

Stanisław DUER¹
Konrad ZAJKOWSKI²
Jacek PAŚ³

WYZNACZANIE BAZY WIEDZY EKSPERTOWEJ WSPOMAGAJĄCEJ OBSŁUGIWANIE SILNIKA BENZYNOWEGO

W artykule zawarto analityczne podstawy wyznaczania informacji obsługowej (obsługowej wiedzy ekspertowej) organizującej system obsługi technicznego obiektu. Przedstawiono podstawy analityczne procesu odnawiania własności użytkowych obiektu obsługi.

Przyjęty w pracy model obsługi obiektu jest transformacją informacji opisującej przestrzeń cech użytkowania (diagnostycznej) obiektu do postaci nominalnej przestrzeni cech użytkowania obiektu. Artykuł zawiera podstawy teoretyczne dotyczące przekształcania informacji diagnostycznej i wiedzy specjalistycznej eksperta do postaci zbioru informacji obsługowej.

DETERMINATION OF THE EXPERT KNOWLEDGE BASE TO SUPPORT MAINTENANCE OF A CAR ENGINE

The article presents the analytical basis for the determination of servicing information (servicing expert knowledge) which organizes the system for the servicing of a technical object. Analytical basis were presented of the process of restoration of the functional properties of the object of servicing.

The model of object's servicing as accepted in the present paper constitutes a transformation of information which describes the space of the properties of the use (diagnostic space) of an object to the form of a nominal space of the functional properties of an object. The article includes theoretical grounds concerning transformation of diagnostic information and specialist knowledge of an expert to the form of a set of servicing information.

1. WSTĘP

Naprawialne obiekty techniczne np. pojazdy samochodowe, samoloty, systemy radiolokacyjne i inne urządzenia podlegają cyklicznemu procesowi odtwarzania ich

¹Koszalin University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Raclawicka 15-17
75-620 Koszalin, Poland, e-mail: stanislaw.duer@tu.koszalin.pl

²Koszalin University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Raclawicka 15-17,
75-620 Koszalin, tel. 0943478426; konrad.zajkowski@tu.koszalin.pl;

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

własności użytkowych (odnowie). W każdym organizowanym procesie profilaktyki dąży się do optymalizowania kosztów -rozumianych jako nakłady i czas wykonania profilaktyki przebywania obiektu w systemie obsługi. W literaturze problem ten jest systematycznie rozwijany [1, 2, 7, 9]. Tradycyjne metody profilaktyki urządzeń technicznych są mało efektywne, ze względu na koszty. Problematyka ta jest ciągle doskonała i rozwijana podobnie jak jest rozwijana diagnostyka techniczna i teoria niezawodności urządzeń technicznych [4, 7].

Podstawą wszelkich działań z obiektem technicznym (diagnozowania oraz obsługi) jest wyznaczana informacja diagnostyczna. Najczęściej uzyskiwana poprzez badanie stanu, analizę jego modelu oraz obserwację rzeczywistego procesu eksploatacji obiektu tej samej klasy. Najbardziej w praktyce rozpowszechnioną i dogodną formą przedstawiania obiektu w procesie opracowania diagnostycznego jest jego model funkcjonalny. W toku opracowania modelu funkcjonalnego obiektu należy uwzględnić: schemat funkcjonalny obiektu, zasadę pracy obiektu, przeznaczenie i zasadę pracy obiektu oraz głębokość wnikania w strukturę obiektu w procesie lokalizacji uszkodzeń itp.

Przyjęty w pracy podział struktury wewnętrznej obiektu $\{e_{i,j}\}$ określa jednoznacznie głębokość wnikania w tą strukturę. Przyjęty podział uważa się za wystarczający jeżeli w strukturze obiektu wyróżnimy moduł-element podstawowy. Jednym z celów analizy funkcjonalno-diagnostycznej jest wyznaczenie stanu obiektu. Stan obiektu jest wyznaczany na podstawie badania zbioru sygnałów wyjściowych (diagnostycznych) $\{X_{i,j}\}$ (Tablica 1) [2-6]. Wyznaczony w czasie opracowania diagnostycznego obiektu zbiór jego elementów funkcjonalnych $\{e_{i,j}\}$ jest podstawą do zestawienia w postaci tablicowej zbioru sygnałów diagnostycznych (Tablica 1).

Tab 1. Tablica sygnałów diagnostycznych obiektu

Obiekt	Zespoły obiektu E_i	Wektor sygnałów diagnostycznych $\{X(e_{i,j})\}$				
		$X(e_{i,1})$	...	$X(e_{i,i})$	...	$X(e_{i,j})$
O	E_1	$X(e_{1,1})$	...	$X(e_{1,i})$	...	$X(e_{1,j})$
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	E_i	$X(e_{i,1})$	...	$X(e_{i,i})$	...	$X(e_{i,j})$
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	E_l	$X(e_{l,1})$	...	$X(e_{l,i})$	...	$X(e_{l,j})$

Uzyskany w wyniku analizy diagnostycznej obiektu zbiór sprawdzeń przedstawiono w postaci tablicy stanów (Tablica 2). W pracy przyjęto założenie, że tablica stanów obiektu (Tablica 2) stanowi podstawowy zbiór informacji diagnostycznej i jest podstawą do dalszej analizy.

Tab. 2. Tablica stanów obiektu

Stan obiektu	Stan zespołu	Wektor stanów elementów podstawowych $(e_{i,j})$				
		$\epsilon(e_{i,1})$	...	$\epsilon(e_{i,i})$	...	$\epsilon(e_{i,j})$
$W(\epsilon_1(O))$	$W(\epsilon_1(E_1))$	$W(\epsilon(e_{1,1}))$	...	$W(\epsilon(e_{1,i}))$	...	$W(\epsilon(e_{1,j}))$
\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
$W(\epsilon_o(O))$	$W(\epsilon_n(E_i))$	$W(\epsilon(e_{i,1}))$	...	$W(\epsilon(e_{i,i}))$	...	\emptyset
\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
$W(\epsilon_o(O))$	$W(\epsilon_N(E_l))$	$W(\epsilon(e_{l,1}))$	...	$W(\epsilon(e_{l,i}))$	...	$W(\epsilon(e_{l,j}))$

gdzie: $W(\varepsilon(e_{i,j}))$ - wartość logiki oceny stanu j-tego elementu w i-tym zespole, \emptyset - symbol dopełniający wymiar tablicy.

2. TWORZENIE ZBIORU ELEMENTÓW STRUKTURY OBSŁUGOWEJ OBIEKTU

Metody minimalizacji zbioru sprawdzeń przedstawione w [2-6, 7, 9] wymuszają istotne wymagania na zbiorze elementów podstawowych. Element podstawowy w tym przypadku może mieć dowolną liczbę wejść sygnałów ale tylko jedno wyjście. W wyznaczonym zbiorze elementów funkcjonalnych obiektu w procesie obsługi będą podlegały tylko te elementy, które znajdują się w stanach wymagających ich odnowienia. W tym celu opracowano relację porównywania stanów elementów obiektu zawartych w (Tablicy 1) z ich wzorcami zgodnie z zależnością

$$\bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W(\varepsilon(e_{i,j})) \mapsto \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W_w(\varepsilon(e_{i,j})) \Rightarrow \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W(z(e_{i,j})) \quad (1)$$

gdzie: $W(\varepsilon(e_{i,j}))$ - wartość stanu j-tego elementu w i-tym zespole, $W_w(\varepsilon(e_{i,j}))$ - wzorcowa wartość stanu j-tego elementu w i-tym zespole, $W(z(e_{i,j}))$ - wynikowa wartość stanu j-tego elementu w i-tym zespole, \mapsto - relacja porównywania, \Rightarrow - relacja wynikania.

Jeżeli w zależności (2) przyjmie się wartość stanu $W_w(\varepsilon(e_{i,j})) = \{2\}$, wówczas uzyskano jej postać:

$$\bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W(\varepsilon(e_{i,j})) \mapsto \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} \{2\} \Rightarrow \bigvee_{e_{i,j} \in \{E_i\}} W(z(e_{i,j})) = \{\otimes, 1, 0\} \quad (2)$$

gdzie: \otimes - stan j-tego elementu w i-tym zespole, który nie wymaga profilaktyki-symbol oznaczający dopełnienie wymiaru tablicy.

W efekcie tego działania uzyskano wstępny zbiór informacji obsługowej (Tablicy 3).

Tab. 3. Tablica pośredniej informacji obsługowej

Poziomy struktury obsługowej obiektu	Wektor stanów elementów obiektu ($e_{i,j}$)				
	$z(e_{1,1})$	...	$z(e_{i,j})$	...	$z(e_{i,j})$
1	$W(z(e_{1,1}))$	...	$W(z(e_{1,j}))$	...	\otimes
\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
i	$W(z(e_{i,1}))$	...	$W(z(e_{i,j}))$	...	$W(z(e_{i,j}))$
\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
I	$W(z(e_{1,1}))$	...	$W(z(e_{i,j}))$	...	\otimes

gdzie: $W(z(e_{i,j}))$ - wynikowa z-ta wartość logiki porównania stanu j-tego elementu w i-tym zespole obiektu.

Tworząc bazę wiedzy ekspertowej istotnym w tym procesie jest poznanie właściwości, zasady pracy i charakteru elementów podstawowych obiektu. Ekspert wykorzystując swoje

doświadczenia w zakresie użytkowania danej klasy obiektów technicznych dokonuje klasyfikowania elementów struktury obsługowej obiektu.

3. KLASYFIKOWANIE ELEMENTÓW STRUKTURY WEWNĘTRZNEJ ZŁOŻONEGO OBIEKTU TECHNICZNEGO

Sterowanie wielkością jakościowej funkcji użytkowej (F_C) w procesie eksploatacji wymaga między innymi poznanie i opisanie elementów struktury wewnętrznej obiektu, charakteru ich pracy itp. [2, 6, 7, 9]. W nowoczesnych systemach obsługowych obiektów technicznych przy komputerowym wspomaganiu organizacji tego procesu istotną funkcję spełniają w nich specjalistyczne (ekspertowe) bazy wiedzy. Ten specjalistyczny zbiór informacji o obiekcie obsługi wyznaczany jest na podstawie opisu elementów struktury obsługowej obiektu, grupowania ich w klasy oraz przyporządkowania im określonego podzbioru czynności profilaktycznych, właściwych tylko dla danej klasy elementów struktury.

Przy opisie elementów struktury obsługowej obiektu do danej klasy wykorzystano następujące cechy obiektu i jego elementów funkcjonalnych:

- a) charakter pracy (podzbiór charakterystyk) obiektu;

$$H = \{h_{1,1}, \dots, h_{i,j}, \dots, h_{I,J}\} \quad (3)$$

gdzie: charakterystyki opisujące j-te elementy w i-tych zespołach funkcjonalnych.

Podzbiór informacji w postaci zależności (3) reprezentuje te podstawowe funkcje charakterystyczne, dla realizacji których obiekt ten został zbudowany, np. parametry sygnałów wyjściowych, moment obrotowy, moc silnika pojazdu, ciśnienie w układzie hamowania pojazdu itp.

- b) funkcja i wykonywane zadania (podzbiór procesów);

$$L = \{l_{1,1}, \dots, l_{i,j}, \dots, l_{I,J}\} \quad (4)$$

Podzbiór w postaci zależności (4) opisuje te podstawowe zjawiska przemiany energii w obiekcie, w efekcie których realizowane są procesy funkcjonowania obiektu i pozwalające wykonywać zadania, dla których obiekt ten został zbudowany, np. dla zmniejszenia temperatury pracy silnika pojazdu stworzono w nim np. system chłodzenia itp.

- c) istota i rodzaj przemiany energii (podzbiór funkcji drugorzędnych) opisanej w postaci zależności;

$$M = \{m_{1,1}, \dots, m_{i,j}, \dots, m_{I,J}\} \quad (5)$$

Podzbiór informacji w postaci zależności (5) charakteryzuje pozostałe funkcje odzwierciedlające zjawiska drugorzędne, tworzące procesy uczestniczące w realizacji zadania głównego, np. tarcie części współpracujących ze sobą, dodatkowe wydzielanie ciepła, zanieczyszczenie filtra itp.

- d) własności eksploatacyjne identyfikujące element do danej klasy (podzbiór parametrów własnych) przedstawione w postaci zależności;

$$K = \{k_{1,1}, \dots, k_{i,j}, \dots, k_{I,J}\} \quad (6)$$

Podzbiór w postaci zależności (6) charakteryzuje parametry własne elementów składowych obiektu, np. oporność, sprężystość, przenikalność magnetyczną itp.

e) niezawodność (podzbiór defektów) jako zależność.

$$F = \{f_{1,1}, \dots, f_{i,j}, \dots, f_{I,J}\} \quad (7)$$

Podzbiór informacji w postaci zależności (7) opisuje te wyróżnione parametry niezawodnościowe elementów funkcjonalnych (obsługowych) obiektu, w postaci niesprawności i ich uszkodzenia, czyli opisuje wyjście cech wyróżnionych sygnałów diagnostycznych w obiekcie poza ich wartości dopuszczalne i graniczne np. stały spadek mocy silnika pojazdu, zmiany oporności, spadek sprężystości, zmiany przenikalności magnetycznej itp.

Podstawą w procesie klasyfikowania elementów struktury obsługowej obiektu spośród elementów podzbiorów H, L, M, K i F jest utworzony zbiór cech charakterystycznych elementów w postaci zbioru

$$B = \{b_s\}, \quad s = \overline{1, S} \quad (8)$$

gdzie: s – liczba wyróżnionych podzbiorów klas elementów obsługowych.

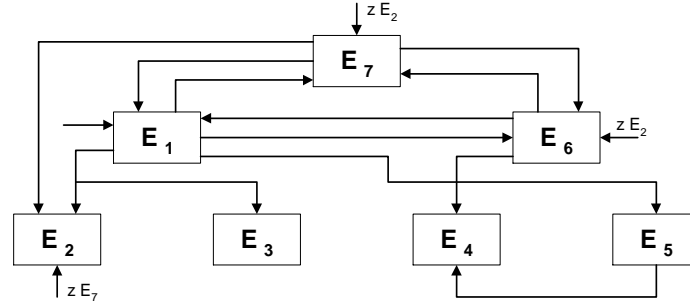
Elementy zbioru informacji obsługowej w postaci zależności (8) są podstawą w procesie klasyfikowania (grupowania) elementów struktury obsługowej. Oczywiście wymagane jest, aby elementy zbioru $\{b_s\}$ zawierały możliwie dużo informacji przy jednocześnie małej liczbie zbioru. O zbiorze $\{b_s\}$ można powiedzieć, że wyznaczany jest na podstawie zależności

$$B = \{b_s \in [H \cap L \cap M \cap K \cap F]\} \quad (9)$$

Na tej podstawie przy wykorzystaniu zależności (9) możliwe jest przyporządkowanie elementów struktury obsługowej obiektu do jednego z następujących podzbiorów ich klas, gdzie: $s = \{I - \text{elektroniczna}, II - \text{mechatroniczna}, III - \text{elektryczna}, IV - \text{elektromechaniczna}, V - \text{pneumatyczna}, VI - \text{hydrauliczna}, VII - \text{mechaniczna}, VIII - \text{cyfrowa}\}$.

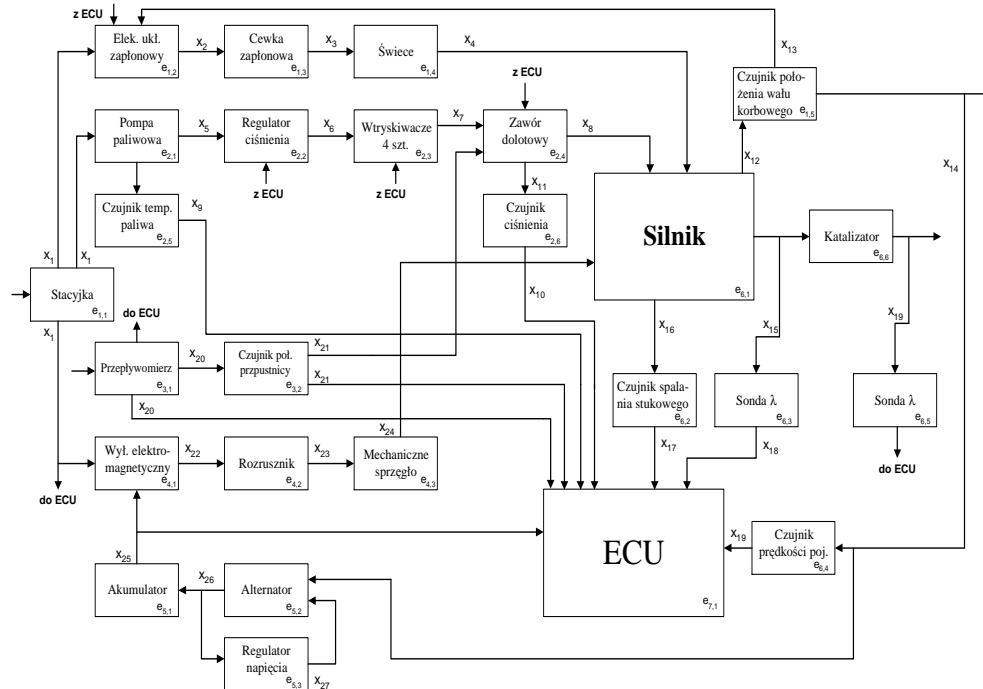
4. WERYFIKACJA METODY WYZNACZANIA WIEDZY EKSPERTOWEJ WSPOMAGAJĄCEJ OBSŁUGIWANIE SILNIKA POJAZDU SAMOCHODOWEGO

Przedstawiona metoda wyznaczania bazy wiedzy ekspertowej zweryfikowana zostanie na przykładzie naprawialnego obiektu technicznego, którym jest analogowe urządzenie sterujące pracą silnika samochodowego (Rys. 1) o zapłonie iskrowym wraz z oprzyrządowaniem. Stanowisko badawcze zostało opracowane na bazie silnika o zapłonie iskrowym z systemem wtrysku wielopunktowego typu Motronic. Obiekt poddano opracowaniu diagnostycznemu w efekcie, którego opracowano: schemat funkcjonalno-diagnostyczny. W przykładzie wykorzystano obiekt, którego struktura wewnętrzna (Rys. 2) (Tablica 4) składa się z siedmiu zespołów (E_1, E_2, \dots, E_7), a w każdym z nich wyróżniono do pięciu elementów [4]. Obiekt poddano opracowaniu diagnostycznemu w efekcie, którego opracowano: schemat funkcjonalno-diagnostyczny na podstawie, którego zestawiono zbiór elementów obsługowych. Obiekt poddano opracowaniu diagnostycznemu w efekcie, którego opracowano schemat funkcjonalno-diagnostyczny (Rys. 2) na podstawie, którego wyznaczono wymagany zbiór sygnałów diagnostycznych $\{X_{i,j}\}$.



gdzie: E_1 – układ zapłonowy, E_2 – układ zasilania paliwem, E_3 – układ zasilania powietrzem, E_4 – układ rozruchowy, E_5 – układ zasilania elektrycznego, E_6 – zespół silnika, E_7 – zespół elektronicznego sterowania.

Rys. 1. Schemat blokowy elektronicznego urządzenia sterowania pracą silnika samochodowego



Rys. 2. Schemat funkcjonalno-diagnostyczny badanego obiektu

Wykorzystując zaprezentowany wcześniej sposób klasyfikowania elementów obsługowych pogrupowano elementy funkcjonalne obiektu na podzbiory klas, uzyskane wyniki przedstawiono w (Tablicy 5).

Tab. 4. Struktura wewnętrzna obiektu

Zespoły obiektu	Elementy w strukturze obiektu $\{e_{i,j}\}$				
E_i	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
E_1	$e_{1,1}$	$e_{1,2}$	$e_{1,3}$	$e_{1,4}$	$e_{1,5}$
E_2	$e_{2,1}$	$e_{2,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_3	$e_{3,1}$	$e_{3,2}$	$e_{3,3}$	\emptyset	\emptyset
E_4	$e_{4,1}$	$e_{4,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_5	$e_{5,1}$	$e_{5,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_6	$e_{6,1}$	$e_{6,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_7	$e_{7,1}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset

gdzie: E_1 – układ zapłonowy: $e_{1,1}$ – alternator, $e_{1,2}$ – regulator napięcia, $e_{1,3}$ – akumulator, $e_{1,4}$ – cewka WN, $e_{1,5}$ – świeca zapłonowa; E_2 – układ zasilania paliwem: $e_{2,1}$ – regeneracja filtra z węglem aktywnym, $e_{2,2}$ – wtryskiwacz; E_3 – układ zasilania powietrzem: $e_{3,1}$ – przepływomierz powietrza, $e_{3,2}$ – czujnika położenia przepustnicy, $e_{3,3}$ – regulator biegu jałowego; E_4 – układ czujników: $e_{4,1}$ – czujnik spalania stukowego, $e_{4,2}$ – czujnik temperatury cieczy chłodzącej; E_5 – układ wylotowy: $e_{5,1}$ – sonda λ (1), $e_{5,2}$ – katalizator, $e_{5,3}$ – sonda λ (2); E_6 – silnik: $e_{6,1}$ – czujnik prędkości wału korbowego, $e_{6,2}$ – zawór EGR; E_7 – $e_{7,1}$ komputer pokładowy (mikroprocesor-sterownik).

Tab. 5. Klasy elementów obiektu obsługiwanego

Klasy elementów $s\{e_{i,j}\}$	Elementy obsługowe w zespołach obiektu $\{e_{i,j}\}$						
	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7
I - elektroniczna	$e_{1,2}$	-	-	-	-	-	-
II – mechatroniczna	-	-	$e_{3,3}$	-	-	-	-
III – elektryczna	$e_{1,1}; e_{1,3}; e_{1,4}; e_{1,5}$	$e_{2,1}; e_{2,2}$	-	$e_{4,1}; e_{4,2}$	$e_{5,1}; e_{5,2}$	$e_{6,1}; e_{6,2}$	-
IV – elektromechaniczna	-	-	$e_{3,1}; e_{3,2}$	-	-	-	-
V – pneumatyczna	-	-	-	-	-	-	-
VI – mechaniczna	-	-	-	-	$e_{5,3}$	-	-
VII – cyfrowa	-	-	-	-	-	-	$e_{7,1}$

5. WNIOSKI

Proces obsługiwanie obiektów technicznych, szczególnie takich gdzie jest wymagany krótki czas ich przestojów musi być realizowany według strategii profilaktyki z kontrolą stanu. Należy on do trudnych przedsięwzięć organizacyjno-technicznych. Tak zorganizowana profilaktyka obiektu charakteryzuje się jednak stosunkowo wysoką efektywnością uzyskaną głównie poprzez optymalizację kosztów eksploatacji. W chwili obecnej w rozwiązywaniu zadań obsługowych obiektów technicznych stosuje się systemy ekspertowe, które wykorzystują wiedzę specjalistyczną. Proces pozyskiwania wiedzy specjalistycznej człowieka na potrzeby wspomagania profilaktyki obiektów jest ciągle rozwijany. Istotnymi aspektami tego procesu jest poznanie i opis metod przekształcania tej wiedzy do postaci możliwej do wykorzystania jej przez system komputerowy.

Skutecznym podejściem w procesie organizacji ekspertowych systemów obsługiwanie obiektów technicznych jest wykorzystanie w nich informacji pochodzącej z różnych, a szczególnie tych ze sztucznych sieci neuronowych. Ważną jednak funkcję w ekspertowych systemach obsługiwanie spełnia człowiek, który wyznacza informację obsługową, organizuje system obsługiwanie i nadzoruje jego realizację.

Artykuł przedstawia metodę wykorzystania (przekształcania) wiedzy specjalistycznej człowieka na potrzeby komputerowego projektowania systemu obsługiwanie obiektów technicznych.

6. BIBLIGRAFIA

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji cz. 2. Wyd. WAT, Warszawa 2006, str. 187.
- [2] Duer S.: System ekspertowy wykorzystujący trójwartościową informację diagnostyczną wspomagający obsługiwanie złożonego obiektu technicznego. ZEM, 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. ZEM, 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. ZEM, 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.: System ekspertowy, ze sztuczną siecią neuronową obsługujący zestaw stacji radiolokacyjnej. VII Krajowa Konferencja Inżynierii Wiedzy i Systemów Ekspertowych, Politechnika Wrocławska, Instytut Informatyki, 23-25 czerwiec, Wrocław, 2009, str. 377-388.
- [7] Dhillon B.S.: Applied Reliability and Quality, Fundamentals, Methods and Procedures. Springer – Verlag London Limited 2006, p. 186.
- [8] Madan M. Gupta, Liang Jin and Noriyasu H.: Static and Dynamic Neural Networks, From Fundamentals to Advanced Theory. John Wiley & Sons, Inc 2003, p. 718.
- [9] Nakagawa T.: Maintenance Theory of Reliability. Springer – Verlag London Limited 2005, p. 264.