

## **PRZESŁANKI STEROWANIA PROCESEM EKSPLOATACJI UKŁADU ŁOŻYSKOWANIA SILNIKA TURBINOWEGO NA PODSTAWIE KOMPLEKSOWEJ INFORMACJI DIAGNOSTYCZNEJ**

Paweł LINDSTEDT, Henryk BOROWCZYK

Katedra Automatyki i Robotyki, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka  
Ul. Wiejska 45C, 15–351 Białystok, Poland, e-mail: [borowczyk@post.pl](mailto:borowczyk@post.pl)

### Streszczenie

W pracy przedstawiono przesłanki sterowania procesem eksploatacji na podstawie kompleksowej informacji diagnostycznej. Rozważania przeprowadzono na przykładzie układu łożyskowania turbinowego silnika śmigłowego. Wykorzystano następujące metody diagnozowania: funkcjonalną, wibroakustyczną i zużyciową. Sygnały diagnostyczne sprowadzono do jednorodnej postaci – bezwymiarowych wskaźników przekroczeń wartości progowych. Zależności między procesami użytkowania, zużycia, obsługi i stanem technicznym oraz niezawodnością i bezpieczeństwem opisano w postaci równań stanu. Określono zbiór parametrów równań stanu. Przedstawiono przebiegi parametrów stanu w funkcji czasu eksploatacji dla dwóch silników tworzących zespół napędowy śmigłowca PZL Kania. Wykazano, że stan silników jest różny mimo pracy na tym samym śmigłowcu. Uzyskane wyniki stanowią podstawę sterowania procesem eksploatacji układu łożyskowania turbinowego silnika śmigłowego.

Słowa kluczowe: eksploatacja, diagnostyka, regulacja, bezpieczeństwo, niezawodność.

### PREMISES OF THE CONTROL OF TURBINE ENGINE BEARING SYSTEM EXPLOITATION PROCESS ON THE BASIS OF THE COMPLEX DIAGNOSTIC INFORMATION

#### Summary

The paper presents premises of the exploitation process control on the basis of the comprehensive diagnostic information. Analyses were carried out on the example of the turbine helicopter engine bearing system. The following diagnosis methods were used: functional, vibroacustical and tribological. Diagnostic signals were reduced to the homogeneous form – indices of threshold value exceedings. Relations between processes of using, usage, maintenance and the technical state, the reliability and the safety were described in the form of the state equations. A set of the state equation parameters was determined. Courses of the state equation parameters in the function of the operating time were presented for two engines forming the driving set of the PZL Kania helicopter. They showed that the state of these engines was different in spite of the work on the same helicopter. The results constitute the base for the exploitation process control of the bearing system of turbine helicopter engine.

Keywords: exploitation, complex diagnostics, tuning, safety, reliability.

## 1. WSTĘP

W procesie eksploatacji układu łożyskowania turbinowego silnika śmigłowego można wyróżnić dwa problemy [2, 5, 6, 9, 16, 17]:

- utrzymanie nominalnej trwałości określonej przez producenta;
- określenie rzeczywistej trwałości układu przy danej intensywności użytkowania i przy danym obsłudze.

Producent określa nominalną trwałość przy założeniu średniej intensywności użytkowania i określonym systemie utrzymywania zdatości (obsługiwanie). W rzeczywistości użytkowanie przebiega z różną intensywnością, często na granicy dopuszczalności (zdarzają się również

ekstremalne przypadki, gdy te granice są z konieczności przekraczane) [9, 10, 15].

System utrzymywania zdatości również projektowany jest dla średniej intensywności użytkowania, stąd zakłada się na ogół stałe przedziały czasu między czynnościami obsługowymi [2, 11, 16, 17].

Okazuje się jednak, że użytkowanie układu w zakresie dopuszczanym przez producenta nie zapewnia utrzymania zakładanej trwałości. W praktyce eksploatacyjnej obserwuje się przypadki zwiększania intensywności zużycia, gdy parametry eksploatacyjne osiągają wartości zbliżone do dopuszczalnych, wielokrotnie w krótkich odstępach czasu. Sytuacje takie występują podczas pracy śmigłowca w ekstremalnych warunkach – minimalnej lub

zerowej prędkości postępowej (zawis) i dużym obciążeniu.

Pojawiają się następujące zagadnienia:

- rozpoznanie wystąpienia zwiększonej intensywności zużywania łożysk na podstawie zmiany wartości sygnałów diagnostycznych;
- powiązanie zmian wartości sygnałów diagnostycznych z oddziaływaniem otoczenia i identyfikacja czynników wpływających na wzrost intensywności zużywania;
- sterowanie procesem użytkowania (przez odpowiedni dobór zadań lotniczych) oraz obsługiwanie (czasy i zakresy czynności obsługowych) w celu utrzymania zużycia w dopuszczalnym zakresie.

Uzyskanie niezbędnych informacji o stanie układu łożyskowania i wpływie otoczenia wymaga zastosowania kompleksowego (funkcjonalnego, zużyciowego i wibroakustycznego) diagnozowania układu łożyskowania oraz funkcjonalnego diagnozowania silnika. Diagnozowanie kompleksowe [1, 3, 7, 12] i identyfikacja relacji pomiędzy oddziaływaniem otoczenia a przebiegiem zużywania łożysk pozwala określić wpływ poszczególnych czynników otoczenia na stan łożysk, a tym samym ustalić odpowiednie warunki użytkowania silnika.

W niniejszej pracy przedstawiono koncepcję systemu oceny stanu i sterowania procesem eksploatacji układu łożyskowania na podstawie diagnozowania kompleksowego z uwzględnieniem oddziaływania otoczenia, oparte na wynikach eksperymentalnych badań turbinowych silników śmigłowcowych Allison 250 [2, 7, 9].

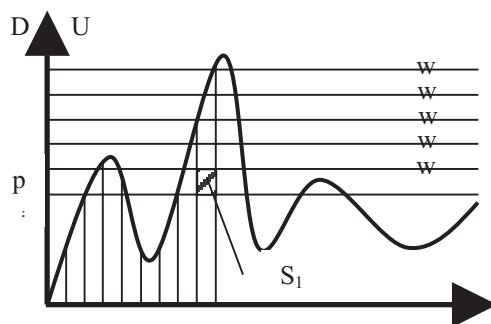
## 2. WSKAŹNIKI PRZEKROCZEŃ PROGOWYCH WARTOŚCI SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH I SYGNAŁÓW OTOCZENIA

Sygnały niosące informację o obiekcie i jego otoczeniu są różnej natury fizycznej [1, 7]. Celowe jest zatem sprowadzenie ich do jednorodnej postaci – np. wskaźników przekroczeń progowych wartości sygnałów (lub przyrostów sygnałów) [3, 4].

Schemat sprowadzania dowolnego sygnału związanego z obiektem D lub jego otoczeniem U przedstawiono na rys. 1 [3, 4].

Sygnał opisywany jest wartością średnią  $\mu$  i odchyleniem standardowym  $\sigma$ . Wartość i-tego progu określa się jako:  $p_i = \mu + i\sigma$ .

Czas trwania przekroczenia progu charakteryzuje się wartością średnią  $\mu_i$  i odchyleniem standardowym  $\sigma_i$ . Miarę jednostkowego pola przekroczeń progu określa się jako:  $S_i = \sigma \cdot \sigma_i$ .



Rys. 1 Schemat do wyznaczania wskaźników przekroczeń progowych wartości sygnałów

Na tej podstawie wskaźnik przekroczenia progu można zdefiniować jako:

$$n_k = \frac{\sum w_i A_i}{S_i} \quad (1)$$

gdzie:  $i$  – stopień przekroczenia,  $w_i$  – waga zależna od stopnia przekroczenia,  $A_i$  – pole cząstkowe sygnału S, dla którego obowiązuje waga  $w_i$ .

Wynikiem uformowania sygnałów D i U są bezwymiarowe wskaźniki  $n_D$  i  $n_U$ . Ostatecznie wszystkie sygnały związane z obiektem i jego otoczeniem można sprowadzić do dwóch wskaźników  $N_D$  i  $N_U$ :

$$N_D = \sqrt{n_{D_1}^2 + \dots + n_{D_k}^2} \quad (2)$$

$$N_U = \sqrt{n_{U_1}^2 + \dots + n_{U_k}^2} \quad (3)$$

Dla każdej chwili eksploatacji  $\Theta_i$  otrzymuje się parę wskaźników  $\{N_{Di}, N_{Ui}\}$ , z których jeden związany jest z obiektem, a drugi z jego otoczeniem. Umożliwia to opisanie relacji między  $N_D$ ,  $N_U$  i stanem obiektu za pomocą równania stanu.

Ogólna postać równania stanu jest następująca [8, 9]:

$$\frac{dx}{d\Theta} = ax + bU \quad (4)$$

gdzie:  $x$  – zmienna stanu (np. sygnał diagnostyczny),  $U$  – zmienna sterująca (otoczenie),  $a$  – parametr stanu,  $b$  – parametr sterowania (oddziaływanie otoczenia).

Zgodnie z zasadami identyfikacji statycznej i dynamicznej [14] z równania (4) otrzymuje się:

$$x = \left( -\frac{b}{a} \right) U = \hat{a}U; \quad \hat{a} = \frac{\sum x_i U_i}{\sum U_i^2} \quad (5)$$

oraz:

$$\frac{\Delta x}{\Delta \Theta} = ax + \hat{a}U = a(x + \hat{a}U); \quad a = \frac{\Delta x}{\Delta \Theta (x + \hat{a}U)} \quad (6)$$

Wyznaczone kolejno parametry  $\hat{a}$  (identyfikacja statyczna -  $\dot{x}=0$ ), a następnie „ $a$ ” (identyfikacja dynamiczna) oraz „ $b$ ” pozwalają oceniać stan obiektu „ $a$ ” i jego zależność od otoczenia „ $b$ ” [3, 6].

### 3. KOMPLEKSOWE PRZETWARZANIE INFORMACJI O OBIEKCIE W OTOCZENIU

W procesie eksploatacji występują jednocześnie problemy regulacyjne, diagnostyczne i niezawodnościowe [1, 2, 4, 8, 11, 12, 13]. Do kompleksowego opisu tych problemów można wykorzystać różne konfiguracje równania stanu (4).

Stan regulacji obiektu  $a_R$  można wyznaczyć z następującego równania stanu:

$$\frac{dN_U}{d\Theta} = a_R N_U + b_R N_D \quad (7)$$

gdzie:  $N_U$  – wskaźnik przekroczeń progów regulacyjnych sygnałów użytkowych (wyjściowych) i otoczenia (wejściowych),  $N_D$  – wskaźnik przekroczeń progów sygnałów diagnostycznych związanych ze zużyciem obiektu,  $\Theta$  – czas eksploatacji,  $a_R$  – parametr stanu regulacji,  $b_R$  – parametr oddziaływania stanu diagnostycznego na regulacyjny.

Stan techniczny obiektu można wyznaczyć z równania [9,10]:

$$\frac{dN_D}{d\Theta} = a_D N_D + b_D N_U \quad (8)$$

gdzie:  $a_D$  – parametr technicznego stanu obiektu,  $b_D$  – parametr oddziaływania otoczenia.

Stan bezpieczeństwa obiektu określa równanie:

$$\frac{da_R}{d\Theta} = a_B a_R + b_B a_D \quad (9)$$

gdzie:  $a_B$  – parametr stanu bezpieczeństwa,  $b_B$  – parametr oddziaływania stanu technicznego na stan bezpieczeństwa.

Stan niezawodności obiektu opisuje równanie:

$$\frac{da_D}{d\Theta} = a_N a_D + b_N a_R \quad (10)$$

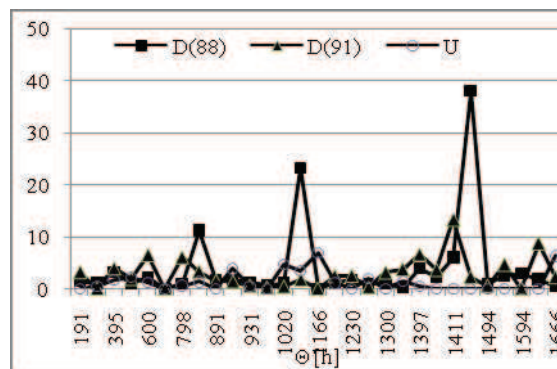
gdzie:  $a_N$  – parametr stanu niezawodności,  $b_N$  – parametr oddziaływania stanu regulacji na niezawodność.

Równania (7) - (10) stanowią podstawę kompleksowej oceny stanu - regulacji, diagnozy, bezpieczeństwa i niezawodności. Stan obiektu może być ilościowo określony za pomocą czterech parametrów:  $a_R$ ,  $a_D$ ,  $a_B$ ,  $a_N$ , a wpływ otoczenia na ten stan -- za pomocą parametrów:  $b_R$ ,  $b_D$ ,  $b_B$ , i  $b_N$ .

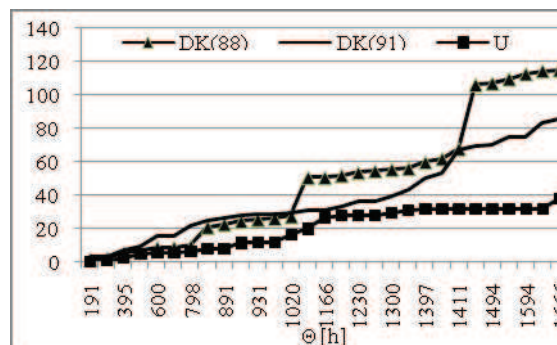
### 4. KOMPLEKSOWA OCENA STANU UKŁADU ŁOŻYSKOWANIA SILNIKA ALLISON 250

Kompleksowa ocena stanu obiektu bazująca na parametrach: stanu regulacji  $a_R$ , stanu technicznego  $a_D$ , stanu bezpieczeństwa  $a_B$  i stanu niezawodności  $a_N$  została wstępnie zweryfikowana na przykładzie układu łożyskowania silnika Allison 250.

Wyniki badań dwóch silników Allison 250 nr 88 i 91, stanowiących zespół napędowy jednego śmigłowca Kania, przedstawiono na rys. 2 i 3 [3, 4].



Rys. 2. Wskaźniki przekroczeń wartości progowych sygnałów diagnostycznych D i sygnałów otoczenia U



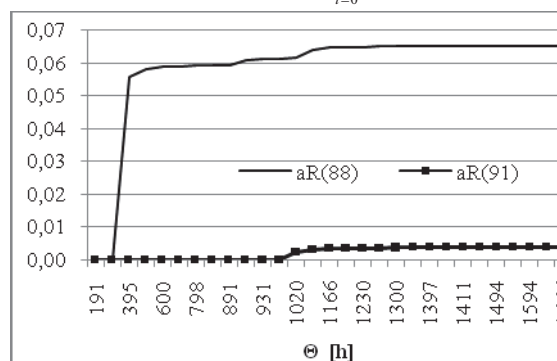
Rys. 3. Skumulowane wskaźniki przekroczeń wartości progowych sygnałów diagnostycznych D i sygnałów otoczenia U

#### 4.1. Ocena stanu regulacji

Na podstawie równania (7), po wykorzystaniu zależności (5) i (6) otrzymuje się:

$$a_R = \frac{\Delta N_U}{\Delta \Theta (N_U + \hat{a}_R N_D)} \quad (11)$$

$$\hat{a}_R = \left( -\frac{b_R}{a_R} \right) = \frac{\sum N_{U_i} N_{D_i}}{\sum_{i=0}^k N_{D_i}^2} \quad (12)$$



Rys. 4. Parametr stanu regulacji  $a_R$

Przebiegi parametrów stanu regulacji  $a_R$  (potencjału regulacyjnego) w funkcji czasu eksploatacji  $\Theta$  dla silników nr 91 i 88 przedstawiono na rys. 4.

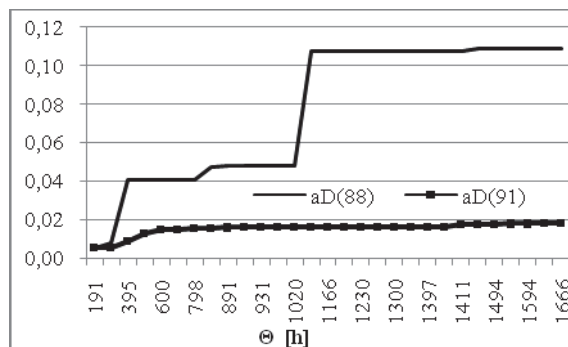
#### 4.2. Ocena stanu technicznego

Na podstawie równania (8), po wykorzystaniu zależności (5) i (6) otrzymuje się:

$$a_D = \frac{\Delta N_D}{\Delta \Theta (N_D + \hat{a}_D N_U)} \quad (13)$$

$$\hat{a}_D = \left( -\frac{b_D}{a_D} \right) = \frac{\Sigma N_U N_D}{\Sigma N_U^2} \quad (14)$$

Przebiegi parametrów stanu technicznego w funkcji czasu eksploatacji  $\Theta$  dla silników nr 91 i 88 przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Parametr oceny stanu technicznego  $a_D$

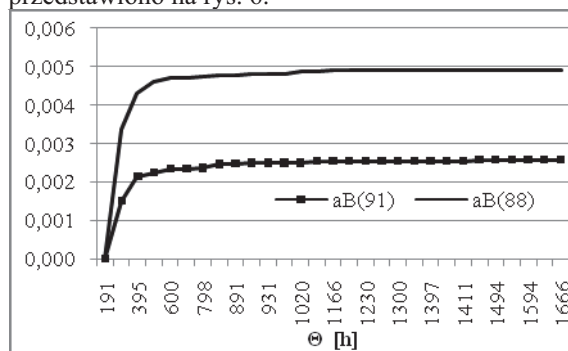
#### 4.3. Ocena stanu bezpieczeństwa

Na podstawie równania (9), po wykorzystaniu zależności (5) i (6) otrzymuje się:

$$a_B = \frac{a_R}{\Delta \Theta (a_R + \hat{a}_B a_D)} \quad (15)$$

$$\hat{a}_B = \left( -\frac{b_B}{a_B} \right) = \frac{\Sigma a_R a_D}{\Sigma a_D^2} \quad (16)$$

Przebiegi parametrów stanu bezpieczeństwa w funkcji czasu eksploatacji  $\Theta$  silników nr 91 i 88 przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Parametr oceny stanu bezpieczeństwa  $a_B$

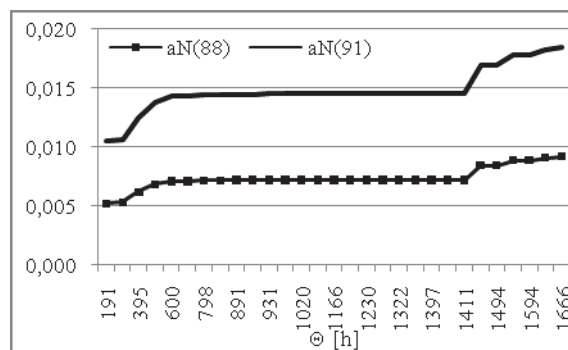
#### 4.4. Ocena stanu niezawodności

Na podstawie równania (10), po wykorzystaniu zależności (5) i (6) otrzymuje się:

$$a_N = \frac{\Delta a_D}{\Delta \Theta (a_D + \hat{a}_D a_R)} \quad (17)$$

$$\hat{a}_N = \left( -\frac{b_N}{a_N} \right) = \frac{\Sigma a_D a_R}{\Sigma a_R^2} \quad (18)$$

Przebiegi parametrów stanu niezawodności w funkcji czasu eksploatacji  $\Theta$  dla silników nr 91 i 88 przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Parametr oceny stanu niezawodności  $a_N$

Z analizy współczynnika  $a_R$  (rys. 4) wynika, że potencjał regulacyjny silników 91 i 88 jest różny chociaż pracują na tym samym egzemplarzu śmigłowca. Potencjał regulacyjny zależy od stanu technicznego określonego sygnałem  $N_D$  i od parametru  $b_R$  określającego intensywność oddziaływania stanu technicznego na regulację.

Z analizy zmian współczynnika  $a_D$  (rys. 5) wynika, że stan techniczny silników 91 i 88 jest różny (mimo pracy na tym samym egzemplarzu śmigłowca). Zmiany stanu technicznego zależą od jakości użytkowania i obsługi (w tym wyregulowania). Duża wartość współczynnika  $a_D$  oznacza, że obiekt jest wyeksploatowany i nie może być użyty do trudnych zadań charakteryzujących się dużym współczynnikiem  $b_D$ .

Wskaźniki bezpieczeństwa i niezawodności (rys. 6 i rys. 7) badanych silników również się różnią i zależą od stanu technicznego oraz sposobu użytkowania (rys. 2 i 3).

### 5. ZBIÓR ZADAŃ LOTNICZYCH

Opis procesu użytkowania układu łożyskowania uwzględni zbiór zadań lotniczych realizowanych przez śmigłowca (otoczenie dalsze) i przez zespół napędowy (otoczenie bliższe).

Np. śmigłowca typu Kania wykorzystywane jest m.in. do:

- transportu osób i towarów;
- patrolowania;
- desantowania.

Masa przewożonego ładunku w istotny sposób wpływa na wymaganą moc zespołu napędowego, szczególnie podczas startu i lądowania, a to z kolei na obciążenie i w konsekwencji zużycie układu łożyskowania.



W przypadku lotów patrolowych obciążenie cieplne i mechaniczne zależy od wysokości i prędkości lotu oraz warunków atmosferycznych – temperatury i ciśnienia powietrza.

Desantowanie jest zadaniem lotniczym, które najsilniej obciąża zespół napędowy ze względu na konieczność utrzymania wysokiej mocy i niekorzystne warunki pracy – przy praktycznie zerowej prędkości lotu pogarsza się chłodzenie i silniki często osiągają temperatury pracy bliskie wartościom dopuszczalnym.

W każdym zadaniu lotniczym występują zawsze dwie główne fazy: start i lądowanie oraz różne kombinacje faz lotu charakteryzowane wysokością i prędkością lotu (od zawisu do prędkości maksymalnej) oraz niezbędną mocą. Ponieważ obciążenia zespołu napędowego zależą od rozwijanej mocy stąd można zakładać, że intensywność procesu zużywania w podobnych fazach będzie w przybliżeniu jednakowa.

Stwierdzenie to jest szczególnie istotne w przypadku śmigłowców, które nie są wyposażone w pokładowe rejestratory parametrów lotu – pozwala na przybliżony opis procesu użytkowania zespołu napędowego i jego wpływu na zużywanie układu łożyskowania.

## 6. PROJEKTOWANIE SYSTEMU STEROWANIA EKSPLOATACJĄ

System sterowania eksploatacją układów łożyskowania powinien posiadać cechy systemu ekspertowego i umożliwiać:

- sterowanie procesem użytkowania – dobór zadań lotniczych wg aktualnego stanu układu, określanie zbioru zadań lotniczych możliwych do zrealizowania w danej chwili, analiza a priori możliwości realizacji określonego zadania;
- sterowanie procesem obsługiwanym – określanie czasu i zakresu czynności obsługowych z uwzględnieniem bieżącego stanu technicznego, niezawodności i bezpieczeństwa oraz intensywności użytkowania i zużywania układu.

Projektowanie systemu sterowania eksploatacją obejmuje następujące obszary:

- modelowanie i monitorowanie procesów eksploatacyjnych realizowanych przez obiekt (użytkowanie) i na obiekcie (obsługiwanie);
- modelowanie układu łożyskowania jako obiektu diagnostyki;
- eksperymentalne badania diagnostyczne w rzeczywistych warunkach eksploatacji metodami: funkcjonalną, tribologiczną, wibroakustyczną;
- poszukiwanie relacji między zmianami stanu technicznego i procesem eksploatacji układu a sygnałami diagnostycznymi uzyskanymi różnymi metodami;
- formalizacja wiedzy dla potrzeb ekspertowego systemu wspomagającego kompleksowe

wnioskowanie diagnostyczne i sterowanie eksploatacją;

- implementacja wiedzy w ekspertowym systemie sterowania eksploatacją.

Baza wiedzy wykorzystuje wprowadzone wyżej zależności – parametry równań stanu, zbiory zadań lotniczych i charakteryzujące je intensywności użytkowania oraz zbiory czynności obsługowych.

## 7. PODSUMOWANIE

Podstawę systemu sterowania eksploatacją stanowi kompleksowa metoda parametrycznej oceny stanu obiektu technicznego w procesie obsługi i użytkowania oparta na obserwacji parametrów stanu: technicznego, regulacji, bezpieczeństwa i niezawodności. Parametry te wyznaczane są z różnych konfiguracji równań stanu, które w sposób zdeterminowany wiążą całą posiadaną i odpowiednio uformowaną (wskaźniki przekroczeń wartości progowych) informację o obiekcie i jego otoczeniu.

Analiza wyników eksperymentalnych badań pokazuje, że występują różnice w przebiegu procesów zużywania układów funkcjonalnych silników nawet jeżeli pracują na tym samym śmigłowcu. Podejście proponowane w niniejszej pracy umożliwi uchwycenie indywidualnych cech badanych obiektów, a w rezultacie indywidualne sterowanie ich eksploatacją w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości funkcjonowania, bezpieczeństwa i niezawodności.

Decydent, obsługa techniczna i użytkownik będą dysponować bieżącą informacją o bezpieczeństwie i niezawodności obiektu oraz warunkach użytkowania, w których nie wystąpi przekroczenie dopuszczalnego stanu regulacji i stanu technicznego.

## LITERATURA

- [1] Borowczyk H.: *Model kompleksowego systemu diagnostycznego płatowca i zespołu napędowego statku powietrznego*. V Międz. Konf. Diagnostyka Samolotów i Śmigłowców, AIRDIAG'97, ITWL Warszawa 1997.
- [2] Borowczyk H.: *Diagnostyczny system sterowania procesem eksploatacji samolotu*, V Konf. Inżynieria Eksploatacji, Ameliówka, Wyd. ITWL, Warszawa 2000
- [3] Cempel C.: *Multidimensional condition monitoring of mechanical systems in operation*. Mech. Systems and Signal Processing, (2003) 17(6). 1291-1303.
- [4] Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z., Cholewa W. (red.): *Diagnostyka procesów*. WNT, Warszawa 2002.
- [5] Lewitowicz J.: *Podstawy eksploatacji statków powietrznych*. Tom 1: Statek powietrzny i elementy teorii. Wyd. ITWL, Warszawa 2001.

- [6] Lewitowicz J.: *Podstawy eksploatacji statków powietrznych*. Tom 2: Własności i właściwości eksploatacyjne statku powietrznego. Wyd. ITWL, Warszawa 2003.
- [7] Lindstedt P. – *Kompleksowa diagnostyka w procesie oceny jakości użytkowania silnika śmigłowego w inżynierii – lotniczym otoczeniu*, Diagnostyka 3 (39) 2006
- [8] Lindstedt P. – *Reliability and its relation to registration and diagnostics in the machinery exploitation systems*, Journal of KONBIN Vol. 1 No 2/2006, ITWL, Warszawa.
- [9] Lindstedt P., Borowczyk H., Magier J. – *Badania możliwości kompleksowego diagnozowania silnika lotniczego na podstawie informacji z metod funkcjonalnej, tribologicznej i wibroakustycznej*, Projekt Badawczy KBN Nr 5T12D01122, Wyd. ITWL, Warszawa 2003.
- [10] Lindstedt P., Borowczyk H., Magier J.: *Diagnostyka silnika śmigłowego w inżynierii-lotniczym otoczeniu*, Prace naukowe ITWL, Zeszyt nr 17 2003r.
- [11] Lindstedt P.: *Praktyczna diagnostyka maszyn i jej teoretyczne podstawy*. Wyd. Naukowe ASKON, Warszawa 2002.
- [12] Natke H. G., Cempel C.: *Holistic modelling as a tool for the diagnosis of critical complex systems*. Automatica, Vol. 32, No1 pp 89-94, 1996.
- [13] Niziński S., Michalski R.: *Diagnostyka obiektów technicznych*. ITE Radom 2002
- [14] Söderström T., Stoica P. – *Identyfikacja systemów*, PWN, Warszawa 1997.
- [15] Szczepanik R., Lindstedt P., Borowczyk H.: *Diagnostyka techniczna w systemie obsługi silników lotniczych*, Tom V, rozdz. 4 Problemy badań i eksploatacji

techniki lotniczej, Wyd. ITWL Warszawa 2004, ss 85 – 100.

- [16] Woropay M. (red.): *Podstawy racjonalnej eksploatacji maszyn*. Wyd. ITE, Radom 1996.
- [17] Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*. Wyd. Ucz. ATR, Bydgoszcz, 1996.



Dr hab. inż. **Paweł LINDSTEDT**, prof. Politechniki Białostockiej, docent Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych. Tematyka badawcza: Budowa i Eksploatacja Maszyn, Automatyka Stosowana,

Diagnostyka i niezawodność Maszyn. Prace dotyczą diagnozowania silników lotniczych, instalacji hydraulicznych, układów łożyskowania metodami funkcjonalnymi, wibroakustycznymi i zużyciowymi.



Dr inż. **Henryk BOROWCZYK** Adiunkt w Katedrze Automatyki i Robotyki na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej i główny specjalista w Zakładzie Silników Lotniczych, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych. Działalność

naukowo-badawcza: kompleksowa diagnostyka lotniczych silników turbinowych z wykorzystaniem teorii informacji, metod identyfikacji matematycznych modeli układów dynamicznych, metod sztucznej inteligencji.