



Rozmyte mapy kognitywne w monitorowaniu decyzyjnym obiektów technicznych

ALEKSANDER JASTRIEBOW^{1,2}, STANISŁAW GAD¹,
GRZEGORZ SŁOŃ¹

¹Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki,
25-314 Kielce, Al. Tysiąclecia P. P. 7

²Politechnika Radomska, Wydział Nauczycielski,
26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29

Streszczenie. W pracy przedstawiono pewne podejście do analizy pracy systemów słabostrukturalnych, wykorzystujące mapę kognitywną do opisu wzajemnych relacji pomiędzy kluczowymi czynnikami. Niepewność związana z nieznaną dokładną strukturą obiektu oraz z niedokładnością odczytu symptomów została zminimalizowana dzięki zastosowaniu wnioskowania rozmytego. Przedstawiono analizę symulacyjną dynamicznego monitorowania diagnostycznego przykładowego systemu.

Słowa kluczowe: monitorowanie, relacje rozmyte, mapy kognitywne

Symbol UKD: 614

1. Wprowadzenie

Problem decyzyjnego monitorowania obiektów technicznych jest zwykle rozwiązywany [1-7]:

- w warunkach pełnej informacji,
- przy różnych stopniach niepewności.

Istniejące rozwiązania problemów niepewności przy monitorowaniu opierają się na metodach: Bayesa, Dempstera-Shaffera, wskaźników pewności oraz technik rozmytych [2].

W pracy, do analizy zadania monitorowania diagnostycznego w warunkach niepewności, wykorzystano inteligentną metodę opartą na rozmytych relacyjnych mapach kognitywnych [1, 3, 4, 7]. Ważnym elementem tej techniki są odwzorowania

rozmyte niepewnych sygnałów wejściowych we wskaźniki wyjściowe, uwzględniając przy tym istniejące niepewne relacje pomiędzy nimi.

Pracę poświęcono analizie dynamiki takich powiązań na wybranych przykładach symulacyjnych. Wyniki analizy wskazują na przydatność rozmytych map kognitywnych do monitorowania decyzyjnego.

2. Rozmyte relacyjne mapy kognitywne

Pod pojęciem map kognitywnych (MK) będą rozumiane pewne modele matematyczno-informatyczne, przedstawione w postaci zbioru czynników odwzorowujących zmienne (cechy) systemowe oraz relacje przyczynowo-skutkowe między nimi z uwzględnieniem oddziaływań wzajemnych oraz zmian charakteru relacji [1, 3, 4, 7]. Rozmyte relacyjne mapy kognitywne można przedstawiać w postaci następującej pary zbiorów:

$$\langle \mathbf{X}, \mathbf{R} \rangle, \quad (1)$$

gdzie: $\mathbf{X} = [X_1, \dots, X_N]$ — zbiór czynników mapy (wektor stanu), $\mathbf{R} = \{R_{ij}\}$ — macierz rozmytych relacji pomiędzy czynnikami X_i i X_j ($i, j = 1, \dots, N$) z odpowiednimi funkcjami przynależności i zakresem zbioru nośnika.

Dynamiczne modele powiązań (1) opisywane są modelem (2) określającym relacje pomiędzy przyrostami wartości czynników:

$$X_k(t+1) = X_k(t) \oplus \bigoplus_{i=1}^N [X_i(t) \ominus X_i(t-1)] \circ R_{i,k}, \quad (2)$$

gdzie: k — numer rozpatrywanego czynnika ($k = 1, \dots, N$);

t — czas dyskretny;

N — liczba czynników;

\oplus — operacja sumowania rozmytego;

\ominus — operacja odejmowania rozmytego;

$R_{i,k}$ — pojedyncza rozmyta relacja pomiędzy rozmytymi czynnikami o numerach i oraz k ;

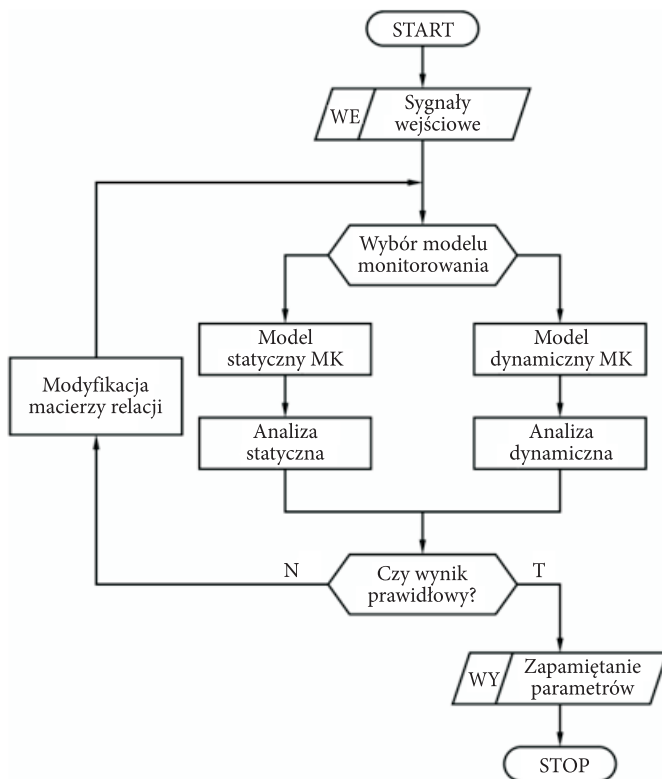
\circ — operacja maksyminowej kompozycji rozmytej.

Uwagi:

1. Modele dynamiczne rozmytych relacyjnych map kognitywnych, opisanych równaniem (2), realizują następujące zasady działania [1, 3]:
 - odwzorowanie asocjacyjne ($X_j \leftrightarrow X_i$),
 - sprzężenie zwrotne,
 - strukturalizację obszarów czynników mapy.

2. Wartości czynników oraz relacji w modelu (2) zwykle określane są na podstawie wiedzy ekspertowej z możliwością „douczenia” przy zmianie warunków pracy obiektu.

Zgodnie z powyższymi uwagami oraz (1)-(2) ogólny algorytm budowy i analizy map kognitywnych można przedstawić w postaci schematu z rysunku 1.

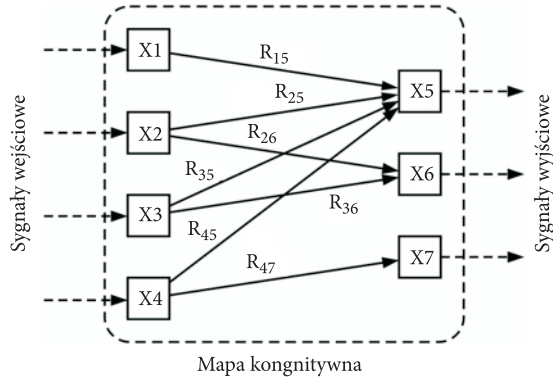


Rys. 1. Schemat algorytmu budowy i analizy map kognitywnych (MK)

3. Wybrane wyniki modelowania

Poniżej przedstawiono wyniki modelowania dynamicznego rozmytej relacyjnej mapy kognitywnej, skonstruowanej zgodnie ze schematem z rysunku 1 dla przykładowego systemu słabostrukturalnego, którego schemat wybranych powiązań pokazano na rysunku 2.

Przykładowe wartości sił oddziaływań pomiędzy czynnikami z rysunku 2 przedstawia tabela 1.



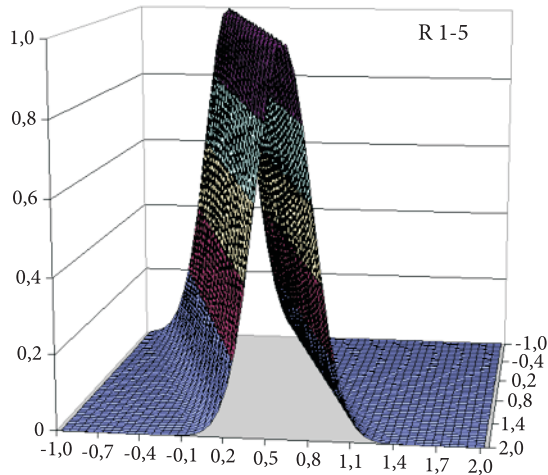
Rys. 2. Przykładowa mapa kongnitywna ($N = 7$)

TABELA 1

Przykładowe siły oddziaływań ($F_{X_i,k}$; $i = 1, 2, 3, 4$; $k = 5, 6, 7$) pomiędzy czynnikami mapy kongnitywnej

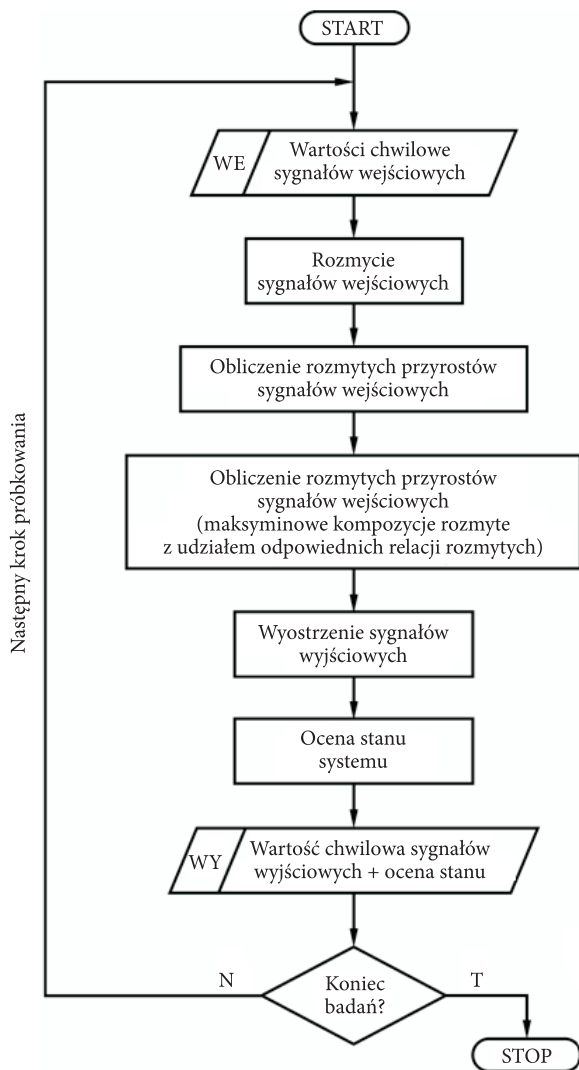
Czynnik	X_5	X_6	X_7
X_1	0,3	0	0
X_2	0,2	0,4	0
X_3	0,4	0,4	0
X_4	0,1	0	1

Rysunek 3 przedstawia kształt przykładowej relacji rozmytej pomiędzy czynnikami X_1 i X_5 (zastosowano ciąg funkcji gausoidalnych), zbudowanej w oparciu o dane z tabeli 1, zgodnie z algorytmem z rysunku 1.



Rys. 3. Przykładowa relacja rozmyta pomiędzy czynnikami X_1 i X_5

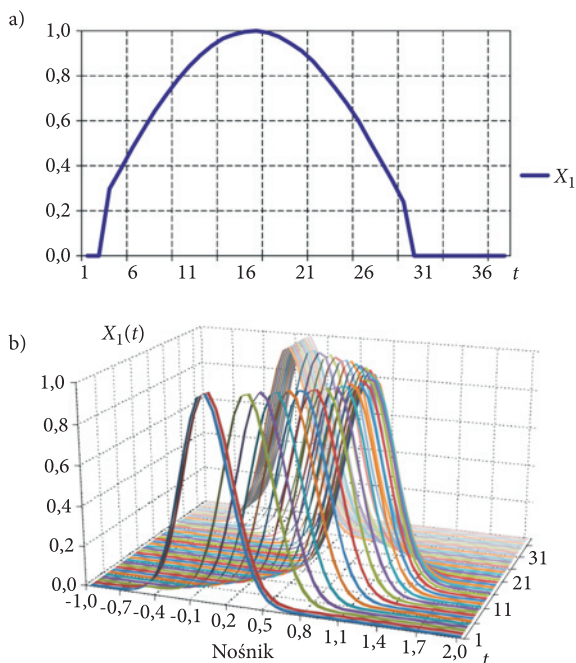
Analizę prowadzono zgodnie z algorytmem przedstawionym na rysunku 4 (na podstawie zależności (2)).



Rys. 4. Algorytm analizy pracy systemu z użyciem MK

Rozmywanie czynników wejściowych realizowano za pomocą funkcji gausoidalnej, której centrum umiejscawiano w punkcie odpowiadającym wartości chwilowej danego czynnika — po uprzedniej bezwymiarowej standaryzacji czynnika do przedziału $<0, 1>$. Z uwagi na konieczność zachowania symetrii wyników działań algebry rozmytej (dodawanie i odejmowanie rozmyte) przyjęto nośnik dla czynników

rozmytych w przedziale $\langle -1, 2 \rangle$. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe: ostry (po standaryzacji) oraz rozmyty wybranego czynnika (X_1).



Rys. 5. Przykładowy przebieg czasowy czynnika X_1 (a) oraz odpowiadający mu ciąg gausoidalnych funkcji rozmytych (b)

Analizę przeprowadzono dla jednej wybranej wielkości wyjściowej (X_5) i trzech stanów końcowych:

- brak uszkodzenia (praca prawidłowa),
- możliwe uszkodzenie,
- stan uszkodzenia.

Przyjęto klasyfikację stanów wielkości wyjściowych zgodną z tabelą 2.

TABELA 2

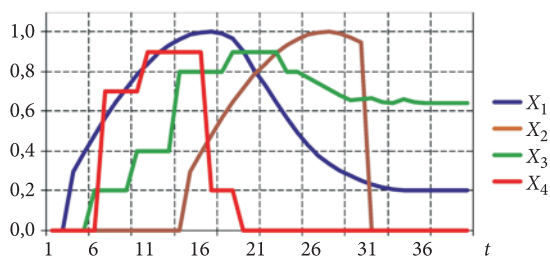
Klasyfikacja stanów wielkości wyjściowej X_k

Wartość chwilowa (standaryzowana)	Ocena stanu
$X_k = 0$	stan idealny
$0 < X_k \leq 0,4$	praca prawidłowa
$0,4 < X_k \leq 0,6$	możliwe uszkodzenie — dalsza praca obciążona przeciętnym ryzykiem
$0,6 < X_k \leq 1$	stan uszkodzenia — dalsza praca niemożliwa

Trajektorie odpowiadających sobie sygnałów wejściowych we wszystkich analizowanych przypadkach były początkowo takie same, natomiast później zmieniały się zależnie od symulowanego końcowego stanu systemu.

Analiza przedstawiona w niniejszej pracy została przeprowadzona przy dodatkowym założeniu upraszczającym, że suma wszystkich sił wpływających na pojedynczy czynnik wyjściowy (w tabeli 1) nie przekroczy jedności. Można to łatwo uzyskać poprzez odpowiednie skalibrowanie algorytmu budowy mapy kognitywnej. Tym niemniej możliwe jest również stworzenie systemu monitorującego operującego oddziaływaniami, których suma algebraiczna byłaby wyższa od jedności. W takim przypadku operacja sumowania wyników kompozycji rozmytej będzie się odbywać w oparciu o zmodyfikowany relatywistyczny algorytm sumowania, niebędący przedmiotem niniejszej pracy.

Na rysunku 6 pokazano przykładowe przebiegi czasowe sygnałów wejściowych (X_1 – X_4) w stanie prawidłowej pracy.



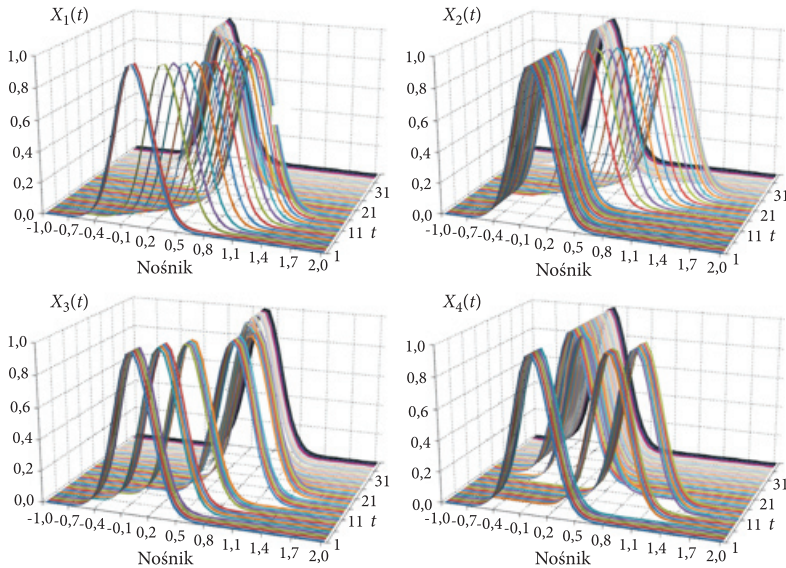
Rys. 6. Przykładowe przebiegi czasowe czynników X_1 – X_4 dla przypadku końcowego stanu poprawnej pracy

W procesie monitorowania decyzyjnego (wg algorytmu z rysunku 4) sygnały te są rozmywane zgodnie z zależnością (3).

$$X_i^j(t) = e^{-\left(\frac{p_j - \bar{X}_i(t)}{\sigma}\right)^2}, \quad (3)$$

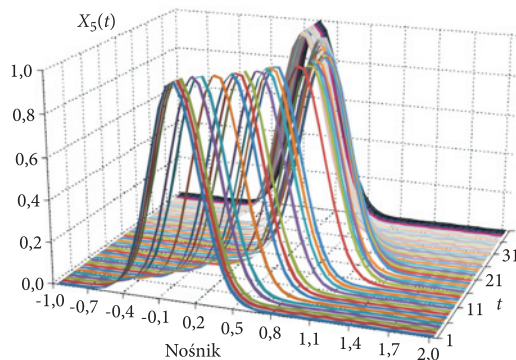
gdzie: $X_i^j(t)$ — wartość rozmytego przebiegu i -tego czynnika wejściowego w chwili t odniesiona do j -tego punktu nośnika, przy czym $X_i(t) = \{X_i^j(t)\}$ dla: $i = 1, 2, 3, 4$; $j = 1, \dots, M$, gdzie M — liczba punktów próbkowania;
 p_j — położenie j -tego punktu próbkowania nośnika ($j = 1, \dots, M$, gdzie M — liczba punktów próbkowania);
 $\bar{X}_i(t)$ — wartość chwilowa i -tego czynnika wejściowego w chwili t (centrum funkcji rozmytej);
 σ — współczynnik ustalający szerokość gausoidy wzorcowej.

W efekcie wartości chwilowe obserwowanych przebiegów X_1-X_4 są przetwarzane na swoje rozmyte odpowiedniki, przedstawione na rysunku 7.



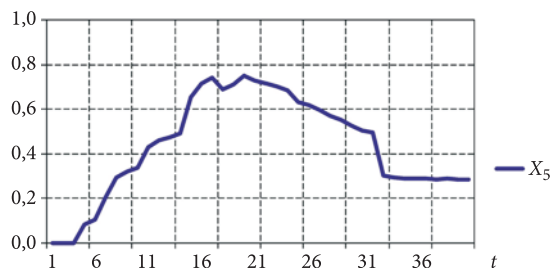
Rys. 7. Rozmyte przebiegi czasowe czynników X_1-X_4 dla przypadku końcowego stanu poprawnej pracy

Działanie algorytmu polega na wyznaczeniu (w każdej kolejnej chwili) przyrostów rozmytych czynników wejściowych, obliczeniu przyrostów rozmytych czynników wyjściowych poprzez przeprowadzenie maksyminowych kompozycji rozmytych z odpowiednimi relacjami rozmytymi (widok tego typu relacji przedstawiono na rysunku 3), a następnie na wyznaczeniu rozmytych wartości czynników wyjściowych. Rozmyty przebieg jednego z czynników wyjściowych (X_5) przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Rozmyty przebieg czasowy czynnika X_5 dla przypadku końcowego stanu poprawnej pracy

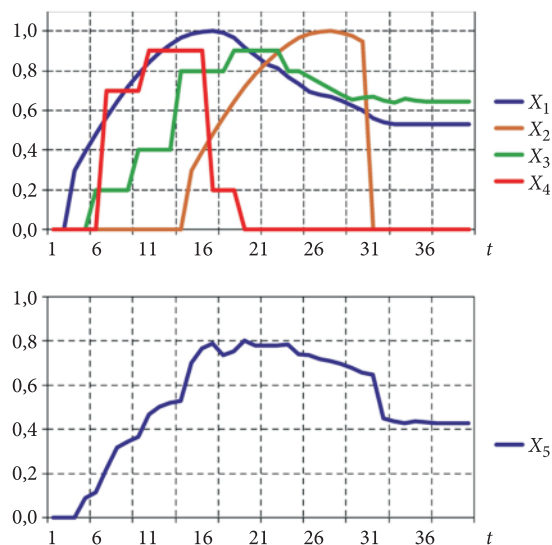
Ostatnim krokiem algorytmu jest wyostrenie rozmytych przebiegów wyjściowych i wypracowanie wniosku końcowego. Przebieg czasowy czynnika X_5 pokazano na rysunku 9.



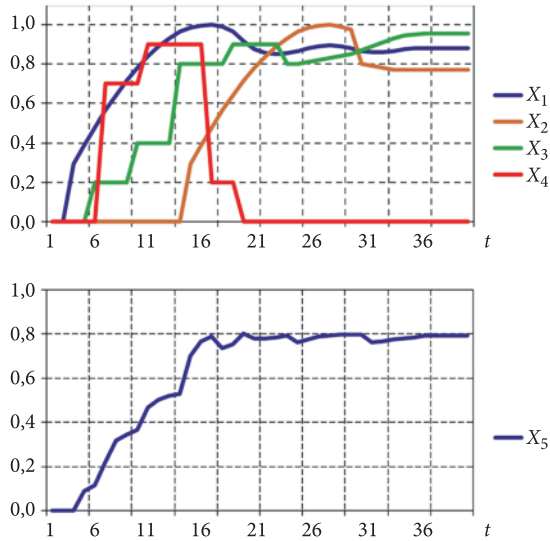
Rys. 9. Przykładowy przebieg czasowy czynnika X_5 dla przypadku końcowego stanu poprawnej pracy (chwilowa wartość końcowa czynnika $X_5 < 0,4$)

W analizowanym przypadku dowodem poprawnej pracy jest końcowa wartość czynnika $X_5 < 0,4$.

W analogiczny do przedstawionego powyżej sposób przeprowadzono analizę pracy systemu monitorującego dla przypadków: uszkodzenia możliwego, jednakże niepewnego (rys. 10) oraz uszkodzenia pewnego (rys. 11).



Rys. 10. Przykładowe przebiegi czasowe czynników X_1 – X_4 oraz X_5 dla przypadku końcowego stanu możliwego uszkodzenia (chwilowa wartość końcowa czynnika $0,4 < X_5 \leq 0,6$)



Rys. 11. Przykładowe przebiegi czasowe czynników X_1 – X_4 oraz X_5 dla przypadku końcowego stanu uszkodzenia pewnego (chwilowa wartość końcowa czynnika $X_5 > 0,6$)

4. Wnioski

Przedstawione w pracy podejście do analizy działania złożonych systemów opiera się na wiedzy ekspertowej, pozwala jednak na maksymalne zobiektywizowanie algorytmu wnioskowania. Uzyskuje się to dzięki kilku kluczowym czynnikom. Po pierwsze, pomija się wymóg dokładnej znajomości struktury poszczególnych składników systemu na rzecz wiedzy o siłach wzajemnych oddziaływań pomiędzy czynnikami wejściowymi i wyjściowymi. Po drugie, niepewność co do chwilowych stanów poszczególnych składników systemu oraz dokładności ich obserwacji (mająca duże znaczenie przy analizie systemów słabostrukturalnych) może być do pewnego stopnia zniwelowana poprzez wprowadzenie rozmycia obserwowanych wielkości. Po trzecie, proces tworzenia poszczególnych relacji rozmytych może zostać zautomatyzowany, dzięki czemu wiedza ekspertowa stanowi jedynie element startowy algorytmu (w późniejszym etapie może też zostać wykorzystana do optymalizacji kształtu składników mapy kognitywnej). Czynniki te pozwalają budować systemy monitorujące i decyzyjne nadzorujące obiekty o złożonej i trudnej do opisu analitycznego strukturze.

Przytoczone wybrane wyniki analizy symulacyjnej dynamicznej struktury przedstawionego modelu wnioskowania pokazują poprawność działania systemu w sytuacjach, w których prosta obserwacja czynników wejściowych nie daje pewności co do stanu kluczowego czynnika wyjściowego, co z kolei nie pozwala na szybkie podjęcie prawidłowej decyzji. Wprowadzenie algorytmu monitorowania decyzyjnego opartego o rozmytą mapę kognitywną umożliwia zobiektywizowanie całego procesu.

Artykuł wpłynął do redakcji 14.12.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2009 r.

LITERATURA

- [1] W. W. BORISOW, W. W. KRUGŁOW, A. C. FIEDUŁOW, *Rozmyte modele i sieci*, Moskwa, Wyd. Telekom, 2007 (w j. rosyjskim).
- [2] J. C. GIARRATANO, G. D. RILEY, *Expert systems. Principles and Programming. Course Technology*, Thomson Learning Inc. Copyright, 2005.
- [3] A. I. JASTRIEBOW, S. GAD, G. SŁOŃ, *Intelligent Methods of Diagnosing Motorcar's Electrical Equipment*, Computer Systems Aided Science and Engineering Work in Transport, Mechanics and Electrical Engineering, Radom, Technical University of Radom (Publishing Office), 2008, 209-215.
- [4] A. I. JASTRIEBOW, S. GAD, G. SŁOŃ, *Modele i reguły decyzyjne w symptomowej diagnostyce technicznej*, Diagnostyka, 3, 39, 2006, 199-208.
- [5] A. I. JASTRIEBOW, S. GAD, G. SŁOŃ, *Synteza i analiza symptomowych metod diagnozowania*, Diagnostyka, 1, 45, 2008, 131-134.
- [6] J. KACPRZYK, *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*, WNT, Warszawa, 2001.
- [7] B. KOSKO, *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Prentice-Hall, Nowy Jork, 1992.

A. JASTRIEBOW, S. GAD, G. SŁOŃ

Fuzzy cognitive maps in technical objects decisional monitoring

Abstract. In the paper, certain approach to the analysis of work of low-structural systems, using cognitive map to describe relations between crucial factors, is presented. Uncertainty, connected with a shortage of the knowledge on the system's structure and imprecise reading the symptoms, has been minimized thank to use fuzzy concluding. The simulation analysis of diagnostic monitoring hypothetical system is also included.

Keywords: monitoring, fuzzy relations, cognitive maps

Universal Decimal Classification: 614

