}{S_0}\right)$ – funkcja gęstości prawdopodobień-

stwa wartości parametru y_j dla stanu S_0

$f\left(\frac{y_j}{S_a}\right)$ – funkcja gęstości prawdopodobień-

stwa wartości parametru y_j dla stanu S_a ; $a = 1, k$

$p(S_0), p(S_a)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia stanów S_0, S_a i określenia $Y_{j,a,gr}$

W przypadku wystąpienia obu pierwiastków równania sprawdza się ich „położenie” względem wartości estymatorów średnich $\bar{y}_{j,0}, \bar{y}_{j,a}$ i wybór $y_{j,a}^{gr}$ według wyrażenia:

$$y_{j,a}^{gr} = y_{j,a,gr^1} \cdot \bar{y}_{j,a} \geq y_{j,a,gr^1} \geq \bar{y}_{j,0} \vee \bar{y}_{j,0} \geq y_{j,a,gr^1} \geq \bar{y}_{j,a} \quad (31)$$

oraz

$$y_{j,a}^{gr} \neq y_{j,a,gr^2} \cdot \bar{y}_{j,a} \wedge y_{j,a,gr^2} < \bar{y}_{j,0} \quad (32)$$

2. Określenie przedziału granicznego dla parametru y_j

Ma to miejsce gdy na zmianę wartości parametru y_j ma wpływ więcej niż jeden stan. Wówczas przedział ten określa się poprzez wyrażenia.

Wartość graniczna górna parametru y_j

$$y_{j,grg} = \min_a \left\{ \left[y_{j,a}^{gr} - \bar{y}_{j,0} \right] > 0 \right\} \quad (33)$$

Wartość graniczna dolna

$$y_{j,grd} = \max_a \left\{ \left[y_{j,a}^{gr} - \bar{y}_{j,0} \right] < 0 \right\} \quad (34)$$

Obliczanie błędu diagnozy dla parametru y_j

$$D = P(S_0) \cdot Q_1 + P(S_a) \cdot Q_2 \quad (35)$$

$$Q_1 = \int_{y_{gr}}^{\infty} f\left(\frac{y_j}{S_a}\right) dy \quad (36)$$

$$Q_2 = \int_{-\infty}^{y_{gr}} f\left(\frac{y_j}{S_0}\right) dy \quad (37)$$

Na etapie tej procedury wybiera się ten parametr diagnostyczny, dla którego w wyniku analizy wartość błędu diagnozy jest najmniejsza

$$y^* = \min_{y_j} (D_j) \quad (38)$$

oraz oszacowane wartości graniczne parametru

$$y^* : y_{grd}^* : y_{grg}^* : D^* \quad (39)$$

2. Procedura Φ_{y^2}

Wykorzystując algorytm procedury Φ_{y^2} (rys. 2)

wykonuje się:

- procedurę badania rozkładu normalnego
- procedurę badania istotności zmian wartości parametrów wyjściowych w wyniku jej realizacji otrzymuje się macierz $M[j,i]$, $j = 1, m, i = 1, k$
- procedurę wyboru parametrów według zależności:

$$y^* : y_j^* = \max_j (a_j) \Rightarrow y^* = y^* \quad (40)$$
- procedurę szacowania wartości granicznej parametrów diagnostycznych i wybór y w przypadku pozytywnego wyniku procedury.

3. Procedura Φ_{y^3}

Wykorzystując algorytm procedury Φ_{y^3}

wykonuje się:

- procedurę obliczania estymatorów

– wartości średniej

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (41)$$

– wariancji :

$$\hat{S}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (42)$$

– promienia przedziału ufności dla średniej :

$$e = t_{\alpha} \frac{\hat{S}}{\sqrt{N-1}}$$

t_{α} – kwantyl rozkładu t-Studenta

$$t_{\alpha} = t(\alpha, N-1)$$

α – poziom istotności; $\alpha = 0,05$

- procedurę wyboru parametrów diagnostycznych do programu \hat{D}_{KZ}

Należy do niej:

- obliczanie „odległości” między przedziałami ufności estymatorów średnich $\bar{y}_{j,o}$ i $\bar{y}_{j,a}$

$$d[t_0(y_j), t_i(y_j)] = d_{j,o-a} \quad (43)$$

$$d_{j,o-a} = |\bar{y}_{j,o} - \bar{y}_{j,a}| - (e_{j,o} + e_{j,a}) \quad (44)$$

- wybór parametru diagnostycznego wg zależności:

$$y_{DKZ}^* = \max_{j=1,m} \left\{ \min_{i=1,k} d[t_o(y_j), t_i(y_j)] \right\}$$

$$y_{grg}^* = \bar{y}_{DKZ}^* + e_{DKZ}^* ; \quad y_{grg}^* = \bar{y}_{DKZ}^* - e_{DKZ}^*$$

c) procedurę wyboru parametrów diagnostycznych do programu lokalizacji uszkodzeń \hat{D}_{LU}

Należy do niej:

- obliczanie „odległości” między przedziałami ufności estymatorów średnich $\bar{y}_{j,i}$ i $\bar{y}_{j,a}$

$$d[t_i(y_j), t_n(y_j)] = d_{j,i-a} \quad (45)$$

$$d_{j,i-a} = |\bar{y}_{j,i} - \bar{y}_{j,a}| - (e_{j,i} + e_{j,a}) \quad (46)$$

- wybór parametru diagnostycznego wg zależności:

$$y_{DLU}^* = \max_{j=1,m} \left\{ \min_{\substack{l=1,k-1 \\ n=l+1,k}} d[t_l(y_j), t_n(y_j)] \right\} \quad (47)$$

$$y_{grg}^* = y_{DLU}^* + e_{DLU}^* , \quad y_{grg}^* = y_{DLU}^* - e_{DLU}^*$$

4.1.3. Analiza przydatności wybranego zbioru parametrów diagnostycznych do oceny stanu technicznego obiektu

1. Badanie procedury ϕ_{y1}

a) Badanie rozkładu normalnego

Badano czy zbiory wartości parametrów, które zmieniają się istotnie, podlegają rozkładowi normalnemu. Do obliczeń przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$. Wyniki testowania hipotez dla testu przedstawiono w tabulogramie WY1 przy czym znak „+” oznacza brak podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 , znak „-” oznacza odrzucenie hipotezy H_0 . W przypadku gdy wartość parametru y_j nie podlega rozkładowi normalnemu wówczas parametr ten jest rozpatrywany ze znakiem „?”;

b) Badanie istotności zmian wartości parametrów

Badano istotność zbioru parametrów wyjściowych $\{y_{WY_j}\}$, $j = \overline{1, J}$ dla każdego z wybranych stanów zespołów obiektu. Do obliczeń przyjęto poziom istotności $\alpha=0,05$, przy czym znak „+” oznacza odrzucenie hipotezy H_0 , zaś „-” oznacza brak podstaw do jej odrzucenia. W przypadku gdy wartości parametru y_j nie zmienia się istotnie przy

zmianie stanu obiektu, wówczas parametr ten był eliminowany ze zbioru (zerowanie kolumny);

c) Badanie wartości granicznych parametru

Wartości graniczne parametrów diagnostycznych przy zmianie stanów technicznych obiektu określono stosując kryterium najmniejszego ryzyka Bayesa. Przyjęto wartość stosunku kosztów błędów :

$$\lambda = \frac{C_j^I}{C_j^{II}} = \frac{1}{3} \quad (48)$$

i obliczono:

- wartości graniczne (YGRG; YGRD);
- wartości błędów I i II rodzaju (Q1, Q2);
- prawdopodobieństwo błędów diagnozy D(błąd diagnozy),

Podstawą wyboru wartości granicznej oraz jej przedziałów były wartości wyboru błędów I i II rodzaju oraz prawdopodobieństwa błędu diagnozy, przy czym do dalszych rozwiązań przyjęto parametr spełniający relację :

$$y^* = \min_{yj} [D(y_j)] \quad (49)$$

2. Badanie procedury ϕ_{y2} :

a) Badanie rozkładu normalnego – jak przy procedurze ϕ_{y1} – wynik przedstawiono w tabulogramie WY1;

b) Badanie istotności zmian wartości parametrów – jak przy procedurze ϕ_{y1} , przy czym obliczana jest wrażliwość parametru na zmianę stanu (procentowa liczba pozytywnych wyników testu istotności) i wybierany jest parametr y_j^* o maksymalnej wrażliwości;

3. Badanie procedury ϕ_{y3}

a) Badanie procedury wyboru parametrów

diagnostycznych do programu \hat{D}_{KS}

Dokonano estymacji przedziałowej dla średniej (wartość średnia, przedział ufności, odchylenie standardowe). Do obliczeń przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$. Obliczono odległość między przedziałami $\hat{d}_{j,i \rightarrow 0}$ i wyznaczono minimalną odległość. W przypadku gdy maksymalna odległość (33) jest równa zero uzyskuje się komunikat, że żaden z parametrów nie rozróżnia stanu zdadności. W przypadku przeciwnym uzyskuje się komunikat, że maksymalną rozdzielczość charakteryzuje się j^* – ty parametr.

Badanie procedury wyboru parametrów diagnostycznych do programu D_{LU} zrealizowano na poziomie obiektu I, tabulogram WY3/5.

5. WNIOSKI

Przeprowadzona analiza różnych wariantów tworzenia zbioru parametrów diagnostycznych urządzeń technicznych na przykładzie instalacji elektrycznej samochodu STAR 200, pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Przy wyborze parametrów diagnostycznych najwyższą selektywnością charakteryzuje się procedura minimalnego błędu diagnozy φ_{y^1} .
2. Ze względu na to, że procedura φ_{y^2} funkcjonuje w oparciu o wskaźniki a_j (nie odrzuca się parametrów przy $a_j < 1$) jest mniej selektywna, przez co zmniejsza jednak prawdopodobieństwo otrzymania pustego zbioru Y_D . Pomimo powyższego uzyskano podobny rezultat jak przy procedurze φ_{y^1} , zbiory $Y_D(\varphi_{y^1})$ i $Y_D(\varphi_{y^2})$ są w większości podobne.
3. Procedura φ_{y^3} ze względu na brak szacowania wartości granicznej metodą Bayesa jest najmniej dokładna. Zbiór parametrów

$Y_D(\varphi_{y^3})$ różni się znacznie od poprzednich

zbiorów $Y_D(\varphi_{y^1})$, $Y_D(\varphi_{y^2})$, jednak w wyniku jej realizacji otrzymuje się zbiór parametrów zarówno do kontroli zdatości jak i do lokalizacji uszkodzeń.

4. Ze względu na powyższe w celu określenia zbioru parametrów diagnostycznych proponuje się procedurę φ_{y^2} .

LITERATURA

- [1] Tylicki H.: Model rozpoznawania stanu technicznego pojazdów mechanicznych. Wydawnictwo WOŚS, Piła 1994.
- [2] Tylicki H.: Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1998.
- [3] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki technicznej. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1997.



Dr hab. inż. **Henryk Tylicki** – prof. nadzw. ATR jest kierownikiem Pracowni Diagnostyki Maszyn w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów Akademii Techniczno – Rolniczej w Bydgoszczy. Jest autorem wielu opracowań i publikacji z zakresu diagnostyki technicznej i eksploatacji maszyn. Jest członkiem PDTD, Zespołu Diagnostyki SPE KBM PAN oraz Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, Oddział w Lublinie. Współpracuje z wieloma ośrodkami naukowymi w kraju i zagranicą. Główne prace opublikowane: *Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych (1998)*, *Diagnostyka samochodów osobowych i ciężarowych (współautor) (1999)*, *Osprzęt elektryczny pojazdów mechanicznych (współautor) (2000)*. Jest organizatorem wielu seminariów i cyklicznych konferencji: „Forum Młodych” i „Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów”.