

Stanisław DUER<sup>1</sup>  
Konrad ZAJKOWSKI<sup>2</sup>  
Jacek PAŚ<sup>3</sup>

### **OCENA PROCESU ODTWARZANIA WŁASNOŚCI UŻYTKOWYCH OBIEKTU W SYSTEMIE OBSŁUGIWANIA ZE SZTUCZNĄ SIECIĄ NEURONOWĄ**

*W artykule zaprezentowano opis sposobu jakościowej oceny procesu odnawiania naprawialnego obiektu technicznego w systemie obsługiwan, ze sztuczną siecią neuronową. Podstawą proponowanej oceny systemu obsługiwan są wyznaczone przestrzeń cech użytkowania obiektu technicznego nowego oraz po wykonanej odnowie w systemie obsługiwan. W tym celu zdefiniowano nominalną (wzorcową) przestrzeń cech użytkowania obiektu technicznego oraz przestrzeń bieżących cech użytkowania obiektu technicznego. W analizie jest poddany ocenie poziom cech użytkowania obiektu po wykonanej odnowie w stosunku do poziomu cech użytkowania obiektu nowego jako wzorca. Wynikłe stąd różnice metryk odległości między tymi przestrzeniami wskazują bezpośrednio na błędy w procesie organizacji systemu obsługiwan obiektu technicznego.*

### **AN ESTEIMATE OF THE REGENERATION PROCESS OF THE OBJECT'S OPERATIONAL PROPERTIES IN A MAINTENANCE SYSTEM WITH AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

*The present article includes a description of a qualitative evaluation of the regeneration process of a reparable technical object in a maintenance system with an artificial neural network. The delineated spaces of the operational features of a new technical object and of a technical object after regeneration in a maintenance system constitute the basis of the evaluation proposed of a maintenance system. For this purpose, the nominal (model) space of the operational features of a technical object as well as the space of the current operational features of a technical object was defined. An analysis covered the level of the object's operational features after regeneration had been performed in relation to the level of the operational features of a new object as a model. The resulting differences between the metrics of distances between these spaces directly indicate errors in the organization process of the maintenance system of a technical object.*

<sup>1</sup>Koszalin University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, tel. 0943478262, e-mail: stanislaw.duer@tu.koszalin.pl;

<sup>2</sup>tel. 0943478426; konrad.zajkowski@tu.koszalin.pl;

<sup>3</sup>Military University of Technology, Warsaw, Department of Electronic, Kaliskiego 2. 00-950 Warszawa tel. 022 6837534, e-mail: jpas@wat.edu.pl

## 1. WPROWADZENIE

Obiekty techniczne użytkowane w procesie eksploatacji doznają oddziaływań zewnętrznych, zachodzą w nich także zmiany energetyczne (procesy starzeniowe itp.) Stan użytkowanego po pewnym czasie obiektu technicznego w procesie eksploatacji różni się od stanu nominalnego, na który obiekt ten był projektowany. Efektem tego niekorzystnego procesu są malejące własności użytkowe. Dlatego też i jakość użytkowania obiektu podlega zmianom, na ogół obniżeniu. Do opisu jakości użytkowania obiektu wielkością najbardziej odzwierciedlającą własności użytkowe jest funkcja jakości użytkowania ( $F_C(t)$ ) oraz współczynnik jakości użytkowania obiektu ( $F_C$ ), który obliczany jest dla wartości granicznej funkcji ( $F_C(t)$ ) (Rys. 1).

## 2. JAKOŚCIOWA OCENA PROCESU ODNAWIANIA WŁASNOŚCI UŻYTKOWYCH OBIEKTU W SYSTEMIE OBSŁUGIWANIA, ZE SZTUCZNĄ SIECIĄ NEURONOWĄ

Proces odtwarzania własności funkcji użytkowania obiektu polega na wyznaczeniu informacji przez system ekspertowy z wykorzystaniem informacji diagnostycznej, ze sztucznej sieci neuronowej. Schemat takiego systemu przedstawiono w [1, 2, 6, 10, 12]. Zadaniem takiego systemu jest wypracowanie wiarygodnej informacji obsługowej  $\{M_E(e_{i,j})\}$ . Efektem zastosowania w praktyce tej informacji jest odnowienie obiektu. Odnowionemu obiektowi technicznemu jest przypisana wyznaczona dla niego rzeczywista informacja obsługowa  $\{M'_E(e_{i,j})\}$  na bazie, której przeprowadzono odtwarzanie własności użytkowych tego obiektu w systemie obsługiwanym. Taką sytuację dla użytkowanego obiektu przedstawiono na (Rys. 2).

Wykres opisujący przestrzeń  $\{M'_E(e_{i,j})\}$  (Rys. 1) powstał na podstawie wyznaczenia kontrolnej informacji obsługowej według wcześniej zaprezentowanego algorytmu. Na rysunku (1) przedstawiono także przestrzeń nominalnej informacji obsługowej  $\{M_E(e_{i,j})\}$  obiektu. Wielowymiarowa przestrzeń tej informacji jest też przestrzenią informacji obsługowej obiektu technicznego, który został w pełni (całkowicie) odnowiony.

Analizę (ocenę) rozbieżności pomiędzy przestrzenią nominalną (wzorcową) informacji obsługowej  $\{M_E(e_{i,j})\}$ , a przestrzenią rzeczywistą (praktyczną) informacji obsługowej  $\{M'_E(e_{i,j})\}$  wykonano na podstawie (Rys. ) i przedstawiono ją w postaci zależności

$$M_E(e_{i,j}) - M \cdot E(e_{i,j}) = M_{(\rho)}(e_{i,j}) \quad (1)$$

gdzie:  $\{M_{(\rho)}(e_{i,j})\}$  – jest wektorem różnicowej przestrzeni informacji obsługowej obiektu.



Tab. 1. Tablica stanów kontrolnych obiektu

Kontrolny stan obiektu	Kontrolny stan zespołu	Wektor stanów kontrolnych elementów obiektu $\{e_{i,j}\}$				
		$\varepsilon_c(e_{1,1})$	...	$\varepsilon_c(e_{i,j})$	...	$\varepsilon_c(e_{i,j})$
$W(\varepsilon_c(O))$	$W(\varepsilon_c(E_1))$	$W(\varepsilon_c(e_{1,1}))$	...	$W(\varepsilon_c(e_{1,j}))$	...	$W(\varepsilon_c(e_{1,j}))$
	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
	$W(\varepsilon_c(E_i))$	$W(\varepsilon_c(e_{i,1}))$	...	$W(\varepsilon_c(e_{i,j}))$	...	$\emptyset$
	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
	$W(\varepsilon_c(E_j))$	$W(\varepsilon_c(e_{j,1}))$	...	$W(\varepsilon_c(e_{j,i}))$	...	$W(\varepsilon_c(e_{j,i}))$

where:  $W(\varepsilon_c(e_{i,j}))$  – value of control state assessment logics for  $j^{\text{th}}$  element within  $i^{\text{th}}$  module (from the set of the accepted three-value logic of states' assessment) -  $\{2, 1, 0\}$ .,  $\emptyset$  - symbol complementing the size of table.

Kontrolną informację obsługową wyznaczono analitycznie na podstawie zależności porównywania stanów wzorcowych obiektu ze stanami kontrolnymi obiektu (po wykonanej odnowie obiektu) wyznaczonymi w procesie kontrolnego diagnozowania obiektu według zależności

$$\left( \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W_{(w)}(\varepsilon(e_{i,j})) - \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W(\varepsilon_c(e_{i,j})) \right) \Rightarrow \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W(c(e_{i,j})) \quad (3)$$

where:  $W(\varepsilon_c(e_{i,j}))$  – wartość kontrolna stanu  $j$ -tego elementu w  $i$ -tym zespole obiektu,  $W_{(w)}(\varepsilon(e_{i,j}))$  – wzorcowa wartość kontrolna stanu  $j$ -tego elementu w  $i$ -tym zespole obiektu  $W(c(e_{i,j}))$  – wynikowa wartość kontrolna stanu  $j$ -tego elementu w  $i$ -tym zespole obiektu  $\Rightarrow$  - realacja wynikania.

Jeżeli wszystkie elementy tablicy stanów wzorcowych obiektu  $\{W_{(w)}(\varepsilon(e_{i,j}))\}$  mają wartości stanów równe  $\{2\}$  – stan zdatności obiektu, to po przekształceniu zależność (3) przyjmie postać zależności (4).

$$\left( \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} \{2\} - \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W(\varepsilon_c(e_{i,j})) \right) \Rightarrow \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W(c(e_{i,j})) \quad (4)$$

W analizie wyznaczania elementów kontrolnej struktury obsługowej obiektu [1-9] wykorzystano działania (porównywania stanów) na wartościach wyrażonych w logice trójwartościowej, wówczas zależność (4) przyjmie postać

$$\left( \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} \{2\} - \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W(\varepsilon_c(e_{i,j})) \right) \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 2 \mapsto 2 = \otimes \\ 1 \mapsto 2 = 1 \\ 0 \mapsto 2 = 0 \\ \emptyset \mapsto 2 = \emptyset \end{array} \right\} = W(c(e_{i,j})) = \{1, 0, \otimes, \emptyset\} \quad (5)$$

gdzie:  $\otimes$  - symbol dopełniający wymiar tablicy (element nie podlega kontroli).

Uzyskaną informację będącą wynikiem rozwiązania zależności (5) zestawiono w postaci tablicowej (Tablica 2)

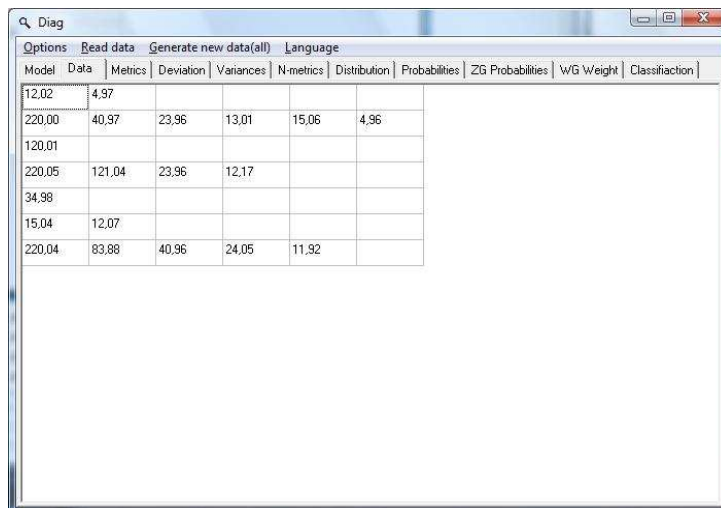
Tab. 2. Tablica kontrolnej informacji obsługowej obiektu

The level of maintenance structure of the object	Vector of element's control states ( $e_{i,j}$ )				
	$W(c(e_{1,1}))$	...	$W(c(e_{1,i}))$	...	$W(c(e_{1,j}))$
1	$W(c(e_{1,1}))$	...	$W(c(e_{1,i}))$	...	$\otimes$
$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
i	$W(c(e_{i,1}))$	...	$W(c(e_{i,i}))$	...	$W(c(e_{i,j}))$
$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
I	$W(c(e_{1,1}))$	...	$W(c(e_{1,i}))$	...	$\emptyset$

Informacja zawarta w (Tablicy 2) jest podstawą do analizy oceny jakości profilaktyki obiektu w systemie obsługi. Analizując (Tablicę 2) można uzyskać informację, który z elementów struktury obsługowej obiektu nie został w pełni odnowiony w procesie obsługi obiektu. Jeżeli dany element ( $e_{i,j}$ ) znajdujący się j-tej kolumnie i i-tym wierszu w (Tablicy 2) ma wartość kontrolną stanu- $\{1$  lub  $0\}$  oznacza to, że ten element nie został odnowiony. Należy ten element poddać ponownie procesowi wyznaczania informacji obsługowej i odnowić według algorytmu zaprezentowanego w niniejszym artykule i w pracach [ ].

### 3. Wyznaczanie jakościowej informacji obsługowej na przykładzie zestaw stacji radiolokacyjnej

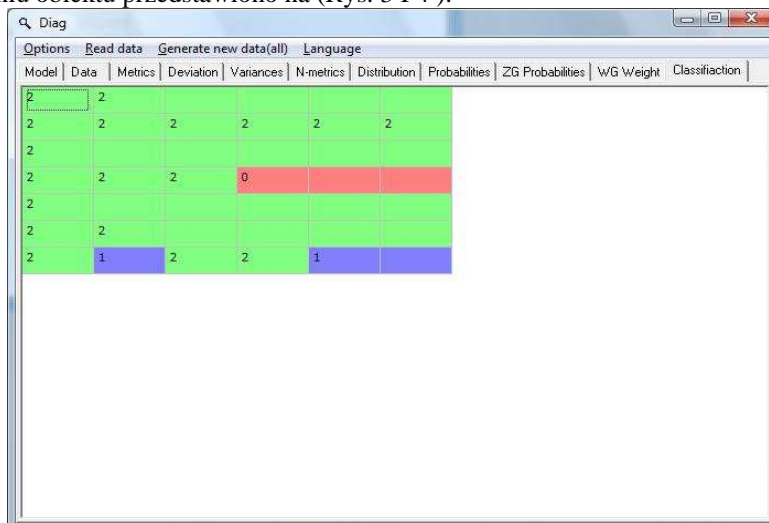
Procesowi wyznaczania jakościowej informacji obsługowej poddano zestaw stacji radiolokacyjnej [1-9, 10, 11, 12], Uzyskane wyniki pomiarowe przedstawiono na (Rys. 2).



Model	Data	Metrics	Deviation	Variances	N-metrics	Distribution	Probabilities	ZG Probabilities	WG Weight	Classification
12,02	4,97									
220,00	40,97	23,96	13,01	15,06	4,96					
120,01										
220,05	121,04	23,96	12,17							
34,98										
15,04	12,07									
220,04	83,88	40,96	24,05	11,92						

Fig. 2. Tablica pomiarowa sygnałów diagnostycznych (wejściowych dla programu DIAG)

Obiekt poddano diagnozowaniu z wykorzystaniem programu diagnostycznego DIAG, ze sztuczną siecią neuronową. Wyniki procesu diagnozowania przed obsługiwaniem i po odnowieniu obiektu przedstawiono na (Rys. 3 I 4).



Model	Data	Metrics	Deviation	Variances	N-metrics	Distribution	Probabilities	ZG Probabilities	WG Weight	Classification
2	2									
2	2	2	2	2	2	2				
2										
2	2	2	0							
2										
2	2									
2	1	2	2	1						

Fig. 3. Wynik diagnozowania obiektu w czasie obsługiwania - "TABLICA STANÓW OBIEKTU"

Model	Data	Metrics	Deviation	Variances	N-metrics	Distribution	Probabilities	ZG Probabilities	WG Weight	Classification
2	1									
2	2	2	2	2	2	2				
2										
2	2	2	2	2						
2										
2	2									
2	2	2	2	2	1					

Fig. 4. Wynik diagnozowania obiektu po obsłudze - "TABLICA STANÓW OBIEKTU"

Na podstawie kontrolnej informacji diagnostycznej obiektu (Tablica 3) przeprowadzono proces oceny jakości odnawiania obiektu w systemie obsługi, w tym celu wykorzystano zaprezentowanej zależności (5). Uzyskaną w ten sposób informację oceniającą jakość systemu obsługi, którą zestawiono w (Tablicy 8).

Tab. 3. Tablica kontrolnej informacji obsługowej obiektu

Poziomy obsługowe obiektu	Stany kontrolne elementów obiektu $\{\epsilon(e_{i,j})\}$					
1	⊗	1	∅	∅	∅	∅
2	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
3	⊗	∅	∅	∅	∅	∅
4	⊗	⊗	⊗	0	∅	∅
5	⊗	∅	∅	∅	∅	∅
6	⊗	⊗	∅	∅	∅	∅
7	⊗	⊗	⊗	⊗	1	∅

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie wyznaczonej kontrolnej informacji obsługowej (Tablica 3) wypracowano wnioski dotyczące oceny jakości odnawiania system radiolokacyjnego w zaprojektowanym systemie obsługi, którymi są:

1. Z analizy kontrolnej informacji obsługowej (Tablica 3) wynika, że nie wszystkie elementy funkcjonalne (konstrukcyjne) obiektu zostały w pełni odnowione.
2. Elementy obsługowe:  $(e_{1,2})$  znajdujący się na 1-szym poziomie i w 2-giej warstwie obsługowej oraz  $(e_{7,5})$  znajdujący się na 7-ym poziomie i w 2-tej warstwie obsługowej posiadają kontrolne stany  $\{1\}$ .

3. Element obsługowy ( $e_{7,5}$ ) posiadał stan {1} także przed wykonywaną profilaktyką w systemie obsługiwanym jest to zatem błąd zaprojektowanego systemu obsługiwanego. Element ten należy ponownie poddać procesowi odnawiania.
4. Element obsługowy ( $e_{1,2}$ ) posiadał stan {2} przed wykonywaną profilaktyką w systemie obsługiwanym, nie podlegał zatem procesowi obsługiwanego. Należy zatem stwierdzić, że stan elementu konstrukcyjnego ( $e_{1,2}$ ) obiektu na tyle się pogorszył w czasie odnawiania obiektu, że jego stan obecny wynosi {1}. Element obsługowy ( $e_{1,2}$ ) należy odnowić w systemie obsługiwanego.

## 5. PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano opis sposobu jakościowej oceny procesu odnawiania naprawialnego obiektu technicznego w systemie obsługiwanego, ze sztuczną siecią neuronową. Zaproponowana ocena systemu obsługiwanego jest realizowana sposobami graficznym i analitycznym.

W graficznej ocenie jest wykorzystywane przestrzenie cech użytkownika obiektu technicznego nowego (jako wzorca) oraz po wykonanej odnowie obiektu w systemie obsługiwanego. W tym celu opisano i zdefiniowano nominalną (wzorcową) przestrzeń cech użytkownika obiektu technicznego oraz przestrzeń bieżących cech użytkownika obiektu technicznego po obsługiwanego. W analizie jakościowej odnowy jest poddany badaniom poziom cech użytkownika obiektu po dokonanej odnowie w stosunku do poziomu cech użytkownika obiektu nowego (wdrożonego dopiero do eksploatacji) jako wzorca. Wynikłe stąd różnice metryk odległości między tymi przestrzeniami własności użytkowymi obiektu wskazują bezpośrednio na błędy w procesie organizacji systemu obsługiwanego.

## 6. LITERATURA

- [1] Duer S.: The concept of assistant system for analogue class technical object servicing. Sixth International Conference On Unconventional Elektromechanical And Electrical System UEES'04. Alushta, The Crimea, Ukraine, 2004, pp. 687–690.
- [2] Duer S.: System ekspertowy wykorzystujący trójwartościową informację diagnostyczną wspomagający obsługiwane złożonego obiektu technicznego. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn Z. 4(152) VOL. 42, 2007, str. 195-208.
- [3] Duer S.: An algorithm for the diagnosis of reparable technical objects utilizing artificial neural Network. Scientific Problems Of Machines Operation And Maintenance, Committee Of Machine Engineering Polish Academy Of Sciences. Vol. 43, No. 1(53) 2008, pp. 101-113.
- [4] Duer S.: Determination of a diagnostic information of a reparable technical object on the basis of a functional and diagnostic analysis on example of a car engine. Scientific Problems Of Machines Operation And Maintenance, Committee Of Machine Engineering Polish Academy Of Sciences. Vol. 43, No. 4(156) 2008, pp. 85-94.
- [5] Duer S.: Artificial Neural Network-based technique for operation process control of a technical object. Defence Science Journal, DESIDOC, Vol. 59, No. 3, May 2009, pp. 305-313.
- [6] Duer S.: Model matematyczny odtwarzania własności użytkowych naprawialnego obiektu technicznego w systemie obsługiwanego. 13<sup>th</sup> International Conference ..



- Computer Systems Aided Science, Industry And Transport". Zakopane, 30 XI- 3 XII 2009. Technical University of Radom and Transport Committee of The Polish Academy of Sciences, pp. 73.
- [7] Duer S.: Diagnostic system for the diagnosis of a reparable technical object, with the use of an artificial neural network of RBF type. *Neural Computing & Applications*, 2010, DOI: 10.1007/s00521-009-0325-4.
- [8] Duer S.: Diagnostic system with an artificial neural network in diagnostics of an analogue technical object. *Neural Computing & Applications*, 2010, DOI: 10.1007/s00521-009-0234-6, Springer – Verlag London Limited, Vol. 19 No.1, pp.55-60.
- [9] Duer S.: Diagnostic system for the diagnosis of a reparable technical object, with the use of an artificial neural network of RBF type. *Neural Computing & Applications*, 2010, DOI: 10.1007/s00521-009-0325-4, Springer – Verlag London Limited.
- [10] Dhillon B.S.: *Applied Reliability and Quality, Fundamentals, Methods and Procedures*. Springer – Verlag London Limited 2006, p. 186.
- [11] Madan M. Gupta, Liang Jin and Noriyasu Homma: *Static and Dynamic Neural Networks, From Fundamentals to Advanced Theory*. John Wiley End Sons, Inc 2003, p. 718.
- [12] Nakagawa T.: *Maintenance Theory of Reliability*. Springer – Verlag London Limited 2005, p. 264.