

GENEZOWANIE STANU MASZYN

Henryk TYLICKI
Joanna WILCZARSKA

Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów, Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno – Rolnicza
ul. S. Kaliskiego 7, 85-763 Bydgoszcz,
tylicki@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono problematykę genezowania stanu maszyn w procesie rozpoznawania stanu maszyn. Zaprezentowano także algorytmy wyznaczania procedur genezowania wartości parametru diagnostycznego i określenie przyczyn stanu niezdatności maszyn.

Słowa kluczowe: ocena stanu technicznego maszyn, genezowanie stanu maszyn, algorytmy procedur genezowania.

THE GENESIS OF MACHINES TECHNICAL STATE

Summary

The problems in study was introduced the genesis of machine engines state in process the diagnostics of machine engines state. The algorithms of marking the optimum procedures were presented the genesis of diagnostic value parameter and qualification of state causes unfitness machine engines also.

Key words: the opinion of machine technical state, the genesis of machines technical state, the algorithms of genesis procedures.

1. WPROWADZENIE

Doskonalenie eksploatacji maszyn, oprócz diagnozowania, które zapewnia informację o aktualnym stanie technicznym maszyny oraz prognozowania, które przy założeniu monotoniczności zmian wartości parametrów diagnostycznych w czasie eksploatacji umożliwia wyznaczenie terminu i zakresu obsługiwanie maszyny, wymaga także wyznaczenia genezy stanu maszyny.

Problemy występujące w procesie genezowania stanu technicznego maszyny sprowadzają się do:

1. Analizy procesu pogarszania się jej stanu technicznego, określenie tendencji i dynamiki zmian wartości jej parametrów stanu, wybór stanów w których mogła znajdować się maszyna, dekompozycja maszyny na układy i zespoły, kryteria wyboru stanów i prawdopodobieństwo ich występowania, wybór „najlepszych” (według odpowiednich kryteriów) parametrów diagnostycznych opisujących zmianę stanu maszyny.

2. Wyboru „najlepszej” (według odpowiednich kryteriów) metody wyznaczania genezy stanu.

3. Wykorzystanie informacji o genezie stanu I_{DG} do analizy przyczyny zaistnienia stanu maszyny.

Na podstawie analizy opracowań dotyczących rozwiązywania problemów zbliżonych do prezentowanych w pracy [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] stwierdza się, że:

1. W celu poprawnego funkcjonowania nowoczesnych systemów obsługiwanie maszyn (wykorzystujących informację o stanie maszyny w chwili badania, w czasie przyszłym i w czasie przeszłym) istnieje potrzeba opracowania metody, która w przypadku niepełnej lub niepewnej historii zmian stanu maszyny umożliwi szacowanie stanu maszyny w czasie przeszłym eksploatacji (prognoza wsteczna, genezowanie stanu maszyny).

2. Metody genezowania nie znalazły dotychczas zastosowania w postaci algorytmów obliczeniowych do szacowania stanu maszyny w czasie przeszłym jej eksploatacji;

3. Brak opracowań, wykorzystujących narzędzia optymalizacji wielokryterialnej, mających na celu rozwiązanie problemu genezowania stanu technicznego maszyny według algorytmu:

aktualny stan techniczny maszyny – parametry diagnostyczne opisujące ten stan - metoda

genezowania wykorzystująca niepełną lub niepewną historię wartości parametrów diagnostycznych w czasie przeszłym – geneza stanu technicznego maszyny – wykorzystanie genezy stanu technicznego maszyny w systemie obsługi.

4. Projektowane i wprowadzane obecnie w krajach Unii Europejskiej przepisy ISO dotyczące wymagań, jakie mają spełniać maszyny, np. dla pojazdów, obok ograniczeń związanych z toksycznością spalin i zużyciem paliwa, narzucają również wymagania dotyczące diagnostyki poszczególnych układów pojazdu, w tym szczególnie układów silnika i układów bezpieczeństwa jazdy. Przewiduje się tu pokładowe systemy diagnostyczne, które rozpoznają, zapamiętują, sygnalizują, prognozują i genezują stany zespołów i układów pojazdu (np. w pokładowym systemie diagnostycznym EOBD – opcja „zamrożonej ramki”).

5. Stwierdza się, że proste algorytmy prognostyczne zaczynają stanowić element standardowego oprogramowania przyrządów diagnostycznych zaś proste procedury wyznaczania genezy stanu stanowią podstawę oprogramowania systemów doradczych, np. przy analizie wypadków drogowych (pakiet CRASCH i inne).

Reasumując stwierdza się, że istnieje potrzeba i możliwości (istniejące metody szacowania wartości parametrów diagnostycznych opisujących zmianę stanu maszyny w czasie eksploatacji) opracowania metodyki szacowania stanu technicznego w czasie przeszłym eksploatacji maszyny, możliwej do wykorzystania w systemie obsługi maszyn.

2. SYNTEZA GENEZY STANU MASZINY

Genezowanie stanu technicznego zespołów i układów maszyny powinno polegać na określeniu (przy niepełnych lub niepewnych danych wartości parametrów diagnostycznych) trendu zmian wartości parametrów diagnostycznych, charakteryzującego proces pogarszania się stanu maszyny w przeszłości, przyrównaniu chwilowych wartości parametrów diagnostycznych do wartości granicznych i na tej podstawie szacowanie zapasu przebiegu niezawodnej pracy zespołów i układów maszyny w interesującym użytkownika czasie przeszłym eksploatacji maszyny lub analiza przyczyny zlokalizowanego w chwili badania uszkodzenia maszyny.

Rozwiązanie przedstawionego postulatu można przedstawić w postaci następującego schematu:

1. Niech zjawisko pogarszania się stanu technicznego zespołów maszyny będzie reprezentowane szeregiem czasowym $y_t = \langle y_1, y_2, \dots, y_b \rangle$, tj. zbiorem dyskretnych obserwacji $\{y_t = \zeta(t); t = t_1, t_2, \dots, t_b\}$ pewnego niestacjonarnego procesu stochastycznego $\zeta(t)$.

2. Przy założeniu, że mechanizm zmian wartości procesu stochastycznego w czasie $t \in (t_1, t_b)$ kształtuje trend $\mu(t)$ zakłócony różnymi oddziaływaniami losowymi $\eta(t)$

$$y_t = \mu(t) + \eta(t) \quad (1)$$

gdzie:

$\mu(t)$ - charakteryzuje składnik zdeterminowany szeregu czasowego y_t , opisuje on tendencję rozwojową obserwowanego parametru diagnostycznego $y(t)$,

$\eta(t)$ - charakteryzuje odchylenia od trendu diagnostycznego wyraża działanie czynników przypadkowych (warunki terenowe, warunki klimatyczne, jakość obsługi),

konstruuje się takie oszacowanie $\{\mu_p(t); t=1, \dots, b\}$ dla nieznanego trendu $\mu(t)$, które zapewniałoby odpowiednią dokładność genezy $y_G(t)$, przy ekstrapolacji $\mu_p(t)$ na odcinek czasu pracy maszyny (t_b, t_G) , $t_p = t_b - \tau_2$.

3. Oszacowanie $\mu_G(t)$ wyznacza wówczas wartości obserwowanych parametrów diagnostycznych w genezowanej chwili t_G , a tym samym genezę stanu technicznego układów lub zespołów maszyny $W(t_G)$.

4. Jako dopuszczalny stan eksploatacji zespołów i układów maszyny W_{dop} w przedziale czasu (t_b, t_G) przyjmuje się wartość czasu, dla którego granice przedziału błędów dla poszczególnych genez

$$\sigma(y_t, y_G, G(y_t, \tau)) \quad (2)$$

określone na podzbiorze $\Omega^y \in \Omega$ dostępnych realizacji obserwowanych parametrów $\{y_j(t)\}$ oraz ich genez $\{y_{jG}\}$ według przyjętej metody genezowania $G(y_t, \tau)$ nie przekraczają wartości granicznych $\{y_{jG}\}$.

5. Dopuszczalny stan techniczny W_{dop} układu lub zespołu maszyny wyznacza horyzont genezy τ_j^0 , dla którego nie występuje przekroczenie wartości granicznej parametru diagnostycznego $\{y_{jG}\}$ przez granicę przedziału błędów genezy wyznaczoną przez promień granicy przedziału błędów $r_{\sigma G}$.

$$r_{\sigma G} = q\sigma_G \quad (3)$$

gdzie:

$q_{\gamma, K}$ - parametr stały wyznaczany z tablicy rozkładu Studenta do wymaganego poziomu ufności γ i $K-2$ liczby stopni swobody,

σ_G - odchylenie standardowe składnika losowego błędów genezy e_G .

6. W przypadku systemu obsługi wymagana postacią genezy stanu układów lub zespołów maszyny jest informacja, czy w czasie (y_1, y_b) stan techniczny był stanem dopuszczalnym W_{dop} (można ją przedstawić jako wartość dopuszczalnego czasu eksploatacji t_{G1}). Proponuje się także, aby

wielkościami dodatkowymi GST były wartość oczekiwana błędu genezy e_G i promień granicy przedziału błędu genezy r_G (rys. 1)

$$GST = \langle W_{dop}, e_G, r_G \rangle \quad (4)$$

7. Jako wartość t_{G1} proponuje się przyjąć wartość dopuszczalnego czasu eksploatacji układu lub zespołu maszyny określony wartością horyzontu $\{\tau^0\}$, wyznaczoną jako punkt przecięcia się linii wartości granicznej parametru diagnostycznego y_{jg} z dolną (przy założeniu, że $y(t_b) > y_{jg}$) lub górną (przy założeniu, że $y(t_b) < y_{jg}$) granicą przedziału błędu genezy wyznaczoną przez promień granicy przedziału błędu r_G dla współczynnika ufności $r_\sigma^{0.05}$ dla poziomu ufności $1 - \gamma = 0.95$, co odpowiada prawdopodobieństwu o wartości $p=0.05$, że w przedziale wyznaczonym przez horyzont τ_j^* parametr diagnostyczny y_j osiągnie wartość graniczną y_{jg} .

Możliwe są wówczas dwie opcje:

a) nieprzekroczenie przez kontrolowany parametr diagnostyczny granicy wyznaczonej przez promień $r_\sigma^{0.05}$ interpretuje się wówczas jako brak sygnału alarmu do wnikliwej i bardziej dokładnej obserwacji diagnostycznej zespołu lub układu maszyny;

b) czas przekroczenia przez kontrolowany parametr diagnostyczny granicy wyznaczonej przez promień $r_\sigma^{0.05}$ interpretuje się jako czas t_{G1} – termin przejścia układu lub zespołu maszyny w stan niezdatności.

Przedział czasu (t_1, t_b) będzie okresem estymacji wartości oczekiwanej błędu genezy e_G i promienia granicy błędu genezy $r_{\sigma G}$, zaś okres czasu $t_b - \tau_2$ będzie okresem aktywnej genezy, tzn. wyznaczenia:

a) wartości genezowanej parametru diagnostycznego po czasie horyzontu genezy τ_2 , $y_{jG}(t_b - \tau_2)$,

b) określenie wartości promienia granicy przedziału błędu genezy $r_G(t_b - \tau_2)$,

c) wyznaczenie ewentualnych czasów $\{t_{G1i}\}$ przejścia zespołu lub układu maszyny w stan niezdatności.

Oszacowanie stanu maszyny lub wartości wykonanej przez nią w przeszłości pracy wyznaczają wyniki genez wartości parametrów diagnostycznych $\{y_j(\Theta_{b-\tau_2})\}$, co pozwala na sformułowanie, przedstawionego poniżej, algorytmu genezowania stanu maszyny:

3. ALGORYTM GENEZY STANU TECHNICZNEGO MASZINY

Algorytm rozwiązania problemu genezowania stanu maszyny można realizować na podstawie określonych etapów badawczych:

1. Określenie stanu technicznego maszyny w chwili badania.

2. Określenie zbioru parametrów diagnostycznych opisujących ten stan.

3. Genezowanie wartości parametrów diagnostycznych w czasie przeszłym (przy założeniu niepełnej lub niepewnej ich historii).

4. Geneza stanu technicznego maszyny (określenie przyczyny stanu w chwili badania).

5. Wykorzystanie genezy stanu technicznego w eksploatacji maszyny.

Poniżej rozpatrzono najbardziej istotne, ze względu na konieczność implementacji, dwa elementy algorytmu:

1. Genezowanie wartości zbioru parametrów diagnostycznych $\{y_j^*\}$:

a) za pomocą metody aproksymacji wartości parametru diagnostycznego y_j^* w przedziale czasu (Θ_1, Θ_b) wraz z promieniem błędu aproksymacji „kanału błędowego” r_a metodami (metoda średniokwadratowa, metoda trygonometryczna),

b) za pomocą interpolacji wartości parametru diagnostycznego y_j^* w przedziale czasu (Θ_1, Θ_b) wraz z promieniem błędu interpolacji „kanału błędowego” r_i metodami (metoda funkcji sklepanych różnych stopni),

c) wybór metody według minimalnej lub maksymalnej wartości promienia błędu aproksymacji lub interpolacji (błąd dopasowania).

2. Analiza przyczyny wystąpienia stanu $s_i(T_{LU})$:

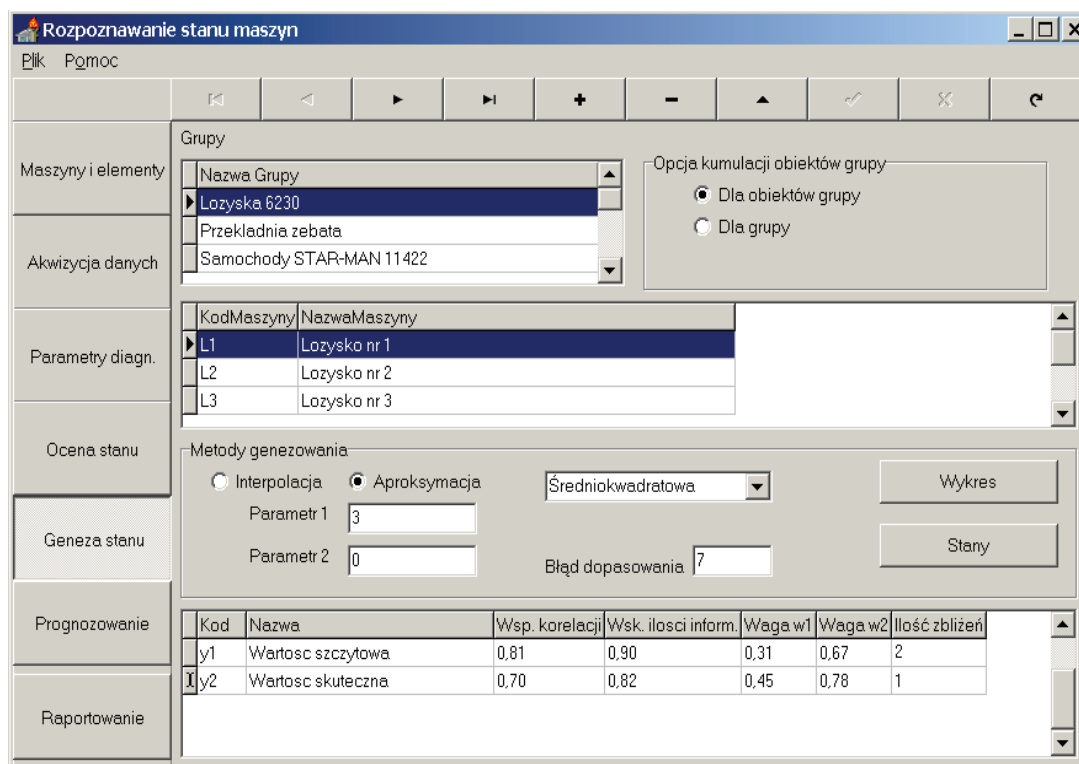
a) prezentacja zbioru $\{s_i(\Theta_k), i=1, \dots, I; k=1, \dots, K\}$.

b) określenie punktu wspólnego „kanału błędowego” wyznaczonego przez promień błędu $r = \max(r_a, r_i)$ i wartość graniczną parametru diagnostycznego y_j^* w chwili $\Theta_s \in (\Theta_1, \Theta_b)$, co oznacza że przyczyną wystąpienia zlokalizowanego stanu s_i było „chwilowe pojawienie” się tego stanu w czasie (Θ_1, Θ_b) ;

c) określenie większej liczby punktów wspólnych „kanału błędowego” wyznaczonego przez promień błędu $r = \max(r_a, r_i)$ i wartości granicznej parametru diagnostycznego y_j^* w chwilach $\Theta_s \in (\Theta_1, \Theta_b)$ oznacza, że przyczyną wystąpienia zlokalizowanego stanu s_i w czasie (Θ_1, Θ_b) ;

d) w przypadku braku punktów wspólnych określenie minimalnej odległości „kanału błędowego” od wartości granicznej w chwili $\Theta_s \in (\Theta_1, \Theta_b)$, co oznacza że prawdopodobną przyczyną wystąpienia zlokalizowanego stanu s_i było „chwilowe niepełne pojawienie się” się tego stanu w czasie (Θ_1, Θ_b) ;

e) analiza tożsamości zbioru stanów $\{s_i(\Theta_k), k=1, \dots, K\}$ i zlokalizowanego przez T_{LU} stanu s_i w celu określenia przyczyny jego wystąpienia w kontekście otrzymanych ewentualnych „punktów wspólnych” lub minimalnej odległości „zblizeń”.



Rys. 1. Ekran dla opcji „Geneza stanu”

4. IMPLEMENTACJA ALGORYTMU GENEZOWANIA STANU

Geneza stanu – ustalenie przyczyny wystąpienia zlokalizowanego w trakcie realizacji testu T_{LU} , stanu $s_i(T_{LU})$:

1. Genezowanie wartości zbioru parametrów diagnostycznych $\{y_j^*\}$.

2. Analiza przyczyny wystąpienia stanu $s_i(T_{LU})$.

Kliknąć „Geneza stanu”

I. Wybrać nazwę „Grupy”: np. Łożyska 6203.

II. Wybrać „Opcję kumulacji obiektów grupy”: „Dla obiektów grupy” lub „Dla grupy”.

W celu zwiększenia wiarygodności uzyskiwanych wyników badania procedury genezowania należy wybrać wariant „Dla grupy”, poddawane są wówczas analizie wszystkie obiekty w grupie maszyn po uprzedniej kumulacji zbioru wartości parametrów diagnostycznych $\{y^*\}$ (wartość średnia) i zbioru stanów $\{s_i(\Theta_k), i=1, \dots, I; k=1, \dots, K\}$.

W wariantcie „Dla grupy”:

1. Wybrać „Metody genezowania”, pojawia się w oknie interaktywnym zbiór metod: metody aproksymacyjne: średniokwadratowa i trygonometryczna, metody interpolacyjne: funkcji sklepanych, liniowa według układu:

- „Kod” np. $g_1, \dots, g_j, \dots, g_m$;
- „Nazwa metody”;
- „Błąd dopasowania.”

z oknami interaktywnymi do wprowadzenia:

- Parametr 1;
- Parametr 2

2. Wybrać „Metodę genezowania” – w oknie informacyjnym „Interpretacja” pojawiają się ilości zbliżeń „kanału błędowego” do wartości granicznej parametru według układu:

- „Kod”;
- „Nazwa parametru”;
- „Opis zbliżeń” – ilość, termin, odległość od wartości granicznej;

3. Wybrać „Wykres” – pojawia się okno z wykresem interpretacji genezowania stanu (rys. 2).

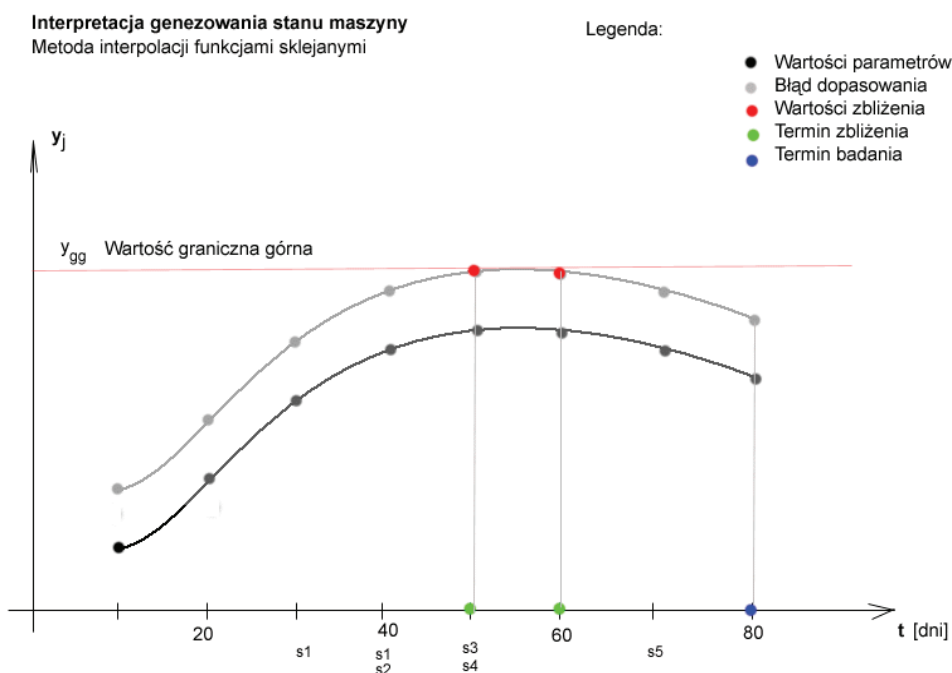
4. Wybrać „Genezowane stany” – pojawia się ono okno informacyjne z interpretacją umożliwiającą wyjaśnienie przyczyny, zlokalizowanego podczas oceny stanu, stanu $s_i(T_{LU})$ według układu:

- „Czas pracy (przebieg)”;
- „Stan maszyny”;
- „Opis zbliżeń” – odległość od wartości granicznej;
 - „Współczynnik korelacji”: $r_j = r(W, y_j)$;
 - „Wskaźnik ilości informacji”: h_j ;
 - „Waga wprowadzona”: w_{2j}

W wariantcie „Dla obiektów grupy”:

1. Wybrać „Metody genezowania”, pojawia się w oknie informacyjnym zbiór metod: metody aproksymacyjne: wielomianowe, średniokwadratowa i trygonometryczna, metody interpolacyjne: funkcji sklepanych z różnymi stopniami interpolacji – liniowa (1 rzędu), kwadratowa (2 rzędu), potęgowa trzeciego stopnia według układu:

- „Kod” np. $g_1, \dots, g_j, \dots, g_m$;
- „Nazwa metody”;



Rys. 2. Ekran dla opcji „Wykres – genezowanie”

- c) „Błąd dopasowania.”
 z oknami interaktywnymi do wprowadzenia:
- a) Parametr 1;
 - b) Parametr 2
2. Wybrać „Metodę genezowania” – w oknie informacyjnym „Interpretacja” pojawiają się ilości zbliżeń „kanału błędowego” do wartości granicznej parametru według układu:
 - a) „Kod”;
 - b) „Nazwa parametru”;
 - c) „Opis zbliżeń” – ilość, termin, odległość od wartości granicznej;
 3. Wybrać „Wykres” – pojawia się okno z wykresem interpretacji genezowania stanu (rys.1)
 4. Wybrać „Genezowane stany” – pojawia się ono okno informacyjne z interpretacją umożliwiającą wyjaśnienie przyczyny, zlokalizowanego podczas oceny stanu, stanu $s_i(T_{LU})$ według układu:
 - a) „Czas pracy (przebieg)”;
 - b) „Stan maszyny”;
 - c) „Opis zbliżeń” – odległość od wartości granicznej;
 - d) „Współczynnik korelacji”: $r_j = r(W, y_j)$;
 - e) „Wskaźnik ilości informacji”: h_j ;
 - f) „Waga wprowadzona”: w_j

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione powyżej rozważania, sformułowane w postaci algorytmów genezowania stanu maszyn, odnoszą się do przedstawionego w opracowaniu schematu rozpoznawania stanu maszyn.

Ze względu na zaproponowany niezbyt liczny zbiór rozwiązań dopuszczalnych (zbiór metod genezowania) nie można sformułować konkluzji, że opracowana metodyka ma charakter ostateczny i może stanowić gotowy element projektu systemu rozpoznawania maszyn. Jednak możliwość jej stosowania w przypadku szacowania przyczyny stanu maszyny może stanowić podstawę do dalszych prac w obszarze softwaru i hardware'u pokładowego systemu diagnostycznego maszyny.

Przykładem tego jest przedstawiony projekt implementacji algorytmu genezowania, który:

- zawiera rozwiązanie problemu genezowania wartości parametrów diagnostycznych;
- umożliwia szacowanie przyczyny wystąpienia stanu niezdatności maszyny (warunki eksploatacji, rozwój stanu niezdatności maszyny, inne przyczyny);
- może być wykorzystany do budowy reguł wnioskowania diagnostycznego w zakresie szacowania przyczyny stanu niezdatności maszyny.

LITERATURA

- [1] Batko W.: *Metody syntezy diagnoz predykcyjnych w diagnostyce technicznej*, AGH, Kraków 1984.
- [2] Będkowski L.: *Elementy diagnostyki technicznej*, WAT, Warszawa 1991.
- [3] Box G., Jenkins G.: *Time series analysis, forecasting and control*, London 1970.
- [4] Cempel C.: *Ewolucyjne modele symptomowe w diagnostyce maszyn*, Materiały I Kongresu Diagnostyki Technicznej, Gdańsk 1996.
- [5] Cempel C., Bossak J., Żółtowski B.: *Proste metody prognozowania stanu maszyn*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, 3 (1989), Kraków 1989.
- [6] Prażewska M. J.: *Ocena nieuszkodzalności ESŁ na podstawie niepewnych danych*. Przegląd Telekomunikacyjny nr 4/2002. Warszawa 2002.
- [7] Tylicki H.: *Conception of the optimization of devices technical condition forecasting process*. Machine Dynamics Problems, 9 (1994), Warszawa 1995.
- [8] Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1997.
- [9] Ameljańczyk A.: *Optymalizacja wielokryterialna*, WAT, Warszawa 1986.
- [10] Tylicki H.: *Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych*. Wydawnictwa Uczelniane ATR. Bydgoszcz 1998.

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego KBN nr 4 T07B 033 26



Dr hab. inż. Henryk TYLICKI, prof. nadzw. ATR w działalności naukowej zajmuje się problemami diagnostyki technicznej, eksploatacji maszyn i optymalizacją systemów transportowych. Ma w swoim dorobku ponad 150 publikacji, w tym 8 pozycji książkowych (własne i współautorskie), 80 publikacji naukowych, 112 publikacji naukowo-technicznych i konferencyjnych. Wypromował kilkudziesięciu absolwentów studiów magisterskich i inżynierskich oraz recenzuje prace naukowo-badawcze, promocyjne, a także dorobek naukowy.



Mgr inż. Joanna WILCZARSKA jest absolwentką Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno – Rolniczej w Bydgoszczy o specjalności „technologia maszyn”. Pracuje w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów ATR w Bydgoszczy. Zajmuje się zagadnieniami diagnostyki maszyn, a w szczególności optymalizacją procesu rozpoznawania stanu maszyn.