

NIEPEWNOŚĆ W PROCESACH DIAGNOZOWANIA I DOZOROWANIA

Lesław BĘDKOWSKI, Tadeusz DĄBROWSKI

Instytut Systemów Elektronicznych, Wydział Elektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa
lbedkowski@wel.wat.edu.pl, tdabrowski@wel.wat.edu.pl

Streszczenie

W procesie użytkowania obiektu występują co najmniej dwa rodzaje zakłóceń: oddziaływania zakłócające proces wytwarzania efektu użytkowego i oddziaływania zakłócające proces diagnozowania. Oddziaływania zakłócające proces wytwarzania efektu wywołują niestabilność właściwości użytkowych obiektu i obniżają jego efektywność użytkową. Oddziaływania zakłócające proces diagnozowania obniżają niezawodność diagnoz. W referacie rozpatruje się formy diagnozowania pozwalające utrzymać wymaganą niezawodność diagnoz mimo wysokiego poziomu zakłóceń wywołujących znaczną niepewność symptomów stanu obiektu.

Słowa kluczowe: diagnozowanie, dozorowanie, niepewność symptomu, niezawodność diagnozy.

UNCERTAINTY IN PROCESSES OF DIAGNOSING AND SUPERVISING

Summary

At least two kind of disturbances take a stand in process of use of object interactions disturb in process fabricate effect utilitarian and interactions disturbing process diagnose. Interactions which disturb process of produce effect creates instability of properties of utilitarian effect. Interactions which disturb diagnosis process lower reliability of diagnosis. Forms of diagnosing which keep required reliability diagnosis in split of high level of disturbance which creates uncertainty symptom state object has been presented in this paper.

Keywords: diagnosing, supervision diagnosing, symptom uncertainty, reliability of diagnosis.

1. WPROWADZENIE

Obserwacja praktyki eksploatacyjnej wskazuje, że decydenci eksploatacji podejmują szereg aktywnych działań zmierzających do utrzymania lub szybkiego odtworzenia zdatności użytkowej obiektu, głównie dlatego by zapewnić wysoką niezawodność **zrealizowania** zadań.

Przypomnijmy znane w teorii niezawodności twierdzenie:

$$R(t) = R(t_0) R(t_0 + \partial t, t | \mathbf{E}_{ob}(t_0) \equiv \mathbf{E}_{ob}^l) \quad (1)$$

gdzie: $R(t)$ – prawdopodobieństwo utrzymania stanu zdatności użytkowej obiektu w przedziale czasowym $[t_0, t]$;

$R(t_0)$ – prawdopodobieństwo stanu zdatności obiektu w chwili t_0 ;

$R(t_0 + \partial t, t | \mathbf{E}_{ob}(t_0) \equiv \mathbf{E}_{ob}^l)$ – prawdopodobieństwo utrzymania stanu zdatności obiektu w przedziale czasowym $[t_0 + \partial t, t]$ (przy $\partial t \rightarrow 0$) pod warunkiem, że w chwili t_0 obiekt jest w stanie zdatności;

Jest oczywiste, że utrzymanie wysokiej wartości prawdopodobieństwa stanu zdatności użytkowej w czasie przewidzianym na zrealizowania zadania użytkowego zależy od obu składników tego iloczynu.

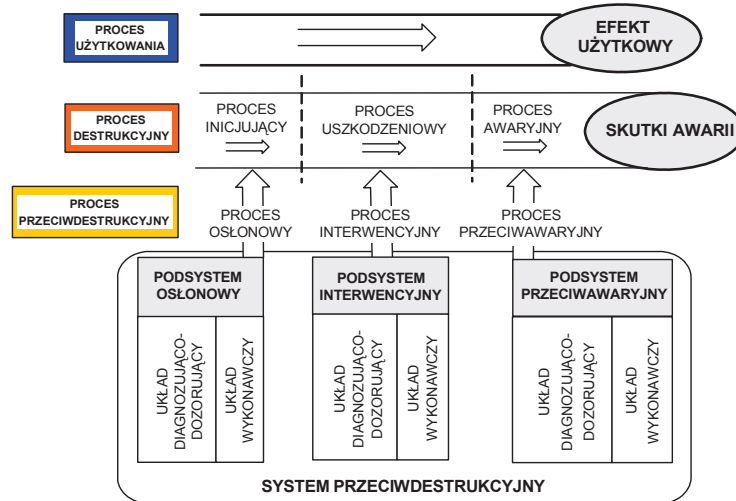
Utrzymanie wysokiej wartości składnika $R(t_0)$ zależy od **niezawodnej diagnozy wstępnej**.

W oparciu – bowiem – o taką informację możliwe jest niedopuszczenie do użytkowania obiektów niezdatnych lub obiektów o zbyt małym potencjale użytkowym albo przywrócenie tym obiektom stanu zdatności jeszcze przed użyciem.

Utrzymanie wysokiej wartości składnika $R(t_0 + \partial t, t | \mathbf{E}_{ob}(t_0) \equiv \mathbf{E}_{ob}^l)$ zależy od biernych właściwości obiektu (np. od właściwości konstrukcyjnych) oraz od aktywnych działań przeciwdestrukcyjnych, realizowanych w trakcie użytkowania. Jak wiadomo warunkiem skuteczności działań przeciwdestrukcyjnych jest możliwie bezzwłoczne i niezawodne wykrywanie procesów destrukcyjnych i wykrywanie powstania stanów niezdatności – czyli warunkiem jest **niezawodne dozowanie**. Działania aktywne w wielu przypadkach mogą mieć decydujące znaczenie.

Przypomnijmy tu trójwarstwowy model procesu eksploatacji, omówiony w [4] (Rys. 1).

System przeciwdestrukcyjny zawiera trzy moduły: osłonowy, interwencyjny i przeciwawaryjny. Każdy moduł zawiera dwa układy: układ diagnozująco-dozorujący i układ wykonawczy (odpowiednio: osłonowy, interwencyjny i ratunkowy). Aktywne utrzymywanie zdatności użytkowanego obiektu, czyli aktywne zwiększanie niezawodności zależy – rzecz jasna – od skuteczności układów wykonawczych (o czym



Rys. 1. Trójwarstwowy model procesu eksploatacji obiektu wyposażonego w układy dozorująco-terapeutyczne (w system przeciwdestrukcyjny)

decydują działania dostatecznie szybkie i adekwatne do sytuacji eksploatacyjnej).

Warunkiem niezbędnym skuteczności wykonawczych układów przeciwdestrukcyjnych są niezawodne i szybko uzyskiwane informacje dozorowe o stanie procesu destrukcyjnego. W tym sensie należy rozumieć uwarunkowanie aktywnego zwiększania niezawodności procesami dozorowania.

W wielu przypadkach (zwłaszcza w odniesieniu do obiektów elektronicznych) diagnozowanie sondujące i dozorowanie oparte jest na pomiarach słabych sygnałów diagnostycznych, a więc łatwo ulegających zakłóceniom. Uzasadnione jest zatem poszukiwanie metod pozwalających na **wykorzystywanie niepewnych wyników pomiarów w procesach niezawodnego diagnozowania i dozorowania – jako podstawy działań przeciwdestrukcyjnych.**

Zazwyczaj proces destrukcyjny oraz stan obiektu identyfikowane są na podstawie zbioru charakterystycznych symptomów czyli **syndromu**.

Każdy symptom identyfikowany jest na podstawie pomiaru (testu) jednej lub więcej charakterystycznych wielkości. Niepewności pomiarowe, zakłócenia mierzonych wielkości i inne przyczyny mogą powodować fałszowanie wyników pomiarów. Mogą też występować niepewności wnioskowania diagnostycznego. W rezultacie wynik identyfikacji jest niepewny.

Zauważmy, że identyfikacja czynników inicjujących, procesu uszkodzeniowego oraz stanu obiektu stanowi identyfikację pewnej, zaistniałej **sytuacji użytkowej**. Identyfikacja taka polega na rozpoznaniu **charakterystycznych symptomów tworzących syndrom charakteryzujący zaistniałą sytuację**. W najprostszym przypadku identyfikacja symptomu polega na stwierdzeniu tego, że wartość pewnej wielkości (jednej lub wielu) mieści się w wymaganym przedziale (symptom pozytywny) lub wykracza poza wymagany przedział (symptom negatywny). Wynik pomiaru **wielkości**

symptomowej może być fałszywy np. z powodu niewłaściwej metody pomiarowej lub zakłóceń nakładających się na wielkość rzeczywistą. Rys. 2a ilustruje przypadek fałszywego symptomu negatywnego, a rys. 2b przypadek fałszywego symptomu pozytywnego.

Jeśli identyfikacja symptomu polega na badaniu jednej wielkości to symptom ma postać jednowymiarową. Jeśli identyfikacja symptomu wymaga badania wielu wielkości to symptom ma postać wielowymiarową.

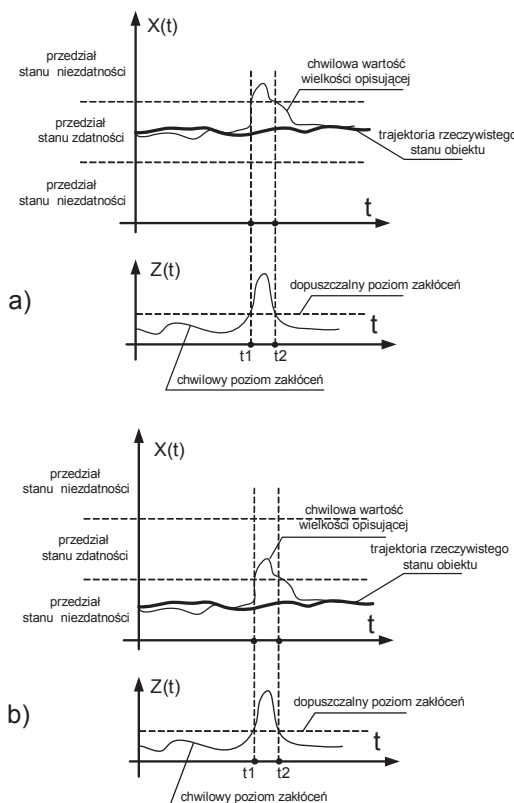
Rozpatrzmy nieco dokładniej przypadek najprostsz, w którym wszystkie symptomy są jednowymiarowe, a zbiór wyników badań każdej wielkości symptomowej zawiera dwie kategorie symptomów: symptomy pozytywne i symptomy negatywne.

Niezawodna identyfikacja symptomów i syndromu określonego stanu (lub określonej sytuacji eksploatacyjnej) może być oparta na **wielokrotnym powtarzaniu pomiarów i identyfikacji symptomów** oraz na wyznaczaniu ich wartości (tj. wyznaczaniu prawdopodobieństwa prawdziwości otrzymanych wyników badania) w oparciu o model matematyczny, który w skróconym zapisie, ma postać jak niżej.

Zauważmy, że podczas **testowania symptomowego**¹ mogą wystąpić cztery rodzaje zdarzeń:

Zdarzenie nr 1 – polegające na L_i^0 -krotnym wystąpieniu prawdziwego symptomu negatywnego Sm_i^0 (w czasie testowania moduł jest w stanie niezdatności E^0).

¹ **Test symptomowy** – procedura pomiaru, wnioskowania i jednokrotnej identyfikacji **symptomu stanu** określonego **modułu** obiektu (lub całego obiektu jeśli jest on traktowany jako jeden moduł diagnostyczny).



Rys. 2. Ilustracja zakłóceń, które mogą spowodować: a) fałszywy symptom negatywny; b) fałszywy symptom pozytywny
Oznaczenia: $X(t)$ – wielkość opisująca stan (wielkość symptomowa); $Z(t)$ – zakłócenia

Prawdopodobieństwo tego zdarzenia wyraża się zapisem:

$$p_i(0|0) = [P(\overline{Sm}_i^0 | \mathbf{E}_i^0)]^{L_i^0} = [R_{m,i}(0|0)]^{L_i^0} \quad (2)$$

gdzie: i – numer testowanego modułu; L_i^0 – liczność podzbioru symptomów negatywnych; $R_{m,i}(0|0)$ – prawdopodobieństwo jednokrotnego wystąpienia prawdziwego symptomu negatywnego.

• **Zdarzenie nr 2** – polegające na L_i^0 -krotnym wystąpieniu fałszywego symptomu negatywnego \overline{Sm}_i^0 (w czasie testowania moduł jest w stanie zdadności \mathbf{E}_i^1). Prawdopodobieństwo tego zdarzenia wynosi:

$$p_i(0|1) = [P(\overline{Sm}_i^0 | \mathbf{E}_i^1)]^{L_i^0} = [R_{m,i}(0|1)]^{L_i^0} \quad (3)$$

gdzie: $R_{m,i}(0|1)$ – prawdopodobieństwo jednokrotnego wystąpienia fałszywego symptomu negatywnego.

• **Zdarzenie nr 3** – polegające na L_i^1 -krotnym wystąpieniu prawdziwego symptomu pozytywnego Sm_i^1 (w czasie testowania moduł jest w stanie zdadności \mathbf{E}_i^1). Prawdopodobieństwo tego zdarzenia można zapisać następująco:

$$p_i(1|1) = [P(Sm_i^1 | \mathbf{E}_i^1)]^{L_i^1} = [R_{m,i}(1|1)]^{L_i^1} \quad (4)$$

gdzie: $R_{m,i}(1|1)$ – prawdopodobieństwo jednokrotnego wystąpienia prawdziwego symptomu pozytywnego.

• **Zdarzenie nr 4** – polegające na L_i^1 -krotnym wystąpieniu fałszywego symptomu pozytywnego \overline{Sm}_i^1 (w czasie testowania moduł jest w stanie niezadadności \mathbf{E}_i^0).

Prawdopodobieństwo tego zdarzenia wynosi:

$$p_i(1|0) = [P(\overline{Sm}_i^1 | \mathbf{E}_i^0)]^{L_i^1} = [R_{m,i}(1|0)]^{L_i^1} \quad (5)$$

gdzie: $R_{m,i}(1|0)$ – prawdopodobieństwo jednokrotnego wystąpienia fałszywego symptomu pozytywnego.

Przyjmijmy dodatkowo, dla jasności wnioskowania, że w czasie trwania sesji symptomowej² stan testowanego modułu nie zmienia się i jest jednym z dwu możliwych stanów: zdadności lub niezadadności.

Wobec tego może zajść tylko jedno z dwu zdarzeń złożonych:

a) **Zdarzenie Z_i^0** . W czasie sesji symptomowej diagnozowany moduł jest w stanie niezadadności \mathbf{E}_i^0 oraz wystąpił L_i^0 -krotnie prawdziwy symptom negatywny \overline{Sm}_i^0 i wystąpił L_i^1 -krotnie fałszywy symptom pozytywny \overline{Sm}_i^1 ; przypadek ten stanowi więc iloczyn trzech zdarzeń elementarnych. **Prawdopodobieństwo** tego złożonego zdarzenia Z_i^0 , czyli prawdopodobieństwo a'posteriori niezadadności modułu, jest zatem iloczynem trzech prawdopodobieństw:

$$P(Z_i^0) \equiv P(\mathbf{E}_i^0) = (1 - R_{0,i}) p_i(0|0) p_i(1|0) \quad (6)$$

gdzie: $R_{0,i}$ – prawdopodobieństwo a'priori stanu zdadności modułu o numerze „i”.

b) **Zdarzenie Z_i^1** . W czasie sesji symptomowej diagnozowany moduł jest w stanie zdadności \mathbf{E}_i^1 oraz wystąpił L_i^0 -krotnie fałszywy symptom negatywny \overline{Sm}_i^0 i wystąpił L_i^1 -krotnie prawdziwy symptom pozytywny Sm_i^1 ; stanowi to iloczyn trzech zdarzeń elementarnych. **Prawdopodobieństwo** tego złożonego zdarzenia Z_i^1 , czyli prawdopodobieństwo a'posteriori zdadności modułu, jest iloczynem trzech prawdopodobieństw:

$$P(Z_i^1) \equiv P(\mathbf{E}_i^1) = R_{0,i} p_i(0|1) p_i(1|1) \quad (7)$$

W konsekwencji powyższych stwierdzeń możemy przyjąć, że:

– warunkowe prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na tym, że diagnozowany moduł jest w stanie niezadadności przedstawia wyrażenie:

² **Sesja symptomowa** – procedura L_{Sm} -krotnej identyfikacji symptomu stanu określonego modułu obiektu (tj. procedura polegająca na L_{Sm} -krotnym powtórzeniu testu symptomowego).

$$P_{wi}(\mathbf{E}_i^0) = \frac{P(\mathbf{E}_i^0)}{P(\mathbf{E}_i^0) + P(\mathbf{E}_i^1)} = P(\text{Sm}_i^0) \quad (8)$$

Wyrażenie (8) stanowi **warunkową wartość symptomu negatywnego** Sm_i^0 , wynikającą z wielokrotnego testowania modułu o numerze „i”;

– **warunkowe prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na tym, że diagnozowany moduł jest w stanie zdatności** przedstawia wyrażenie:

$$P_{wi}(\mathbf{E}_i^1) = \frac{P(\mathbf{E}_i^1)}{P(\mathbf{E}_i^0) + P(\mathbf{E}_i^1)} = P(\text{Sm}_i^1) \quad (9)$$

Wyrażenie (9) stanowi **warunkową wartość symptomu pozytywnego** Sm_i^1 , wynikającą z wielokrotnego testowania modułu o numerze „i”.

Jest oczywiste, że dla dwuelementowego zbioru możliwych stanów modułu spełnione jest równanie:

$$P_{wi}(\mathbf{E}_i^0) + P_{wi}(\mathbf{E}_i^1) = 1 \quad (10)$$

oraz

$$P(\text{Sm}_i^1) + P(\text{Sm}_i^0) = 1 \quad (11)$$

Sesję symptomową należy kontynuować, aż do spełnienia jednego z warunków granicznych:

$$P_{wi}(\mathbf{E}_i^0) \geq P_{i,gr}^0 \quad (12)$$

lub

$$P_{wi}(\mathbf{E}_i^1) \geq P_{i,gr}^1 \quad (13)$$

przy czym uzasadnione jest przyjęcie granicznej wartości prawdopodobieństwa stanu modułu bliskiej jedności:

$$0,5 \ll P_{i,gr} \leq 1 \quad (14)$$

Spełnienie granicznego warunku (12) lub (13) implikuje **wiarygodną** diagnozę stanu modułu tj. **diagnozę symptomową**. Oznaczmy – dla wyróżnienia – wartość symptomu spełniającego warunek graniczny wiarygodnej diagnozy jako: P_{wi}^* .

Pamiętając, że syndromem stanu obiektu jest zbiór pozyskanych w badaniu diagnostycznym symptomów, możemy przyjąć, iż **wartość syndromu k-tego stanu obiektu** jest nie mniejsza niż iloczyn granicznych wartości symptomów P_{wi}^* :

$$P(\text{Sn}, \mathbf{E}_{ob}^k) \geq \prod_{i=1}^N P_{wi}^* \quad (15)$$

przy czym:

N – liczba objętych badaniem diagnostycznym modułów obiektu;

k – numer stanu obiektu, $k \in L(\mathbf{E}_{ob})$;

$L(\mathbf{E}_{ob}) = 2^N$ – liczność zbioru możliwych kombinacji stanów modułów czyli liczność zbioru rozróżnialnych stanów obiektu.

Sprawdzenie czy wartość uzyskanego – w powyższym postępowaniu – syndromu jest nie mniejsza od wartości wymaganej stanowi istotę **syndromowej komparacji wartościującej**. Zagadnienie to omówiono dokładniej w [3, 6].

Dla ilustracji podanego powyżej wnioskowania symptomowo-syndromowego rozpatrzmy przypadek diagnozowania stanu obiektu złożonego z M_i

modułów ($i = 1, 2, \dots, N$). Każdy z tych modułów może znajdować się w jednym z dwu stanów tj. w stanie zdatności lub w stanie niezdatności. Stany modułów są od siebie niezależne. Obiekt uznajemy za zdalny tylko wtedy, gdy wszystkie moduły są zdalne. W konsekwencji liczba stanów zdalności obiektu wynosi:

$$L(\mathbf{E}_{ob}^1) = 1 \quad (16)$$

zaś liczba rozróżnialnych stanów niezdatności obiektu wynosi:

$$L(\mathbf{E}_{ob}^0) = 2^N - 1 \quad (17)$$

Zakładamy, że stan każdego modułu M_i opisywany jest wystarczająco wiarygodnie **jednym** symptomem Sm_i , który może przyjmować wartość logiczną „1” gdy moduł jest w stanie zdalności lub wartość logiczną „0” gdy moduł jest w stanie niezdatności:

$$\mathbf{E}(M_i) \equiv \mathbf{E}_i^1 \Rightarrow \text{Sm}_i^1 = 1 \quad (18)$$

$$\mathbf{E}(M_i) \equiv \mathbf{E}_i^0 \Rightarrow \text{Sm}_i^0 = 0 \quad (19)$$

Symptomy o wartości logicznej „1” nazwijmy **symptomami pozytywnymi**, zaś symptomy o wartości logicznej „0” nazwijmy **symptomami negatywnymi**.

Informacji o stanie obiektu dostarcza syndrom (czyli zbiór symptomów). Wartość logiczna syndromu wyznaczona jest przez iloczyn wartości logicznych symptomów. Zerowy wynik tego iloczynu oznacza stan niezdatności obiektu.

Symptom pozytywny jest uznawany za wiarygodny gdy jego wartość jest nie mniejsza od określonej wartości granicznej. Symptom spełniający ten warunek implikuje wiarygodną informację o **stanie zdalności modułu**:

$$[P(\text{Sm}_i^1) \geq P_{i,gr}^1] \Rightarrow [\mathbf{E}(M_i) \equiv \mathbf{E}_i^1] \quad (20)$$

Analogicznie należy wnioskować w przypadku symptomu negatywnego:

$$[P(\text{Sm}_i^0) \geq P_{i,gr}^0] \Rightarrow [\mathbf{E}(M_i) \equiv \mathbf{E}_i^0] \quad (21)$$

W celu sformułowania dostatecznie wiarygodnej diagnozy stanu obiektu należy przyjąć odpowiednio duże graniczne wartości każdego syndromu stanu obiektu \mathbf{E}_{ob}^k .

$$0,5 \ll P_{ob,gr}^k \leq 1 \quad (22)$$

Często, dla uproszczenia, przyjmuje się jednakowe graniczne wartości wszystkich syndromów rozróżnianych stanów obiektu.

Spełnienie warunku granicznego wartości syndromu stanu \mathbf{E}_{ob}^k implikuje wiarygodną diagnozę o k-tym stanie obiektu, co można zapisać:

$$[P(\text{Sn}, \mathbf{E}_{ob}^k) \geq P_{ob,gr}^k] \Rightarrow [\mathbf{E}_{ob} \equiv \mathbf{E}_{ob}^k] \quad (23)$$

W przypadku gdy żaden syndrom nie spełnia warunku (23) należy kontynuować **sesję syndromową**³ aż do uzyskania wymaganej wartości syndromu.

³ **Sesja syndromowa** – procedura L_{Sn} -krotnej identyfikacji **syndromu** stanu obiektu tj. procedura

Zauważmy, że sytuacja taka może występować stosunkowo często w przypadku **silnych zakłóceń** wpływających na niską wartość symptomów. Wystarczająco wiarygodna **diagnoza syndromowa** musi wówczas opierać się na odpowiednio licznych zbiorze **testów syndromowych**⁴ stanowiących sesję syndromową.

Syndrom o największej wartości implikuje efektywną diagnozę stanu obiektu; **wartość diagnozy** czyli inaczej **niezawodność diagnozy** jest równa wartości tego syndromu:

$$R_D = \max_{k \in L(\mathbf{E}_{ob})} (P(\mathbf{S}_n, \mathbf{E}_{ob}^k)) \quad (24)$$

2. DIAGNOZOWANIE W PRZYPADKU NIEPEWNYCH SYMPTOMÓW

W oparciu o model opisany powyżej (2÷24) przeprowadzono diagnostyczny eksperyment symulacyjny na obiekcie, który może znajdować się w jednym z dwu stanów: w stanie zdatności ($k=1$) lub w stanie niezdatności ($k=0$). W wyniku eksperymentu wyznaczone zostały przykładowe przebiegi wartości dwu alternatywnych syndromów: pozytywnego i negatywnego oraz przebieg niezawodności diagnozy (zgodnie z warunkiem (24)). Wykresy tych wielkości w funkcji liczby sesji syndromowych pokazano na rysunkach 3 i 4. Dla porównania – na wykresach tych – pokazany został obraz rzeczywistego stanu obiektu – w rozważanym przypadku jest to stan zdatności. Przyjęto – dla przykładu – początkowe, a'prioryczne prawdopodobieństwo stanu zdatności równe:

$$R(t_0) = R_D(L_{Sn} = 0) = 0,8 \quad (\text{dla przypadku jak na Rys. 3);}$$

$$R(t_0) = R_D(L_{Sn} = 0) = 0,5 \quad (\text{dla przypadku jak na Rys. 4)}$$

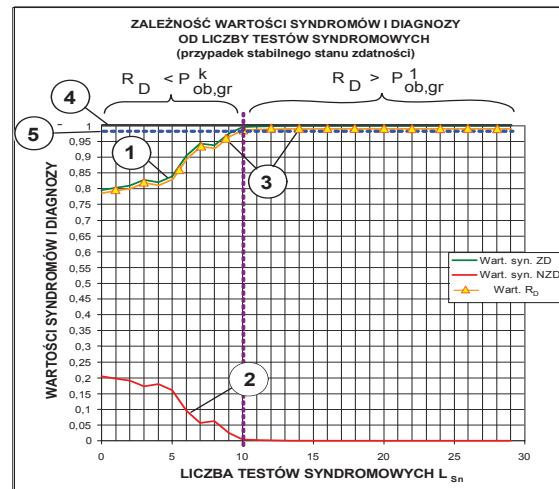
gdzie: L_{Sn} – liczba zrealizowanych testów syndromowych.

Jeśli założymy, że diagnoza (informacja dozorowa) może zostać uznana za wiarygodną wówczas, gdy spełniony jest **warunek**:

$$R_D \geq P_{ob,gr}^k = 0,99 \quad k = 0 \text{ lub } 1 \quad (25)$$

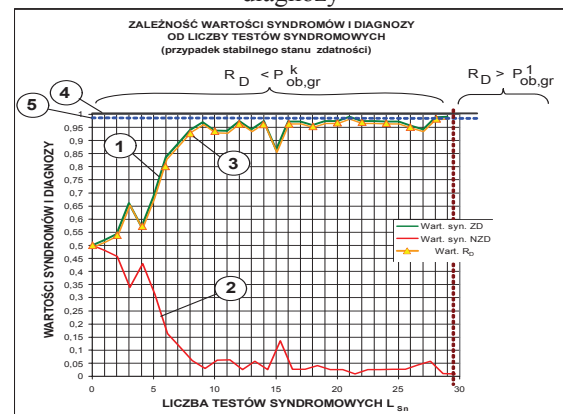
to, jak wynika z wykresów pokazanych na Rys. 3, diagnoza może być przyjęta po wykonaniu 10 sesji syndromowych, a w przypadku jak na Rys. 4 nawet wykonanie 30 testów można uznać za niewystarczające. Diagnosta powinien zwiększać liczbę sesji (tj. liczbę zidentyfikowanych syndromów), aż do stabilnego spełnienia warunku (25), gdyż to dopiero pozwala przyjąć, że

formułowana **diagnoza ma wymaganą wiarygodność.**



Rys. 3. Ilustracja diagnozowania dla przypadku gdy obiekt jest w stanie zdatności

Oznaczenia: 1 – funkcja wartości syndromu pozytywnego; 2 – funkcja wartości syndromu negatywnego; 3 – funkcja niezawodności (wartości) diagnozy; 4 – obraz rzeczywistego stanu obiektu; 5 – wartość progowa wiarygodnej diagnozy



Rys. 4. Ilustracja diagnozowania dla przypadku gdy obiekt jest w stanie zdatności

Oznaczenia: 1 – funkcja wartości syndromu pozytywnego; 2 – funkcja wartości syndromu negatywnego; 3 – funkcja niezawodności (wartości) diagnozy; 4 – obraz rzeczywistego stanu obiektu; 5 – wartość progowa wiarygodnej diagnozy

3. DOZOROWANIE W PRZYPADKU NIEPEWNYCH SYMPTOMÓW

W oparciu o model opisany powyżej (2÷24) rozpatrzmy przypadek obiektu, który jest w stanie zdatności lub w stanie niezdatności z takim samym – początkowo – prawdopodobieństwem:

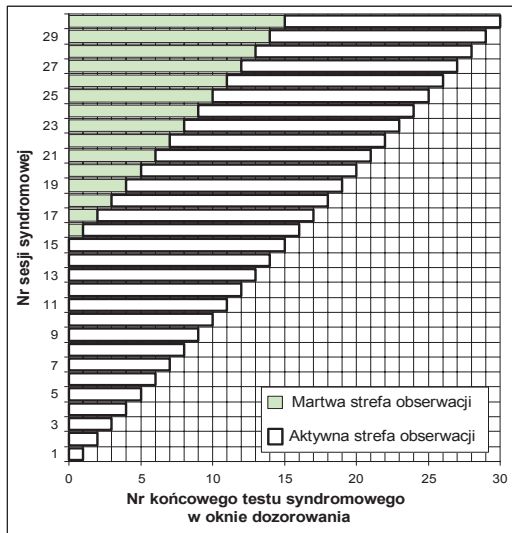
$$R(t_0) = R_D(L_{Sn} = 0) = 0,5$$

Przyjmijmy, dla ułatwienia wnioskowania o wiarygodności uzyskiwanych wyników procesu dozorowania, że rzeczywisty stan obiektu (nieznany

polegająca na L_{Sn} -krotnym powtórzeniu testu syndromowego.

⁴ **Test syndromowy** – procedura jednokrotnej identyfikacji **syndromu stanu** obiektu (najczęściej jest to procedura składająca się z $L_{Sm} = N$ procedur symptomowych; N-liczba diagnozowanych modułów obiektu).

a priori) jest stanem zdatności i zmienia się skokowo na stan niezdatności w czasie realizacji procesu dozorowania. Przyjmijmy, że podstawą obliczeń i wnioskowania diagnostycznego są wyniki pomiarów uzyskiwane w **oknie dozorowania**⁵ o długości 15-u testów syndromowych (Rys. 5).



Rys. 5. Ilustracja „okna dozorowania” o długości $L_{Sn} = 15$ testów syndromowych

Załóżmy, że w rozważanym przypadku, diagnoza (informacja dozorowa) uznawana jest za **wiarygodną**, gdy spełniony jest warunek:

$$R_D \geq P_{ob,gr}^k = 0,95 \quad k = 0 \text{ lub } 1 \quad (26)$$

W rezultacie wykonywanych cyklicznie testów syndromowych wyznaczane są przebiegi wartości dwu alternatywnych syndromów: pozytywnego i negatywnego oraz funkcja niezawodności informacji dozorowej (diagnozy) określona zgodnie z warunkiem (24). Wyniki procesu pomiarowo-analitycznego ilustruje Rys.6. Dla ułatwienia wnioskowania diagnostycznego, na rysunku tym, zaznaczono rzeczywisty stan obiektu dozorowanego. Wykresy wymienionych wielkości sporządzono w funkcji liczby zrealizowanych testów syndromowych.

Na podstawie przyjętych założeń diagnosta może uznać informację dozorową za dostatecznie wiarygodną jeśli spełniony jest warunek (26), czyli gdy $R_D \geq 0,95$. Jak wynika z rysunku 6 warunek ten jest spełniony w przedziale 6÷20 testów dla syndromu stanu zdatności oraz w przedziale powyżej 23 testu dla syndromu stanu niezdatności. W przedziale do 5 testu oraz w przedziale 21÷23 testy wartość diagnozy warunku tego nie spełnia. Zatem żadnej diagnozy nie można uznać za wiarygodną.

⁵ **Okno dozorowania** – czas trwania sesji syndromowej (inaczej: czas niezbędny na wykonanie L_{Sn} testów syndromowych stanowiących podstawę diagnozy sesyjnej); liczba testów syndromowych, których wyniki stanowią podstawę wnioskowania diagnostycznego.

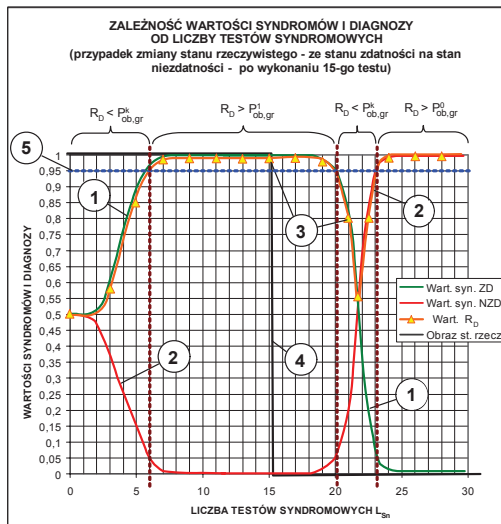
W przypadku dozorowania istnieją trzy charakterystyczne wielkości (Rys. 5 i Rys. 6):

- długość okna dozorowania;
- wartość pierwszego opóźnienia wiarygodnej informacji dozorowej, to jest przedział między rzeczywistą zmianą stanu a spadkiem wartości diagnozy poniżej wartości wymaganej (w przypadku pokazanym na rysunku 6 jest to czas równy wykonaniu 5 testów syndromowych);
- wartość drugiego opóźnienia wiarygodnej informacji dozorowej, to jest przedział między rzeczywistą zmianą stanu a ponownym wzrostem wartości diagnozy powyżej wartości wymaganej (w przypadku pokazanym na rysunku 6 jest to czas równy wykonaniu 8 testów syndromowych).

Długości opóźnień dozorowania zależą od prawdopodobieństwa zafałszowania symptomów i od przyjętej długości okna dozorowania. Należy dążyć do minimalizacji tych opóźnień gdyż wpływają niekorzystnie na czas realizacji działań terapeutycznych, a tym samym **na niezawodność wykonania zadania**.

4. PODSUMOWANIE

1. Zauważmy, że w przypadku gdy prawdopodobieństwo pojawienia się błędnego symptomu zdąży do zera to wynik diagnozowania niepewnego zdąży do wyniku diagnozowania pewnego. **Zatem diagnozowanie niepewne można uważać za uogólnioną formę diagnozowania.**
2. Przeprowadzone eksperymenty diagnostyczne potwierdzają możliwość uzyskiwania diagnoz chwilowych o wysokiej niezawodności pomimo dużej niepewności symptomów. Wymaga to jednak opierania wnioskowania na wynikach sesji diagnostycznych o odpowiednio długich „oknach” dozorowania. Takie postępowanie wprowadza zwłokę czasową w wykryciu zmiany stanu. Z tego powodu - w przypadku dozorowania stanów szybkozmiennych - dla zmniejszenia tej zwłoki, należy stosować dozorowanie wielotorowe, zmienno-programowe [9, 10].
3. Opisana metoda dozorowania stanu w zasadzie nie wymaga znajomości rozkładu zakłóceń. Wystarczające jest stwierdzenie, że prawdopodobieństwa prawdziwości wyznaczonych symptomów pozytywnych i negatywnych są większe od 0,5.
4. Omówiona metoda diagnozowania i dozorowania stanu nie wymaga dokładnej znajomości prawdopodobieństw a priori zdatności poszczególnych modułów obiektu. Dopuszczalne jest założenie, że wartości tych prawdopodobieństw wynoszą po 0,5.



Rys. 6. Ilustracja przebiegu dozowania stanu obiektu, w którym zachodzi zmiana stanu zdatności na stan niezdatności

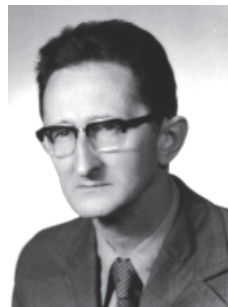
Oznaczenia: 1 – funkcja wartości syndromu pozytywnego; 2 – funkcja wartości syndromu negatywnego; 3 – funkcja wartości (niezawodności) informacji dozorowej (diagnozy); 4 – obraz rzeczywistego stanu obiektu; 5 – wartość progowa wiarygodnej diagnozy

Literatura

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Podstawy eksploatacji, cz. 1. Podstawy diagnostyki technicznej*. Wyd. WAT Warszawa 2000, ss. 110.
- [2] Będkowski L.: *Wielopoziomowe systemy dozoru i terapeutyczne*. Biuletyn WAT nr 5/2004, Warszawa 2004, ss. 5÷17.
- [3] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Diagnozowanie na podstawie niepewnych syndromów stanu obiektu*. Diagnostyka, PTDT, Vol. 37, 2006, ss. 55÷60.
- [4] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Podstawy eksploatacji, cz. 2. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej*. Wyd. WAT, Warszawa 2006, ss. 188.
- [5] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Wpływ komparacyjnego diagnozowania efektu na niezawodność systemu*. XXXIV Zimowa Szkoła Niezawodności „Niekonwencjonalne metody badania niezawodności”, Szczyrk, 9÷14.01.2006, ss. 41÷53.
- [6] Będkowski L.: *Diagnozowanie z dwupoziomą komparacją niepewnych symptomów i syndromu stanu obiektu*. Diagnostyka, PTDT, Vol. 2(38)/2006, ss. 109÷114.
- [7] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Modele komparatywnego wyboru diagnozy*. XXXIII Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka Maszyn”. Węgierska Górka, 6.03-11.03.2006, Wyd. Politechniki Śląskiej, ss. 7÷14.
- [8] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Aktywne zwiększanie niezawodności w procesach eksploatacyjnych*. XXXV Zimowa Szkoła

Niezawodności „Problemy niezawodności systemów”, Szczyrk, 8÷12.01.2007, ss. 71÷83.

- [9] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Niepewność w procesach dozowania środków transportu – dozowanie jednokanałowe*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z.62 Transport. Warszawa 2007, ss. 35÷42.
- [10] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Niepewność w procesach dozowania środków transportu – dozowanie dwukanałowe*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z.62 Transport. Warszawa 2007, ss. 43÷50.
- [11] Fidelis E., Firkowicz S., Grzesiak K., Kołodziejcki J., Wiśniewski K.: *Matematyczne podstawy oceny niezawodności*. Wyd. PWN Warszawa 1966, ss. 276.
- [12] Firkowicz S.: *Statystyczne badanie wyrobów*. WNT. Warszawa 1970, ss. 369.
- [13] Grabski F., Jaźwiński J.: *Metody bayesowskie w niezawodności i diagnostyce*. WKiŁ, Warszawa 2001.
- [14] Ott H. W.: *Metody redukcji zakłóceń i szumów w układach elektronicznych*. WNT, Warszawa 1979.
- [15] Opr. pod redakcją J. Korbicz, K. Patan, M. Kowal: *Diagnostyka procesów i systemów*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2007, ss. 456.



Prof. dr hab. inż. Lesław BĘDKOWSKI

pracuje w Wydziale Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Jest specjalistą w zakresie teorii diagnostyki technicznej, diagnostyki systemów antropotechnicznych, teorii użytkowania w ujęciu wieloprocessowym oraz



Dr hab. inż. Tadeusz DĄBROWSKI

jest profesorem nadzwyczajnym i pełni funkcję dyrektora Instytutu Systemów Elektronicznych Wydziału Elektroniki WAT. Zainteresowania naukowe koncentruje w obszarze teorii eksploatacji - a w tym głównie na zagadnieniach diagnostyki technicznej obiektów i systemów