

BADANIE JAKOŚCI ZBIORU SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Henryk TYLICKI
Jacek RÓŻYCKI
Joanna ŻÓLTOWSKA

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 badania jakości zbioru parametrów diagnostycznych dla potrzeb rozpoznawania stanu maszyn. Zaprezentowano także algorytmy wyznaczania optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych.

Słowa kluczowe: ocena stanu technicznego maszyn, algorytmizacja i implementacja procedur wyboru parametrów diagnostycznych.

INVESTIGATION OF GATHERING DIAGNOSTICS SIGNALS QUALITY

Summary

The problems of quality gathering diagnostic parameters investigation in study was introduced for needs the diagnostics of machine state. The algorithms of marking the optimum gathering of diagnostic parameters were presented also.

Key words: the opinion of machine technical state, algorithmization and implementation of choice diagnostic parameters procedures.

1. WPROWADZENIE

Intensywny rozwój maszyn o coraz wyższym poziomie konstrukcyjnym i technologicznym stworzył wiele problemów natury technicznej i organizacyjnej. Jednym z tych problemów jest zapewnienie szybkiej i wiarygodnej informacji o stanie technicznym maszyny, stanowiącej podstawę do decyzji o ich użytkowaniu, o podjęciu przedsięwzięć profilaktycznych (regulacja lub wymiana zespołów) lub wprowadzeniu zmian w na etapie konstruowania i wytwarzania. Możliwe jest to dzięki temu, że diagnostyka techniczna pozwala na udzielenie odpowiedzi na pytania:

1. Jaki jest aktualny stan techniczny badanej maszyny ?
2. Jak przewidzieć przyszłą ewolucję stanu maszyny ?
3. Jak był przeszły stan techniczny maszyny ?

Odpowiedź na każde z tych pytań wymaga przeanalizowania zbioru zadań pojawiających się podczas opracowywania algorytmów rozpoznawania stanu technicznego maszyny.

W przypadku odpowiedzi na pytanie dotyczące obecnego stanu maszyny należy podczas procesu diagnozowania rozwiązać zadanie wyznaczenia testu lub programu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń.

W przypadku odpowiedzi na pytanie dotyczące przyszłej ewolucji stanu maszyny należy podczas procesu prognozowania rozwiązać zadanie prognozowania stanu, polegające na przewidywaniu stanów maszyny, które zaistnieją w przyszłości w chwilach $\Theta_p > \Theta_b$ (Θ_b - chwila diagnozy, Θ_p - jedna z chwil w przyszłości).

W przypadku zaś odpowiedzi na pytanie dotyczące przeszłej stanu maszyny należy podczas procesu genezowania rozwiązać zadanie genezowania stanu, polegające na badaniu przeszłych stanów maszyny, które zaistniały w przyszłości w chwilach $\Theta_g < \Theta_b$ (Θ_b - chwila diagnozy, Θ_g - jedna z chwil w przeszłości).

Synergia tych zadań stanowi zadanie rozpoznawania stanu technicznego maszyn

2. CHARAKTERYSTYKA ZAGADNIENIA

Zastosowanie w procesie eksploatacji metod oceny stanu technicznego maszyn, będących podstawą automatyzacji procesu rozpoznawania ich stanu, wymaga optymalizacji: zbioru parametrów diagnostycznych, testów i programów diagnostycznych, metod genezowania i metod prognozowania. Rozwiązanie tych zadań zależy od wielu czynników związanych ze stopniem złożoności maszyn, wykorzystaniem obserwacji

wielosymptomowych, jakości procesu eksploatacji oraz procesu zużycia.

Rozpoznawanie stanu maszyny jest to proces, który powinien umożliwić:

- określenie stanu maszyny technicznego w czasie bieżącym na podstawie wyników badań diagnostycznych. Umożliwia ono kontrolę stanu i lokalizację uszkodzeń w przypadku stanu niezdatności maszyny;
- przewidywanie stanu maszyny w czasie przyszłym na podstawie niepełnej historii wyników badań diagnostycznych. Umożliwia ono oszacowanie czasu niezawodnego użytkowania maszyny lub wartości wykonanej przez nią w przyszłości pracy;
- przewidywanie stanu maszyny w czasie przeszłym na podstawie niepełnej historii wyników badań diagnostycznych. Umożliwia ono oszacowanie stanu maszyny lub wartości wykonanej przez nią w przeszłości pracy.

W procesie rozpoznawania stanu szczególnie wydaje się być ważna problematyka wyboru:

- zbioru parametrów diagnostycznych w zależności od czasu pracy maszyny, wartości kroku czasowego i liczebności optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych;
- metody wyznaczania testów i programów diagnostycznych w zależności od wiarygodności diagnozy, ilości informacji, prawdopodobieństwa uszkodzenia zespołów maszyny i kosztu testu lub programu diagnostycznego;
- metody prognozowania w zależności od horyzontu prognozy, minimalnej liczby elementów szeregu czasowego niezbędnej do uruchomienia predykcji oraz czasu pracy maszyny;
- metody genezowania w zależności od horyzontu genezy, minimalnej liczby elementów szeregu czasowego niezbędnej do uruchomienia genezy oraz czasu pracy maszyny.

Przystępując do wyznaczania rozpoznawania stanu jako programów kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń, prognozy oraz genezy stanu maszyn natrafia się na problemy, które obszary badania jakości zbioru sygnałów diagnostycznych maszyny sprowadzają się do następujących pytań:

“Czy optymalny zbiór parametrów diagnostycznych jednoznacznie opisuje stan maszyny, czy jest skorelowany ze zmianą stanu maszyny, czy zawiera odpowiednią ilość informacji o stanie maszyny?”;

“Czy optymalny zbiór parametrów diagnostycznych jest stabilny, czy też wykazuje istotne zmiany a jeśli tak, to jaki jest charakter tych zmian w zależności od czynników wynikających z eksploatacji maszyny?”;

Skutkuje to oczywiście koniecznością udzielenia odpowiedzi napytania, co możliwe będzie przeprowadzenie odpowiednich analiz i badań w zakresie badanie zbioru sygnałów diagnostycznych opisujących stan techniczny

maszyny w aspekcie możliwości ich wykorzystania w procesie rozpoznawania:

- opracowanie metod klasyfikowania sygnałów diagnostycznych do określonej funkcji opisującej zmianę wartości (modelu matematycznego);
- opracowanie metod wyboru optymalnego zbioru sygnałów diagnostycznych.

Rozwiązanie tego bardzo obszernego problemu powinien być osiągnięty w wyniku realizacji następujących celów cząstkowych:

- podjęcie problematyki wyboru optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych w zależności od czasu pracy maszyny, maksymalnego wartości kroku czasowego, liczebności optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych;
- opracowanie i implementacja algorytmów wyznaczania optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych dla potrzeb procesu rozpoznawania stanu maszyny;
- badanie wpływu czasu pracy maszyny na optymalny zbiór parametrów diagnostycznych.

3. WYBÓR PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH W PROCESIE ROZPOZNAWANIA STANU

3.1. Wybór parametrów diagnostycznych w procesie diagnozowania

Parametry stanu technicznego maszyny \bar{W} są wielkościami zmiennymi w czasie $\bar{W} = \bar{W}(\Theta)$, bowiem zależą od przebiegu procesów wymuszających starzenie. Zostało ustalone [1], że parametry diagnostyczne mogą odzwierciedlać stan maszyn i zależą od zmian parametrów stanu i czasu:

$$\bar{Y} = \bar{Y}(\bar{W}, \Theta) \quad (1)$$

stąd określenie ich umożliwia rozpoznanie stanu technicznego obiektu.

Zbiór parametrów diagnostycznych Y wyróżnia się ze zbioru parametrów wyjściowych Y_{WY} , które opisują przebieg procesów wyjściowych (procesy robocze i towarzyszące), zależnych od stanu technicznego obiektu :

$$\bar{Y}_{WY} = \bar{Y}_{WY}(\bar{W}, \Theta) \quad (2)$$

Wzajemny związek parametrów stanu \bar{W} i parametrów wyjściowych pozwala przy spełnianiu podanych poniżej warunków, parametry wyjściowe $y_{WYj} \in Y_{WY}$ wstępnie traktować jako parametry diagnostyczne oraz określić punkty pomiarowe w obiekcie technicznym.

Warunkami tymi są :

1. warunek jednoznaczności - każdej wartości parametru stanu $W_i \in \overline{W}$ odpowiada tylko jedna zdeterminowana wartość parametru wyjściowego $y_{WYJ} \in Y_{WY}$;
2. warunek szerokości pola zmian - największa względna zmiana wartości parametru wyjściowego $y_{WYJ} \in Y_{WY}$ dla zadanej wartości parametru stanu $W_i \in \overline{W}$;
3. warunek dostępności pomiaru parametru wyjściowego - charakteryzuje się poprzez wskaźnik kosztu pomiaru c_j lub czasu pomiaru t_j , przy czym narzuca się minimalizację tych wskaźników;
4. warunek mierzalności.
Warunek formułuje się dla funkcji $\overline{Y}_{WY} = \overline{Y}_{WY}(\overline{W}, \Theta)$. Twierdzi się wówczas, że funkcja $\overline{Y}(W_1)$ jest mierzalna, jeżeli dla każdego k mierzalny jest zbiór [2] :

$$\{W_1: Y_j(W_1) < K\}. \quad (3)$$

Spełnienie warunków $1 \wedge 2 \wedge 3 \wedge 4$ wyróżnia wstępnie ze zbioru Y_{WY} zbiór parametrów diagnostycznych Y . W celu dokładniejszego wyróżnienia zbiorów $Y \subset Y_{WY}$ stosuje się najczęściej kryterium minimalnego błędu diagnozy, które wyróżnia te parametry, które charakteryzują się minimalnym błędem diagnozy oraz procedurę wyboru parametrów diagnostycznych wg minimalnego błędu diagnozy.

Istotą tej metody jest określenie błędu diagnozy, tzn. obszaru „przykrycia” funkcji gęstości prawdopodobieństw warunkowych parametru $y_j \in Y$ określanego przez Serdakowa [1] zależnością :

$$D = P\left(\frac{S_1}{y_j}\right) \cdot Q_1 + P\left(\frac{S_2}{y_j}\right) \cdot Q_2 \quad (4)$$

zaś prawdopodobieństwo błędu I rodzaju polegającego na zaliczeniu obiektu będącego w stanie zdadności S_1 do stanu niezadności S_2

$$Q_1 = \int_{y_{gr}}^{+\infty} f\left(\frac{y_j}{S_1}\right) dy_j \quad (5)$$

oraz prawdopodobieństwo błędu II rodzaju polegające na zaliczeniu obiektu będącego w stanie niezadności S_2 do stanu zdadności S_1

$$Q_2 = \int_{-\infty}^{y_{gr}} f\left(\frac{y_j}{S_2}\right) dy_j \quad (6)$$

Następnie wybór „najlepszego” parametru $y^* \in Y$ poprzez minimalizację błędu diagnozy:

$$y^* = \min_j(D_j). \quad (7)$$

Wybór parametrów diagnostycznych według przedstawionej metody sprowadza się wówczas do:

1. Analizy jakościowej parametrów, polegającej na:
 - badaniu istotności zmian wartości parametrów przy zmianie stanu technicznego obiektu;
 - wyznaczaniu i szacowaniu wartości granicznych y_{gr} według kryterium najmniejszego ryzyka Bayesa przy założeniu wartości kosztów błędów I i II rodzaju.
2. Analizy ilościowej, która polega na wyborze parametrów pod kątem kryterium minimalnego błędu diagnozy.

W wyniku realizacji procedury uzyskujemy zbiór parametrów diagnostycznych, którego elementy charakteryzują się dobrymi własnościami rozdzielczymi oraz określone są przedziały ich zmian przy zmianie stanu technicznego obiektu i wartości graniczne $y_{grj}(y_{grd}, y_{grg})$ wraz z błędami diagnozy.

3.2. Wybór parametrów diagnostycznych w procesie prognozowania i genezowania

Zbiór parametrów diagnostycznych wyróżnia się ze zbioru parametrów wyjściowych. Na podstawie przeprowadzonych badań [3], mających na celu potwierdzenie niektórych propozycji zawartych w pracach dotyczących redukcji informacji diagnostycznej w procesie prognozowania [1,2,4], uważa się że wyznaczanie zbioru parametrów diagnostycznych w procesie prognozowania i generowania stanu maszyn powinno uwzględniać:

- a) zdolność odwzorowania zmian stanu maszyny w czasie eksploatacji;
- b) ilość informacji o stanie maszyny;
- c) odpowiednią zmienność wartości parametrów diagnostycznych w czasie eksploatacji maszyny.

Dlatego odpowiednie algorytmy uwzględniające te postulaty zostały przedstawione poniżej jako metody. Są to:

Metoda maksymalnej względnej zmiany parametru diagnostycznego

W metodzie tej wybiera się ten parametr diagnostyczny, który posiada największą wartość wskaźnika k_j . Uwzględnia on średnią prędkość zmiany parametrów w przedziale czasu (t_1, t_b) . Określa się go według zależności:

$$k_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^m b_j},$$

$$b_j = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \frac{|y_j(\Theta_{i+1}) - y_j(\Theta_i)|}{|\Theta_{i+1} - \Theta_i| |y_j(\Theta_1) - y_{j,g}|} \quad (8)$$

gdzie: K – liczebność elementów szeregu czasowego w przedziale (Θ_1, Θ_b) , $y_{j,g}$ – wartość graniczna parametru diagnostycznego.

Metoda maksymalnej pojemności informacyjnej parametru diagnostycznego

Istota metody polega na wyborze parametru dostarczającego największą ilość informacji o stanie maszyny. Parametr diagnostyczny ma tym większe znaczenie w określeniu zmiany stanu, im silniej jest z nim skorelowany i im słabiej jest skorelowany z innymi parametrami diagnostycznymi.

Zależność tę przedstawia się w postaci wskaźnika pojemności parametru diagnostycznego h_j , który jest modyfikacją wskaźnika odnoszącego się do zbioru zmiennych objaśniających w modelu ekonometrycznym:

$$h_j = \frac{r_j^2}{1 + \sum_{i,j=1}^m |r_{i,j}|} \quad (9)$$

gdzie: $r_j = r(W, y_j)$; $j = 1, \dots, m$ – współczynnik korelacji między zmiennymi W (stan maszyny) a y_j ,

$r_{i,j} = r(y_i, y_j)$; $i, j = 1, \dots, m$; $i \neq j$ – współczynnik korelacji między zmiennymi y_i i y_j .

W przypadku braku danych ze zbioru W zastępuje się, przy założeniu że wyznaczenie prognozy jest realizowane w przedziale zużycia normalnego, czasem eksploatacji maszyny [3,4]. Wówczas $r_j = r(\Theta_i, y_j)$; $j=1, \dots, m$; $i=1, \dots, K$ (r_j - współczynnik korelacji między zmiennymi $\Theta_i \in (\Theta_1, \Theta_b)$ (Θ_i – czas eksploatacji maszyny) i y_j).

Zaletą przedstawionych metod jest to, że pozwalają wybrać ze zbioru parametrów wyjściowych jednoelementowe, jak i wieloelementowe zbiory parametrów diagnostycznych. Zbiór jednoelementowy odnosi się do przypadku, gdy maszyna jest zdekomponowana na zespoły i konieczny jest wybór jednego parametru diagnostycznego. Zbiór wieloelementowy otrzymuje się, gdy w przedstawionych procedurach stosuje się mniej ostre ograniczenie polegające na zakwalifikowaniu do zbioru parametrów diagnostycznych tych parametrów, których wartości wskaźników są większe (mniejsze) od, przyjętych odpowiednio dla metody, małych (dużych) liczb dodatnich.

4. BADANIE JAKOŚCI ZBIORU PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Badanie jakości zbioru parametrów diagnostycznych wymaga opracowania metod, które pozwolą określić czy dany sygnał diagnostyczny może być traktowany jako realizacja konkretnego modelu matematycznego. Rozpatrzone będą następujące modele matematyczne: liniowy, wykładniczy, harmoniczny i wielomianowy. Proponuje się przyjąć następującą metodykę weryfikacji modeli

Model liniowy

Badanie, w wyniku którego uzyskuje się odpowiedź czy dany sygnał diagnostyczny może być traktowany jak sygnał liniowy, polega na sprawdzeniu współczynnika korelacji liniowej $r_{j,n}$ wartości badanego sygnału diagnostycznego.

Jeżeli spełniona jest nierówność $r_{j,n} > r_j^{min}$

gdzie r_j^{min} - przyjęta minimalna wartość $r_{j,n}$, wtedy dany sygnał diagnostyczny możemy zaliczyć do modelu liniowego.

Model wykładniczy

Badanie, w wyniku którego uzyskuje się odpowiedź czy dany sygnał diagnostyczny może być traktowany jak sygnał wykładniczy, polega na logarytmowaniu wartości badanego sygnału i obliczeniu współczynnika korelacji liniowej $r_{j,n}$ wartości badanego sygnału diagnostycznego. Jeżeli spełniona jest nierówność $r_{j,n} > r_j^{min}$, wtedy dany sygnał diagnostyczny możemy zaliczyć do modelu wykładniczego.

Model harmoniczny

Badanie, w wyniku którego uzyskuje się odpowiedź czy dany sygnał diagnostyczny może być traktowany jak sygnał harmoniczny, polega na obliczeniu transformaty Fouriera sygnału diagnostycznego. Jeżeli spełniony jest następujący warunek $\forall_{n \in 1..N} \exists_{k \in 1..k} A(k) \gg A(n)$, gdzie A – amplituda sygnału, wtedy dany sygnał diagnostyczny możemy zaliczyć do modelu harmonicznego o częstotliwości k .

Model wielomianowy

Badanie, w wyniku którego uzyskuje się odpowiedź czy dany sygnał diagnostyczny może być traktowany jak sygnał wielomianowy, polega na:

1. obliczeniu funkcji aproksymacji wielomianowej przyjętego a priori stopnia np. 3-go.
2. obliczeniu błędu aproksymacji e_{ap} dla wszystkich punktów szeregu czasowego.

Jeżeli spełniona jest nierówność $e_{ap}(s) > e_{ap}^{max}$,
gdzie:

$e_{ap}(s)$ – błąd aproksymacji dla szeregu
czasowego s ,

e_{ap}^{max} – przyjęta przez użytkownika maksymalna
wartość błędu aproksymacji np. 10%,
wtedy dany sygnał diagnostyczny możemy zaliczyć
do modelu wielomianowego.

Modelowanie danych rozwija się i zmienia
wraz ze zmieniającymi się potrzebami
projektantów. Obecnie dominującą metodą
modelowania informacji są diagramy związków
encji (ER). Umożliwiają one modelowanie
relacyjnych baz danych, stanowiąc konceptualną
reprezentację obiektów informatyzowanej
rzeczywistości oraz zachodzących między nimi
powiązań. Pojawiają się w nim wszystkie dane,
które system przyjmuje i przetwarza.

W modelu ER informacje pogrupowane są
w jednostki danych – encje [1]. Każda jednostka
symbolizuje pewien obiekt rzeczywisty. Każdą
encję opisuje zestaw atrybutów. Wartości
atrybutów przechowywane są później w bazie
danych. Wśród atrybutów wyróżnia się atrybut
kluczowy, który pozwala zidentyfikować jednostkę
danych. Należy zapewnić jednoznaczny dostęp do
każdego zapisu w bazie danych.

Relacja typu R między jednostkami danych
(encjami) E_1, E_2, \dots, E_n określa zbiór powiązań
(asocjacji) między tymi jednostkami i stanowi
podzbiór produktu kartezjańskiego $E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$. Każda jednostka danych ma co najmniej jedno
powiązanie z inną jednostką. Każda jednostka
danych może występować w określonej relacji
z jedną, żadną lub wieloma instancjami innych
jednostek danych.

Założenia funkcjonalne [4] programu do
przeprowadzania badań rozpoznawania
dotyczących stanu technicznego maszyn można
przedstawić następująco:

1. Wrażliwość prognozy i genezy będzie badana
w zależności od:

- wyboru horyzontu prognozy i genezy;
- liczby pomiarów sygnałów diagnostycznych
przed terminem badania przyjmowanym do
obliczenia prognozy i genezy;
- minimalnej liczby punktów czasowych
niezbędnych do uruchomienia predykcji
i genezy;
- zmiennej niezawodności analizowanych
maszyn spowodowanych np. naprawą;
- częstotliwości pomiarów sygnałów
diagnostycznych (krok czasowy);
- wyboru sygnałów diagnostycznych w procesie
rozpoznawania stanu.

2. Program powinien umożliwiać także
wprowadzanie następujących informacji:

- struktury analizowanych maszyn wraz
z opisem dotyczącym poszczególnych
zespołów;
- wartości sygnałów diagnostycznych;

c) określenie parametrów badania takich jak:

- wartości graniczne sygnałów,
- horyzont prognozy,
- horyzont genezy
- przedział ufności,
- numer badania,
- liczby pomiarów sygnałów diagnostycznych
przed terminem badania
przyjmowanym do obliczenia prognozy
i genezy.

3. Program powinien umożliwiać generowanie
zestawień (w tym zestawień tabelarycznych
i wykresów) określających wartości:

- błędów diagnozy;
- błędów prognozy;
- błędów genezy;
- promienia przedziału granicy tolerancji
prognozy i genezy;
- wartości terminu obsługiwan.
- wartości terminu chwilowej niezdatności
maszyny w czasie (Θ_a, Θ_b).

Program umożliwia wprowadzanie informacji
do bazy danych o wybranych maszynach
i podzespołach maszyn istniejących w danym
przedsiębiorstwie. Dane przechowywane są
w formacie drzewa, którego wierzchołkami są
maszyny, z jednym poziomem zagłębienia,
w których przechowywane są dane dotyczące
podzespołów. Dla każdego wierzchołka liścia mogą
być wprowadzane wartości parametrów
diagnostycznych o określonej nazwie.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione powyżej rozważania,
sformułowane w postaci algorytmów wyznaczania
zbioru parametrów diagnostycznych odnoszą się do
przedstawionego w opracowaniu schematu
rozpoznawania stanu maszyn.

Ze względu na zaproponowany niezbyt liczny
zbiór rozwiązań dopuszczalnych (zbiór metod
wyboru parametrów diagnostycznych
w poszczególnych obszarach rozpoznawania stanu)
nie można sformułować konkluzji, że opracowana
metodyka rozpoznawania stanu ma charakter
ostateczny i może stanowić gotowy projekt systemu
rozpoznawania maszyn. Jednak możliwość jej
stosowania we wszystkich fazach istnienia maszyn
może stanowić podstawę do dalszych prac
w obszarze softwaru i hardware.

Przykładem tego jest przedstawiony projekt
implementacji algorytmów wyznaczania
parametrów diagnostycznych, który:

- zawiera rozwiązanie problemu
przechowywania danych związanych
z sygnałami diagnostycznymi generowanymi
przez maszyny;
- umożliwia zapamiętanie podstawowych
informacji dotyczących sygnałów
diagnostycznych, a także informacji
o strukturze parku maszynowego w dowolnym
przedsiębiorstwie

- c) może być wykorzystany do budowy programu badania jakości procesu rozpoznawania stanu maszyn.

LITERATURA

- [1] Begier B.: Techniki inżynierii oprogramowania metodyki CASE. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1996.
- [2] Gołębiowski A., Tylicki H.: Model procesu rozpoznawania stanu technicznego obiektów. WAT. Warszawa 1987.
- [3] Hohmann L.: Journey of the Software Professional: A Sociology of Software Development. Englewood Cliffs. NJ. 1998.
- [4] Muller R. J.: Bazy danych język UML w modelowaniu danych. Wydawnictwo MIKOM, Warszawa 2000.
- [5] Tylicki H.: Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1998 [6] Tylicki H., Różycki J.: Metodologia badania wrażliwości prognozy stanu technicznego maszyn. Zeszyty Naukowe nr 229, Mechanika 48, Wydawnictwa Uczelniane ATR Bydgoszcz 2000.
- [7] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki technicznej. 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 6 pozycji książkowych (własne i współautorskie), 50 publikacji naukowych, 96 publikacji naukowo-technicznych i konferencyjnych. Wypromował kilkudziesięciu absolwentów studiów magisterskich i inżynierskich oraz recenzuje prace naukowo-badawcze, promocyjne, a także dorobek naukowy. Współpracuje z ośrodkami naukowymi (AGH, Wojskowa Akademia Techniczna, Politechnika Śląska, Politechnika Poznańska, Akademia Rolnicza w Lublinie). Odpoczywając zajmuje się sportem (tenis ziemny, żeglarstwo, narty) i czyta literaturę piękną.



Mgr inż. Jacek Różycki jest absolwentem Wydziału Telekomunikacji i Elektrotechniki Akademii Techniczno – Rolniczej w Bydgoszczy, specjalność: „systemy telekomunikacyjne. Pracuje w firmie JT-Soft produkującej oprogramowanie służące do integracji systemów komputerowych. Zajmuje się badaniem problemów prognozowania stanu maszyn.



Mgr inż. Joanna Żółtowska 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.