

PROCEDURY BADANIA STANU MASZYN W PRZESZŁOŚCI

Henryk TYLICKI

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 wyznaczania procedur badania stanu maszyn w przeszłości oraz algorytm wyznaczania tych procedur.

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

THE PROCEDURES OF CONDITION MACHINES INVESTIGATION IN PAST

Summary

The problems of marking in past as well as algorithm the procedures of condition machine investigation of marking these procedures in study was introduced.

Keywords: the opinion of machine technical condition, the genesis of machines technical condition, algorithms of genesis procedures.

WPROWADZENIE

Problemy występujące w procesie badania stanu maszyny sprowadzają się do:

1. Analizy procesu pogarszania się stanu technicznego maszyny, 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 oraz wybór „najlepszych” parametrów diagnostycznych opisujących zmianę stanu maszyny.
2. Wyboru „najlepszej” metody wyznaczania wartości parametrów diagnostycznych w przeszłości przy założeniu o niepewnej i niepełnej historii ich wartości.
3. Wykorzystanie informacji o genezowanej wartości parametru diagnostycznego 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, 9] stwierdza się, że:

1. W celu poprawnego funkcjonowania nowoczesnych systemów obsługi maszyn (wykorzystujących informację o stanie maszyny w chwili badania, w czasie przyszłym i w czasie przeszłym) istnieje potrzeba opracowania metodyki, która w przypadku niepełnej lub niepewnej historii wartości parametrów

diagnostycznych 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;
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.

1. GENEZOWANIE WARTOŚCI PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Genezowanie stanu technicznego 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: $\mu(t)$ - 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 zapewniłoby 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 błędu dla poszczególnych genez:

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

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

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

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

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 błędu genezy e_G .

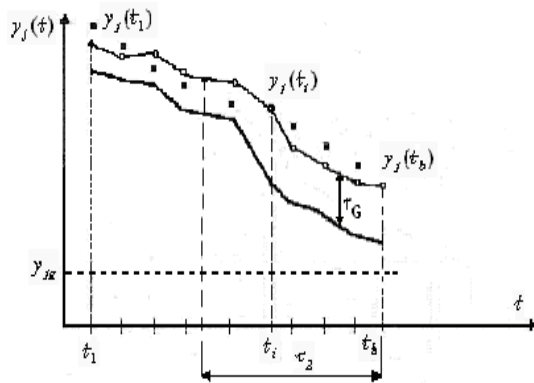
6. W przypadku systemu obsługi wymagana postać genezy stanu układów lub zespołów maszyny jest informacja, czy w czasie (y_1, y_b) stan techniczny był stanem zdadności W^0 (można ją przedstawić jako wartość dopuszczalnego czasu eksploatacji t_{G1}). Proponuje się także, aby wielkościami dodatkowymi GST były wartość oczekiwana błędu genezy e_G .

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

7. Jako wartość t_{G1} proponuje się przyjąć wartość dopuszczalnego czasu eksploatacji 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 $r_G^{0.05}$ 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:

- nie przekroczenie przez kontrolowany parametr diagnostyczny granicy wyznaczonej przez promień $r_G^{0.05}$ interpretuje się wówczas jako brak sygnału alarmu do wnikliwej i bardziej dokładnej obserwacji diagnostycznej zespołu lub układu maszyny;
- czas przekroczenia przez kontrolowany parametr diagnostyczny granicy wyznaczonej przez promień $r_G^{0.05}$ interpretuje się jako czas t_{G1} – termin przejścia układu lub zespołu maszyny w stan niezdatności.



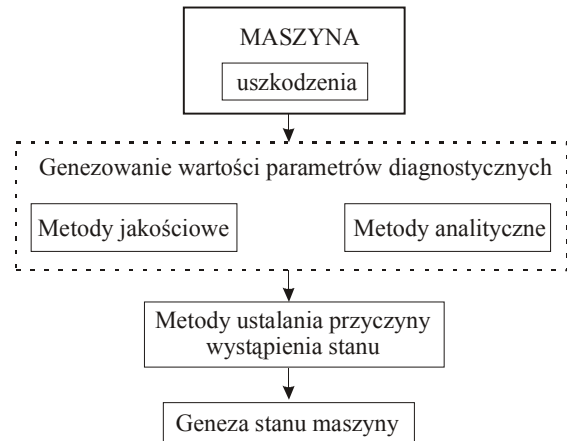
Rys. 1. Schemat wyznaczania genezy wartości parametru diagnostycznego y_j

Przedział czasu (t_1, t_b) jest wówczas okresem estymacji wartości oczekiwanej błędu genezy e_G i promienia granicy błędu genezy r_G , zaś okres czasu $t_b - \tau_2$ będzie okresem aktywnej genezy, tzn. wyznaczenia (rys.1):

- wartości genezowanej parametru diagnostycznego po czasie horyzontu genezy $\tau_2, y_{jG}(t_b - \tau_2)$,
- określenie wartości promienia granicy przedziału błędu genezy $r_G(t_b - \tau_2)$,
- 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 $\{y_j(t_b - \tau_2)\}$, co pozwala na sformułowanie, przedstawionego poniżej, algorytmu genezowania stanu maszyny:

Zakładając możliwość rejestracji wartości parametrów diagnostycznych oraz stanów maszyny w czasie jej eksploatacji (np. w trakcie eksperymentu bierno – czynnego) uzyskuje się bazę informacji w postaci macierzy informacji: wartości parametrów diagnostycznych – stany maszyny – czas eksploatacji. W chwili utraty przez maszynę stanu zdatości będzie prawdopodobnie możliwość, na podstawie zebranych danych jak i oględzin maszyny, stwierdzić, jaka mogła być przyczyna powstania stanu niezdatności maszyny (rys. 2).



Rys. 2. Schemat określenia informacji o przyczynie uszkodzenia maszyny

Reasumując przedstawione powyżej problemy występujące w procesie genezowania stanu technicznego maszyny można stwierdzić, że w celu ich rozwiązania należy dokonać:

- Analizy procesu pogarszania się stanu technicznego maszyny, określenie tendencji i dynamiki zmian wartości jej parametrów stanu i parametrów diagnostycznych, oraz wybór „najlepszych” parametrów diagnostycznych opisujących zmianę stanu maszyny.
- Wyboru „najlepszej” metody wyznaczania genezy stanu poprzez:
 - wyznaczenie wartości genezowanej parametru diagnostycznego,
 - określenie wartości błędu genezy,
 - określenie relacji pomiędzy zmianami wartości genezowanej parametru diagnostycznego z błędem genezy i wartością graniczną parametru diagnostycznego;
- Wykorzystanie genezy stanu technicznego do analizy przyczyny zaistnienia stanu maszyny w chwili badania maszyny.

Analiza metodyki wyznaczania wartości genezowanej parametrów diagnostycznych oraz odpowiednich dla różnych metod błędów genezy pozwala na sformułowanie następujących wniosków [8]:

W celu wyznaczenia wartości genezowanej parametrów diagnostycznych na podstawie niepewnych i niepełnych ich wartości (przedział czasu t_1, t_b) należy wykorzystać:

- W zakresie metod aproksymacyjnych:
 - aproksymację średniokwadratową punktową wielomianową z błędem genezy:

$$e_G = \min_{a_0, a_1, \dots, a_m} S = \sum_{i=0}^n (f_i - \sum_{j=0}^m a_j x_i^j)^2 \quad (5)$$

- aproksymację trygonometryczną z błędem genezy:

$$e_G = S = \sum_{i=0}^n (y - y_i)^2 \quad (6)$$

2. W zakresie metod interpolacyjnych:
a) interpolację za pomocą funkcji sklepanych dla różnych stopni np.: 1, 2 i 3 z błędem genezy:

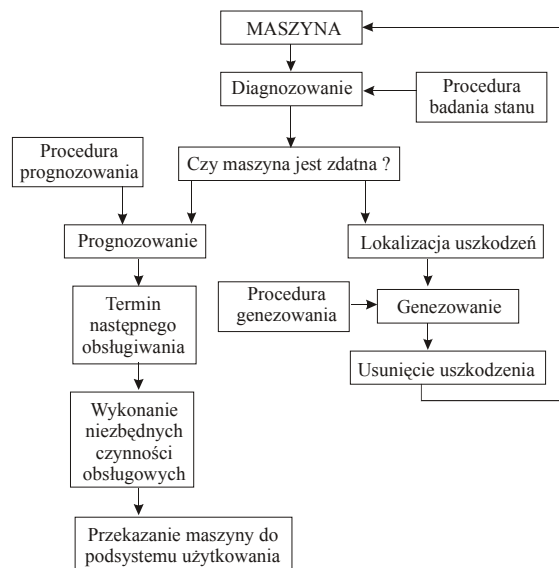
$$e_G = |f(x)_k - F(x)| \quad (7)$$

gdzie: $k = \frac{n}{2}$ - ilość punktów do porównania wartości funkcji sklepanych z wartością rzeczywistą parametru diagnostycznego.

2. ALGORYTM BADANIA STANU MASZINY W PRZESZŁOŚCI

Algorytm rozwiązania problemu genezowania stanu maszyny można realizację określonych etapów badawczych [8]:

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 (rys. 3).



Rys. 3. Schemat realizacji rozpoznawania stanu maszyn

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 (t_1, t_b) wraz z promieniem błędu

aproksymacji „kanału błędownego” r_a metodami (metoda średniokwadratowa, metoda trygonometryczna),

- b) za pomocą interpolacji wartości parametru diagnostycznego y_j^* w przedziale czasu (t_1, t_b) wraz z promieniem błędu interpolacji „kanału błędownego” 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 $\{s_i(t_k), i=1, \dots, 1; k=1, \dots, K\}$.
 - b) określenie punktu wspólnego „kanału błędownego” 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 (t_1, t_b) ;
 - c) określenie większej liczby punktów wspólnych „kanału błędownego” wyznaczonego przez promień błędu $r = \max(r_a, r_i)$ i wartości granicznej parametru diagnostycznego y_j^* w chwilach $t_s \in (t_1, t_b)$ oznacza, że przyczyną wystąpienia zlokalizowanego stanu s_i był „narastający rozwój” stanu s_i w czasie (t_1, t_b) ;
 - d) w przypadku braku punktów wspólnych określenie minimalnej odległości „kanału błędownego” od wartości granicznej w chwili $t_s \in (t_1, t_b)$, co oznacza że prawdopodobną przyczyną wystąpienia zlokalizowanego stanu s_i było „chwilowe niepełne pojawienie się” się tego stanu w czasie (t_1, t_b) ;
 - e) analiza tożsamości zbioru stanów $\{s_i(t_k), k=1, \dots, K\}$ i zlokalizowanego przez T_{LU} stanu s_i w celu określenia przyczyny jego wystąpienia w kontekście otrzymanych ewentualnych „punktów wspólnych” lub minimalnej odległości „zblizeń”.

Poniżej podano działanie programu komputerowego wspomagającego proces badania stanu maszyny w przeszłości:

1. Wybrać opcję „GENEZA STANU”
2. Wybrać nazwę „Grupy”: np. Samochody STAR MAN 11422.
3. 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 $\{y_j^*\}$

(wartość średnia) i zbioru stanów $\{s_i (\Theta_k), i=1, \dots, I; k=1, \dots, K\}$.

A. W wariancie „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.

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}

B. W wariancie „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”;
- „Błąd dopasowania.”

z oknami interaktywnymi do wprowadzenia:

- Parametr 1;
- Parametr 2

C. W wariancie „Interpretacja”:

1. 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;

2. Wybrać „Wykres” – pojawia się okno z wykresem interpretacji genezowania stanu.

3. 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”;
- „Stan maszyny”;
- „Opis zbliżeń” – odległość od wartości granicznej;
- „Współczynnik korelacji”: $r_j = r(W, y_j)$;
- „Wskaźnik ilości informacji”: h_j ;
- „Waga wprowadzona”: w_j

PODSUMOWANIE

Przedstawione powyżej rozważania, sformułowane w postaci algorytmów genezowania wartości parametrów diagnostycznych i analizy przyczyny wystąpienia stanu niezdatności maszyn odnoszą się do przedstawionego w opracowaniu schematu badania stanu maszyny w przeszłości.

Ze względu na zaproponowany niezbyt liczny zbiór rozwiązań dopuszczalnych (zbiór metod genezowania wartości parametrów diagnostycznych) nie można sformułować konkluzji, że opracowana metodyka ma charakter ostateczny. 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.

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] Prażewska M. J.: *Ocena nieuszkodzalności EŚL na podstawie niepewnych danych*. Przegląd Telekomunikacyjny nr 4/2002. Warszawa 2002.
- [6] Tylicki H.: Conception of the optimization of devices technical condition forecasting process. *Machine Dynamics Problems*, 9 (1994), Warszawa 1995.
- [7] Tylicki H.: *Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych*. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1998.
- [8] Tylicki H., Wilczarska J.: *Genezowanie stanu maszyn*. *Diagnostyka* 1(37)/2006.
- [9] Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1997.

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.