



**Stanisław DUER, Konrad ZAJKOWSKI**

## **ODNAWIANIE CECH EKSPLOATACYJNYCH ZŁOŻONEGO OBIEKTU TECHNICZNEGO W INTELIGENTNYM SYSTEMIE OBSŁUGIWANIA**

### *Streszczenie*

*W pracy zaprezentowano model oraz opis procesu odnawiania obiektów technicznych. Podstawą w opisie tego modelu obsługiwanie obiektów technicznych są wyróżnione moduły wektorów sygnałów diagnostycznych oraz ich moduły wzorcowe sygnałów. Moduły bieżących wektorów diagnostycznych wyznaczają w czasie diagnozowania przestrzeń cech eksploatacyjnych bieżącego użytkownika obiektu. Natomiast moduły wektorów wzorcowych sygnałów wyznaczają przestrzeń nominalnych cech eksploatacyjnych obiektu. Poznanie tego modelu jest podstawą do opracowania systemu obsługowego realizującego proces odnawiania obiektu.*

### **WSTĘP**

W rozwoju teorii inteligentnych systemów wspomagających obsługiwane obiektów technicznych duży wkład miały opracowania, które opisują podstawy procesu eksploatacji obiektów technicznych. Do opracowań tych należą prace [3, 5-8, 12, 13]. W powyższych pracach zawarto opis modelu obiektu technicznego pod względem niezawodnościowym, eksploatacyjnym i innym. Przedstawiono w nich także organizację procesu eksploatacji z wykorzystaniem zaprezentowanych modeli obiektu.

W procesie rozwoju nowoczesnych systemów obsługowych znaczące (podstawą) były prace klasyków teorii eksploatacji (W. Zamojski, J. Lewitowicza, L. Będkowski i innych), w których zawarto podstawy teoretyczne i matematyczne funkcjonowania sztucznej inteligencji oraz systemów ekspertowych. Autorzy w swoich pracach przedstawili i scharakteryzowali różnicę między tymi dziedzinami wiedzy.

Obecnie trwają prace badawcze, a także są rozwiązywane różne aspekty w zakresie przetwarzania wiedzy człowieka – specjalisty na język komputerowy i wykorzystania jej w inteligentnych systemach. Większość z tych opracowań badawczych dotyczy opisu współpracy pomiędzy człowiekiem, a komputerem i odwrotnie. Takie działania występują w systemach inteligentnych, w zastosowaniach w systemach odnawiających cechy eksploatacyjne obiektów technicznych. Ważnym kierunkiem badań dotyczących organizacji inteligentnych systemów obsługiwanie jest doskonalenie metod przedstawiania i zestawiania baz wiedzy specjalistycznej człowieka – eksperta. W początkowych opracowaniach wspierających proces obsługiwania obiektów dominowały opracowania o charakterze

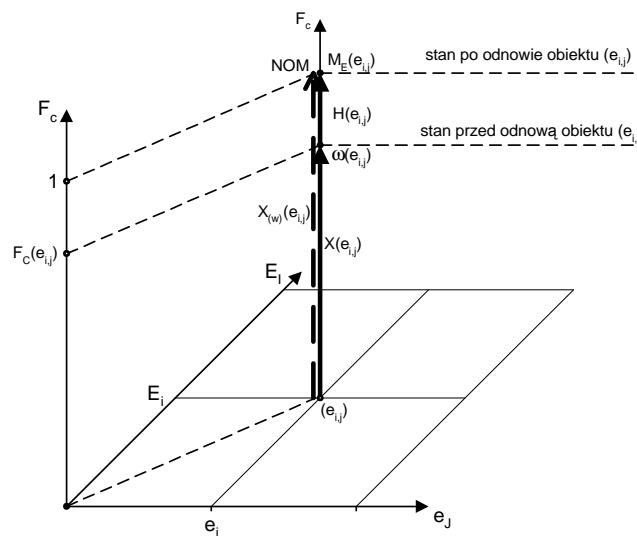
tworzenia i opisu metod przekształcania wiedzy specjalisty – eksperta na wiedzę w języku komputerowym [12].

W pracach autora przedstawiono nową koncepcję organizacji systemu obsługi, a poprzez to sterowanie procesem eksploatacji, z wykorzystaniem systemów ekspertowych [6, 9, 10, 15]. Podstawą tej koncepcji jest wiarygodna informacja diagnostyczna wyznaczona przez system inteligentny, który opracowano między innymi, z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej. Nowością tej klasy inteligentnych systemów diagnostycznych jest diagnozowanie w logice trójwartościowej. Doświadczenia w zakresie diagnozowania systemów radiolokacyjnych oraz wnioski autora w zakresie pozyskiwania informacji diagnostycznej na potrzeby organizacji i projektowania systemu obsługowego przedstawiono w opracowaniu [12]. W pracy tej zaprezentowano szczegółową budowę opracowanego inteligentnego systemu rozpoznającego stany elementów konstrukcyjnych – wewnętrznych obiektu. Ważnymi elementami w tych systemach są moduły: pomiarowy, diagnostyczny oraz wnioskowania.

Podstawą w diagnozowaniu urządzeń i obiektów technicznych jest opracowanie modelu inteligentnego systemu odnawiającego cechy eksploatacyjne w złożonych obiektach technicznych.

## 1. MODEL PROCESU ODNAWIANIA CECH EKSPLOATACYJNYCH OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Stan obiektu technicznego w procesie eksploatacji, gdy obiekt jest już użytkowany różni się od stanu nominalnego, na który obiekt ten był projektowany (Rys. 1).



**Rys. 1.** Model procesu odtwarzania cech eksploatacyjnych (jakościowej funkcji użytkowania  $F_c$ ) obiektu w inteligentnym systemie obsługi, na przykładzie  $j$ -tego elementu obsługowego  $(e_{i,j})$ , gdzie:  $E_i$  – struktura  $i$ -tych zespołów obiektu,  $e_j$  –  $j$ -ty element w strukturze  $i$ -tego zespołu obiektu,  $\omega(e_{i,j})$  – przestrzeń opisująca rzeczywiste cechy eksploatacyjne (funkcję użytkową) elementu obsługi  $(e_{i,j})$ ,  $F_c(e_{i,j})(NOM)$  – wartość nominalnej cechy eksploatacyjnej (funkcji użytkowej) elementu  $(e_{i,j})$ ,  $H(e_{i,j})$  – wektor różnicowej cechy eksploatacyjnej (funkcji użytkowej) elementu  $(e_{i,j})$ ,  $F_c(e_{i,j})$  – wartość rzeczywistej cechy funkcji użytkowej elementu  $(e_{i,j})$ ,  $M_E(e_{i,j})$  – przestrzeń nominalnej cechy eksploatacyjnej obiektu nowego lub odnowionego w systemie obsługi

Źródło [12]

Efektom tego niekorzystnego procesu są malejące własności użytkowe. Dlatego też i jakość użytkowania obiektu podlega zmianom, na ogół obniżeniu. Z przedstawionego w literaturze zbioru wskaźników charakteryzujących proces użytkowania obiektu, wielkością najbardziej odzwierciedlającą własności użytkowe, jest funkcja jakości użytkowania  $F_C(t)$  (Rys. 1) oraz współczynnik jakości użytkowania obiektu  $F_C$  obliczany dla wartości granicznej funkcji ( $F_C(t)$ ) [1-12, 13]. Wskaźnik cechy funkcji jakości użytkowania obiektu może być oceną stanu obiektu i dzięki temu może być uznany za jego miarę. Elementarne wektory sygnałów diagnostycznych występujące w obiekcie technicznym  $[X(e_{i,j})]$  mogą mieć różne postacie (mieralne i inne) oraz różne wymiary (Rys. 1). Należy zatem zniwelować zbyt duże początkowe dysproporcje pomiędzy wartościami tych wektorów sygnałów diagnostycznych w poszczególnych wymiarach. Jedną z pewnych metod transformacji danych wejściowych (wektorów sygnałów), a zarazem dość efektywną metodą jest normalizacja danych w taki sposób, aby po przekształceniu wartości ich mieściły się w przedziale  $[0, 1]$ .

Obiekt techniczny użytkowany w procesie eksploatacji, który przedstawiono w postaci modelu na rys. 1 po określonym czasie jego eksploatacji wymaga wykonania odnowy. Pomocne w tym procesie może być diagnozowanie obiektu. Wcześniej wykazano, że znaczne efekty jakościowe w organizacji procesu obsługiwnia wnosi informacja diagnostyczna wyrażana w trójwartościowej ocenie stanów. W przypadku, gdy w procesie diagnozowania obiektu technicznego stosuje się trójwartościową ocenę stanów, to elementom przyporządkowane są stany oznakowane wartościami stanów ze zbioru  $\{2, 1, 0\}$ , gdzie: „2” – oznacza stan zdatności j-tego elementu; „1” – oznacza stan niepełnej zdatności j-tego elementu; „0” – oznacza stan niezdatności j-tego elementu [4-15] (Rys. 1). W sytuacji, gdy system diagnostyczny rozpozna stan niepełnej zdatności  $\{1\}$  lub niezdatności  $\{0\}$ , to tym samym wyznaczony zostaje czas, w którym należy rozpocząć odnawianie obiektu. Wykonana odnowa cech eksploatacyjnych w obiekcie spowoduje jego przejście do stanu użytkowania – wykonywanie funkcji wymaganej przez obiekt (Rys. 1). Zdolność obiektu do poprawnego funkcjonowania jest jego cechą eksploatacyjną.

Zatem zbiór cech eksploatacyjnych określa zasób możliwości funkcjonowania. Jest on ilościową charakterystyką obiektu, jeżeli wielkość tego zasobu można mierzyć i wyrażać liczbowo w przyjętych jednostkach. Można także powiedzieć, że obiekt techniczny można traktować jako obiekt mający w każdej chwili swego istnienia (eksploatacji) pewien zasób możliwości funkcjonowania. W miarę upływu czasu własności cech eksploatacyjnych pogarszają się, a zasób jego zdolności użytkowej ulega wyczerpywaniu [4-7, 12]. Istotę procesu odtwarzania własności użytkowych obiektu technicznego przedstawiono na rys. 1.

Wykorzystując (Rys. 1) obliczono elementarną bieżącą wartość funkcji użytkowania obiektu, którą przedstawiono w postaci zależności:

$$[\omega(e_{i,j})] = [M_E(e_{i,j})] - [H(e_{i,j})], \quad (1)$$

gdzie:  $[\omega(e_{i,j})]$  – wektor informacji diagnostycznej obiektu opisujący aktualny poziom zbioru cech eksploatacyjnych obiektu warunkujących jego zdolność do wykonywania jego funkcji wymaganej (realizacji zadania).

Rozrzut (zmiana) wartości parametrów eksploatacyjnych (funkcjonalnych) określonych w przestrzeni cech eksploatacyjnych (użytkowania) obiektu  $\{ME\}$  ma charakter malejący. Aby przeciwdziałać losowym zmianom funkcji jakości użytkowania obiektu oraz ją maksymalizować, organizuje się obsługiwane techniczne obiektu [12].

W systemie obsługiwnia technicznego występują dwie grupy czynników, tj. czynników charakteryzujących fazę określania cech eksploatacyjnych bieżącego użytkowania – stanu obiektu poprzez diagnozowanie oraz druga grupa czynników związanych jest z fazą

odtworzenia poziomu nominalnych własności nominalnych cech eksploatacyjnych (użytkowych) obiektu. Efektem procesu odnowienia obiektu, który przedstawiono na rys. 1 jest odtworzenie jego cech eksploatacyjnych (własności użytkowych) do poziomu nominalnego tj. takiego jaki posiada obiekt nowy po wdrożeniu do eksploatacji [12].

Sprawdzenie kontrolne jakości odtworzonych w procesie obsługi cech eksploatacyjnych (własności użytkowych) obiektu odbywa (Rys.1) się poprzez działanie polegające na wyznaczeniu wektora  $[M_E(e_{i,j})]$  przy wykorzystaniu zależności:

$$[M_E(e_{i,j})] = \sum_{i=1, j=1}^{I,J} ([\omega(e_{i,j})] + [H(e_{i,j})]), \quad (2)$$

gdzie:  $[M_E(e_{i,j})]$  – wektor elementarnej informacji zadania obsługowego – wyznaczający nominalną wartość cech eksploatacyjnych (użytkowania) obiektu  $\{M_E\}$ ,  $[H(e_{i,j})]$  – wektor informacji zadania obsługowego, odtwarzającego własności cech eksploatacyjnych (użytkowych) j-tego elementu w i-tym zespole funkcjonalnym obiektu.

Skuteczność przywracania własności cech eksploatacyjnych obiektu w zorganizowanym można określić na podstawie następujących działań. Wykorzystując zależność (2) możliwe jest wyznaczenie wielkości wymaganej informacji zawartej w wektorze informacji zadania obsługi  $[H(e_{i,j})]$  odnawiającego j-ty element w i-tym zespole obsługowym (funkcjonalnym) obiektu. Wielkość informacji określonej wektorem zadania informacji obsługowej przedstawiono w postaci zależności:

$$[H(e_{i,j})] = [M_E(e_{i,j})] - [\omega(e_{i,j})], \quad (3)$$

gdzie:  $[H(e_{i,j})]$  – wektor informacji zadania obsługi obiektu.

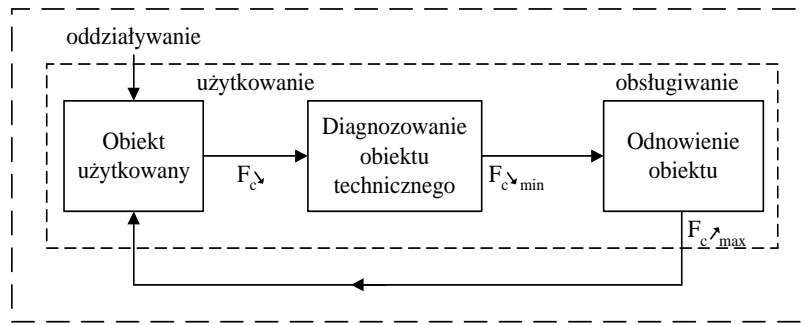
Jeżeli wektor  $[M_E(e_{i,j})]$  jest wektorem unormowanym o module równym [15] (Rys. 1), to wówczas zależność (3) przyjmie postać:

$$[H(e_{i,j})] = 1 - [\omega(e_{i,j})], \quad (4)$$

Z analizy informacji zawartych na rys. 1 oraz zależności (4) wynika, że proces odnowienia cech eksploatacyjnych obiektu w systemie obsługi w sensie fizycznym polega na przesunięciu (przemieszczeniu) wektorów opisujących własności cech eksploatacyjnych (użytkowych) obiektu z poziomu płaszczyzny bieżącego użytkowania  $\omega$  do poziomu przestrzeni nominalnych cech użytkowania  $M_E$  [12].

## 2. MODEL INTELIGENTNEGO SYSTEMU ODNAWIAJĄCEGO CECHY EKSPLOATACYJNE W ZŁOŻONYCH OBIEKTACH TECHNICZNYCH

W czasie użytkowania obiekt techniczny w procesie eksploatacji, którego schemat zaprezentowano na rys. 2 doznaje wielorakich oddziaływań. Zachodzą w nim również zmiany starzeniowe oraz zużywają się także elementy wewnętrzne – funkcjonalne (konstrukcyjne). Rzeczywisty stan obiektu różni się od stanu nominalnego, na który był projektowany.

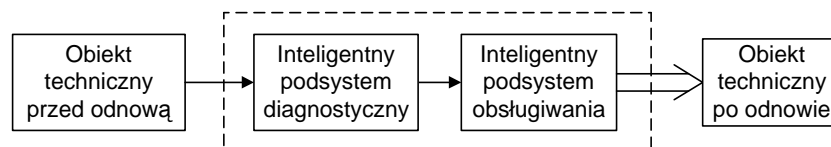


**Rys. 2.** Schemat procesu eksploatacji obiektu technicznego, gdzie:  $F_c \downarrow$ ,  $F_c \downarrow_{\min}$ ,  $F_c \uparrow_{\max}$  – oznaczają odpowiednio: malejącą, minimalną i maksymalną wartość funkcji jakości cech eksploatacyjnych obiektu technicznego

**Źródło** [12]

Efektym tego niekorzystnego procesu są malejące jego własności cech eksploatacyjnych. Obiekty techniczne wówczas przechodzą do stanu niezdatności lub niepełnej zdatności i przestają realizować zakładane ich funkcje użytkowe. Rozrzut oraz zmiany wartości cech jakościowej funkcji użytkowania obiektu w przestrzeni ma charakter malejący, stąd jakość obiektu podlega zmianom, zwykle obniżeniu. W tym celu, aby przeciwdziałać losowym zmianom jakości użytkowania obiektu, organizuje się obsługiwane techniczne. Właściwie organizowany system obsługiwanego (Rys. 2) wymaga ciągłego rozpoznawania procesu niekorzystnych zmian zachodzących w obiekcie, aby na tej podstawie i we właściwym czasie przeprowadzać jego obsługiwane [12].

Problem sterowania jakościowego użytkowania obiektu technicznego w procesie eksploatacji efektywnie ułatwia zastosowanie w nim układu automatycznej regulacji i sterowania (Rys. 3) poziomem własności cech eksploatacyjnych (użytkowych) obiektu technicznego. Zadaniem obsługowego układu regulacji, który przedstawiono na rys. 3 jest utrzymywanie w sposób ciągły własności cech eksploatacyjnych (użytkowych) na wymaganym poziomie (gwarantującym jakościowe użytkowanie obiektu).



**Rys. 3.** Schemat inteligentnego systemu obsługiwanego obiektów technicznych

**Źródło** [12]

Współcześnie organizowany inteligentny system obsługiwanego, który zaprezentowano na rys. 3 złożonego obiektu technicznego składa się z dwóch podsystemów: diagnostycznego i obsługowego.

1. Podsystem diagnostyczny – układ rozpoznawania stanów obiektu technicznego w inteligentnym systemie obsługiwanego, efektywny podsystem diagnostyczny, ze sztuczną siecią neuronową – rozpoznający aktualny stan obiektu technicznego. Na podstawie znanego stanu technicznego obiektu można w sposób jednoznaczny określić jakość funkcji wymaganej (poziom własności cech eksploatacyjnych) obiektu. Na potrzeby organizacji inteligentnego systemu obsługiwanego wymagane jest diagnozowanie obiektu z wykorzystaniem trójwartościowej oceny stanów {2, 1, 0}. Przykłady diagnozowania obiektów technicznych w logice trójwartościowej przedstawiono w pracach [1-12];

2. Podsystem obsługi w inteligentnym systemie odnawiania obiektu technicznego to układ (podsystem), który odtwarza z dużą wiarygodnością własności cech eksploatacyjnych w obiektach technicznych. Szczególnie przydatna w tym przypadku jest informacja diagnostyczna z sieci neuronowej, która jest wyrażana w trójwartościowej ocenie stanów obiektu {2, 1, 0}. Wiadomo na podstawie opracowań [1, 2, 4, 10, 11, 12], że dla stanu {2} – stan zdatności, obiekt nie wymaga odnowy, ponieważ wykonuje on swoje zadania na dobrym jakościowo poziomie. Natomiast dla zaistniałych tych dwóch pozostałych stanów {1, 0} należy odnawiać obiekt techniczny w systemie obsługi. W stanie {1} – stan niepełnej zdatności, obiekt częściowo wykonuje swoje zadania. Dla tego stanu musi być wykonana odnowa częściowa. Natomiast w stanie {0} – stan niezdatności, obiekt jest uszkodzony i nie wykonuje swoich zadań. Dla tego stanu musi być odnowa pełna obiektu i jego elementów konstrukcyjnych – funkcjonalnych poprzez wymianę elementu warunkującego zaistnienie tego stanu.

### 3. MODEL PODSYSTEMU OBSŁUGIWANIA OBIEKTU TECHNICZNEGO ODNAWIAJĄCEGO JEGO CECHY EKSPLOATACYJNE

W procesie eksploatacji stan użytkowanego obiektu technicznego różni się od stanu nominalnego, na który obiekt ten był projektowany. Dlatego obiekty techniczne przy trójwartościowej ocenie stanów przechodzą do stanu „0” – niezdatności lub stanu „1” – niepełnej zdatności. Stany te nazwane stanami przestoju, w których obiekt techniczny nie realizuje swojej funkcji wymaganej [12].

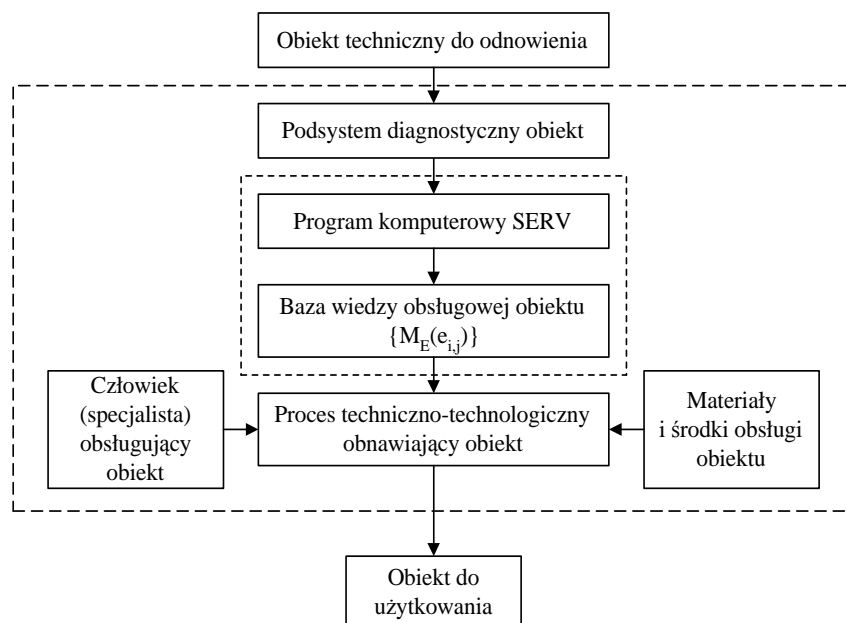
W literaturze opisane są m. in. modele procesu obsługi technicznego obiektu, w których można wyróżnić następujące jego etapy: przygotowanie do odnowy i odnowę [12, 13]. W niniejszej pracy obsługiwane techniczne lub tylko obsługiwane obiektu definiowane jest następująco.

Definicja 1. Obsługiwanie obiektu jest to proces realizacji określonych działań techniczno-technologiczny przez człowieka – specjalistę, który w systemie obsługi i w określonym czasie obsługi wykonuje w obiekcie obsługowym nakazane czynności obsługowe i w wymaganym ich zakresie. Celem tych działań jest odtworzenie cech eksploatacyjnych obiektu technicznego w zorganizowanym systemie obsługi schemat, którego przedstawiono na rys. 4.

W literaturze podsystem obsługi obiektu  $PS_{ob}$  [13] opisywany jest zależnością:

$$PS_{ob} = \langle O_{ob}, S, PTT, PK_{SERV}, R_{ob}, M_E \rangle, \quad (5)$$

gdzie:  $O_{ob}$  – obiekt obsługi;  $S$  – specjalista (człowiek) organizujący i nadzorujący system obsługi obiektu,  $PTT$  – proces techniczno-technologiczny w systemie obsługi;  $PK_{SERV}$  – program komputerowy  $SERV$ ,  $R_{ob}$  – relacje (reguły) obsługowe,  $M_E$  – baza wiedzy obsługowej obiektu.



**Rys. 4.** Model podsystemu obsługiwanian obiektu

**Źródło** [12]

Podsystem obsługiwanian obiektów technicznych, który przedstawiono w postaci schematu (Rys. 4) składa się z następujących elementów:

- obiektu obsługi,
- programu komputerowego SERV,
- bazy wiedzy obsługowej,
- obsługowego procesu techniczno-technologicznego,
- środków i materiałów obsługowych,
- człowieka – specjalisty obsługującego dany obiekt.

Wymienione elementy systemu obsługiwanian zdefiniowano następująco:

- program komputerowy SERV to specjalistyczny program komputerowy przeznaczony do organizacji i wspomaganian procesu odtwarzania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych [3-7, 12],
- baza wiedzy obsługowej to specjalistyczny zbiór informacjii obsługowej, który wyznaczono na podstawie informacjii diagnostycznej obiektu oraz obsługowej wiedzy specjalistycznej człowieka. Baza wiedzy obsługowej jest podstawą do realizacji przedsięwzięć organizacyjno – technicznych wspomaganian proces odtwarzania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych.
- obsługowy proces techniczno-technologiczny to zespół przedsięwzięć organizacyjno – technicznych oraz zespół działanii człowieka (użytkownik obiektu) w zakresie planowanian i realizacjii określonych zamierzeń (zadania) obsługowego, który przy wykorzystanianiu narzędzi technologicznych oraz środków i materiałów obsługowych realizuje proces odtwarzania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych [3, 6-9, 14, 15],
- środki i materiały obsługi, to specjalistyczne narzędzia oraz przyrządy kontrolno-pomiarowe, materiały techniczne i konserwacyjne umożliwianianie odnawianian cech eksploatacyjnych w obiektach obsługi,
- obiekt obsługi to obiekt użytkowanian w procesie eksploatacjjii wymagający odnawianian jego cech eksploatacyjnych,
- człowiek, konstruktor i organizator systemu obsługiwanian.

## PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono podstawy wraz z modelem istoty procesu odnawiania cech eksploatacyjnych w obiektach technicznych. W modelu procesu odnawiania obiektu wyznaczono przestrzeń diagnostyczną bieżących cech użytkowania obiektu technicznego nowego (jako wzorca) oraz po wykonanej odnowie obiektu w systemie obsługiwanym oraz jej odpowiadającą nominalną (wzorcową) przestrzeń cech użytkowania obiektu technicznego. Zaprezentowany proces obsługiwanego obiektu polega na takiej odnowie (korekcie) cech eksploatacyjnych obiektu, aby przemieścić je do przestrzeni nominalnej cech użytkowania obiektu technicznego.

## RENEWING EXPLOITATION CHARACTERISTICS OF TECHNICAL OBJECTS IN MAINTENANCE INTELIGENT SYSTEMS

### *Abstract*

*The paper presents a model and a description of the renewal process of technical facilities. The basis for the description of the essence of this model are the use of technical facilities vectors diagnostic signal modules and standard modules of their signals. Vectors of current diagnostic modules determine the space-time diagnosis of the current operational features of the works. While the vectors of the standard signal modules shall designate the space of nominal operating characteristics of the object. Understanding this model is the basis to develop a system operating software object implementing the renewal process.*

## BIBLIOGRAFIA

1. Duer S.: *Artificial Neural Network-based technique for operation process control of a technical object*. Defence Science Journal, 2009, Vol. 59, No. 3, May, pp. 305-313.
2. Duer S., Duer R.: *Diagnostic system with an artificial neural network which determines a diagnostic information for the servicing of a reparable technical object*. Neural Computing & Applications, 2010, Vol. 19, No. 5, pp. 755-766.
3. Duer S.: *Investigation of the operation process of a repairable technical object in an expert servicing system with an artificial neural network*. Neural Computing & Applications, 2010, Vol. 19., No. 5., pp. 767-774.
4. Duer S.: *Diagnostic system with an artificial neural network in diagnostics of an analogue technical object*. Neural Computing & Applications, 2010, Vol. 19., No. 1., pp. 55-60.
5. Duer S.: *Expert knowledge base to support maintenance of a radar system*. Defence Science Journal, 2010, Vol. 60, No. 5., pp. 531-540.
6. Duer S.: *Qualitative evaluation of the regeneration process of a technical object in a maintenance system with an artificial neural network*. Neural Computing & Applications. 2011, Vol. 20, No. 5, pp. 741-752.
7. Duer S.: *Assessment of the quality of decisions worked out by an artificial neural network which diagnoses a technical object*. Neural Computing & Applications. 2011, DOI: 10.1007/s00521-011-0725-0.  
<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s00521-011-0725-0>



8. Duer S.: *Modelling of the operation process of repairable technical objects with the use information from an artificial neural network*. Expert Systems With Applications. 38 2011, pp. 5867-5878. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.036>.
9. Duer S.: *Examination of the reliability of a technical object after its regeneration in a maintenance system with an artificial neural network*. Neural Computing & Applications. 2011, DOI 10.1007/s00521-011-0723-2 <http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s00521-011-0723-2>.
10. Duer S.: *Applications of an artificial intelligence for servicing of a technical object*. Neural Computing & Applications. 2011, DOI: 10.1007/s00521-011-0788-y.
11. Duer S.: *Artificial neural network in the control process of object's states basis for organization of a servicing system of a technical objects*. Neural Computing & Applications. 2012, Vol. 21, No. 1, pp. 153-160.
12. Duer S. *Inteligentny system wspomagający proces odnawiania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych*. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2012, str. 242.
13. Nakagawa T.: *Maintenance Theory of Reliability*. Springer – Verlag London Limited, 2005, p. 264.
14. Palkova Z., Okenka I.: *Programovanie*. Slovak University of Agriculture in Nitra, 2007, p. 203.
15. Palkova Z.; *Modeling the optimal capacity of an irrigation system using queuing theory*. Warszawa : Warsaw University of Life Sciences Press. No. 55 (2010), pp. 5-11.

**Autorzy:**

**dr inż. Stanisław DUER** – Politechnika Koszalińska.

**dr inż. Konrad ZAJKOWSKI** – Politechnika Koszalińska.