

**Marek ZBOIŃSKI, Jarosław SPYCHAŁA**  
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa

## **WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI SYSTEMU DIAGNOSTYKI TRIBOLOGICZNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH W WARUNKACH EKSPLOATACJI NA TERENIE POLSKI**

### **Słowa kluczowe**

Statki powietrzne, wskaźniki niezawodnościowe, identyfikacja uszkodzeń, system diagnostyki tribologicznej.

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono wskaźniki niezawodności urządzeń systemu diagnostyki tribologicznej (SDT) i metody wyznaczania ich wartości. Szczegółowo omówione zostały roczne liczbowe wskaźniki niezawodności systemu diagnostyki tribologicznej charakteryzujące ich eksploatację w warunkach środowiskowych panujących na terenie Polski.

Podczas eksploatacji systemu SDT, który dzieli się na podsystemy laboratoryjny i terenowy występują niesprawności nie tylko urządzeń pomiarowych, ale również urządzeń peryferyjnych, np. zasilacza UPS, które mogą spowodować niesprawność całego systemu. Wszelkie niewyjaśnione lub nie w pełni wyjaśnione niesprawności i uszkodzenia, dotyczące pracy urządzeń pomiarowych, stanowią zagrożenie dla realizacji badań i wykonania prawidłowej oceny stanu technicznego diagnozowanych układów tribologicznych silników lotniczych i instalacji hydraulicznych. Mogą powodować u użytkownika brak zaufania do systemu i inne negatywne zjawiska. Celowe jest więc zidentyfikowanie zaistnia-

łych niesprawności urządzeń systemu i określenie wynikających z nich zagrożeń dla prawidłowej pracy systemu diagnostyki tribologicznej.

## **Wprowadzenie**

Wskaźniki niezawodności urządzeń można wyznaczyć w oparciu o materiały normy NO-06-A102:2005, jak również ustalić wartości wymaganych wskaźników niezawodności urządzeń.

Podczas wdrożenia do eksploatacji statków powietrznych Sił Zbrojnych RP systemu diagnostyki tribologicznej wymagane było określenie rocznych liczbowych wskaźników niezawodności urządzeń tego systemu charakteryzujący ich eksploatację w warunkach środowiskowych panujących na terenie Polski.

Zadanie było niezmiernie ważne ze względu na miejsce diagnostyki tribologicznej w systemie eksploatacji statków powietrznych. Wyniki badań i wnioski z przeprowadzonej analizy są podstawą do określenia prognozy dalszego bezawaryjnego czasu pracy. W przypadkach poziomów diagnostycznych wskaźujących na wzmożone lub przedawaryjne zużywanie w układzie łożyskowania są podstawą do wstrzymania eksploatacji statku powietrznego w powietrzu i podjęcia działań profilaktycznych.

ITWL do opracowania powyższych wskaźników wykorzystał następujące źródła informacji:

- dane Akredytowanego Laboratorium Diagnostyki Systemów Tribologicznych Zakładu Silników Lotniczych ITWL;
- dane stanowisk podsystemu terenowego;
- dane producentów urządzeń.

Analizę statystyczną i techniczną niesprawności urządzeń podsystemu laboratoryjnego i terenowego przeprowadzono z podkreśleniem niesprawności urządzeń pomiarowych, czyli optycznego spektrometru emisyjnego z elektrodą rotacyjną i automatycznego licznika cząstek oraz zestawu komputerowego.

## **1. Identyfikacja uszkodzeń i niesprawności urządzeń pomiarowych systemu diagnostyki tribologicznej**

W celu opracowania wskaźników niezawodności przeprowadzono procedurę ich wyznaczenia, posługując się następującym algorytmem:

1. Wybór informacji z posiadanych źródeł informacji.
2. Przeprowadzenie analizy technicznej – identyfikacja uszkodzeń i niesprawności.
3. Przeprowadzenie analizy statystycznej.
4. Opracowanie metodyki wyznaczenia wskaźników niezawodności.
5. Wyznaczenie wskaźników niezawodności.

6. Zestawienie niesprawności urządzeń systemu diagnostyki tribologicznej w formie tabelarycznej.
7. Zobrazowanie graficzne wskaźników niezawodności.
8. Opracowanie wniosków z analizy statystycznej i technicznej.

W ciągu rocznej eksploatacji nadzorowanej stanowiska laboratoryjnego i trzech stanowisk terenowych na terenie jednostek lotniczych zidentyfikowano uszkodzenia i niesprawności urządzeń pomiarowych, w jakie wyposażone są podsystemy SDT. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe niesprawności elementów komory palen próbek oleju optycznego spektrometru emisyjnego.

Tabela 1. Przykładowe niesprawności elementów komory palen próbek oleju optycznego spektrometru emisyjnego

Lp.	Niesprawność elementu/zespołu	Symptomy	Prawdopodobne przyczyny
1	Niesprawności elementów komory palen	Urządzenie nie dokonuje palenia próbki po naciśnięciu przycisku START	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Włącznik MODE jest w pozycji stanu wstrzymania STANDBY</li> <li>• Oprogramowanie nie jest właściwie przygotowane do wykonania palenia</li> <li>• Czujnik obecności próbki wykrył niewłaściwie zainstalowaną kuwetkę na stoliku mocowania próbki w komorze palen</li> <li>• F1 (bezpiecznik) jest uszkodzony w bloku połączenia zasilania</li> <li>• Przycisk START nie działa</li> <li>• F4 nie działa</li> <li>• Regulacja prądu przemiennego 125 V jest niska lub nie działa</li> <li>• Przycisk K6 (OPERATE) nie działa</li> <li>• Przycisk K5 (źródło) nie działa</li> </ul>
		Urządzenie dokonuje spalania, ale elektroda dyskowa się nie obraca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wał elektrody dyskowej jest luźny</li> <li>• Silnik elektrody dyskowej nie działa</li> </ul>
		Nie działa wentylator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Przełącznik MODE jest w pozycji stanu wstrzymania STANDBY</li> <li>• Brak napięcia w wentylatorze</li> <li>• F4 (bezpiecznik 5-amperowy) w TB2 jest uszkodzony</li> </ul>
		Na ekranie wyświetla się błąd blokady	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brak elektrody prętowej</li> <li>• Szczelina analityczna między elektrodami jest ustawiona niewłaściwie</li> <li>• Błąd próbki</li> <li>• Brak elektrody dyskowej</li> <li>• Blokada drzwiczek</li> </ul>
		Mechanizm zsuwowy elektrody prętowej nie działa właściwie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Przeszkoda zakłóca mechanizm</li> <li>• Regulacja zsuwu jest za luźna i powoduje dociskanie</li> </ul>

## 2. Analiza statystyczna

Podczas analizy statystycznej zebrane dane podzielono na grupy odpowiadające m.in. typom urządzeń, przyczyn wystąpienia uszkodzeń, miejsca wykrycia, ustalenia przyczyn, określenia stopnia zagrożenia dla wykonania badań itp.

Wskaźniki statystyczne zostały określone w wyniku obróbki informacji o uszkodzeniach urządzeń poszczególnych stanowisk terenowych eksploatowanych w jednostkach lotniczych i laboratoryjnego.

Uszkodzeniem nazywa się całkowity lub częściowy zanik zdatności obiektu. Tak więc przez to pojęcie rozumie się nie tylko całkowitą niezdatność, ale również pogorszenie zdatności na skutek zmiany wartości parametrów podstawowych.

Obliczenia dokonano w oparciu o sumaryczną pracę w godzinach oraz sumaryczną liczbę uszkodzeń urządzenia danego typu.

Zastosowano metody analizy matematycznej i wyznaczono zależność funkcyjną trendu parametru, bazując na klasycznym modelu regresji liniowej. Funkcja ta stosuje metodę najmniejszych kwadratów do obliczania prostej odwzorowującej rozkład wyników pomiarowych. Pozwoliło to na wysunięcie wniosków i zobrazowanie ich w postaci graficznej:

- niesprawności optycznych spektrometrów emisyjnych stanowią około 15% wszystkich uszkodzeń urządzeń wchodzących w skład wyposażenia stanowisk terenowych i laboratoryjnego SDT;
- z analizy charakteru tych niesprawności wynika, że około 30% z nich spowodowane jest uszkodzeniem elementów urządzeń;
- na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że niezmiernie ważne jest prawidłowe wykonywanie czynności obsługowych i przestrzegania terminowego ich wykonywania;
- niezmiernie ważnym elementem jest ustalenie krytycznych uszkodzeń dla urządzeń pomiarowych powodujących brak możliwości wykonania badań i przeprowadzenia oceny stanu technicznego układów tribologicznych statków powietrznych.

## 3. Wyznaczanie wskaźników niezawodności

Wskaźniki niezawodności wyznaczono, stosując znane zależności [1]

- Eksploatacyjne:
  - sumaryczny czas pracy badanego zbioru danego typu urządzenia systemu diagnostyki tribologicznej statków powietrznych, który równa się sumie czasu pracy poszczególnych urządzeń:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i,$$

gdzie:

$t_i$  – czas pracy  $i$ -tego urządzenia,

$n$  – liczba urządzeń.

- Bazowe:
  - sumaryczna liczba uszkodzeń danej kategorii, w danym zbiorze urządzeń, która równa się sumie uszkodzeń dla typów poszczególnych urządzeń systemu:

$$N = \sum_{i=1}^n N_i,$$

gdzie:

$N_i$  – liczba uszkodzeń określonej kategorii  $i$ -tego urządzenia.

- Warunkowe (na podstawie bazowych):
  - procentowy udział uszkodzeń (w danym czasie, w procesie funkcjonowania ze względu na bezpieczeństwo określonego rodzaju obiektu), naprawianych określoną metodą określonego obiektu lub elementu do wszystkich rozpatrywanych.

$$U_{i/j} = \frac{N_i}{N} \cdot 100\%,$$

gdzie:

$i$  – numer wskaźnika,

$j$  – numer wskaźnika odniesienia.

- Liczbowe – jako stosunek wskaźników bazowych do eksploatacyjnych:
  - liczba uszkodzeń przypadająca na jednostkę czasu,
  - średni czas pracy przypadający na jedno uszkodzenie [3].

$$T_u = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{T}{N}.$$

Liczba uszkodzeń jest zmienną losową o rozkładzie Poissona.

- Funkcyjne:
  - funkcja niezawodności ( $t_i$ )

$$R(t_i) = 1 - F(t_i) = P(T > t_i),$$

gdzie:

$F(t_i) = P(T \leq t_i)$  – dystrybuanta zmiennej losowej,  $T$  – funkcja zawodności.

- intensywność uszkodzeń  $\lambda(t_i)$

$$\lambda(t_i) = -\frac{1}{R(t_i)} \cdot \frac{dR(t_i)}{dt_i}.$$

#### 4. Roczny liczbowy wskaźnik niezawodności SDT w warunkach środowiskowych panujących na terenie Polski

Wymagania niezawodnościowe dla urządzeń systemu diagnostyki tribologicznej określone zostały przy opracowywaniu założeń taktyczno-technicznych z uwzględnieniem wymagań dla całego systemu. Na podstawie wykazu zadań, do wykonania których przeznaczony został system, zastosowano optymalny w warunkach eksploatacji statków powietrznych Sił Zbrojnych RP wariant jego budowy. System został podzielony na podsystemy: laboratoryjny i terenowy o charakterystykach technicznych i eksploatacyjnych kompatybilnych z wymaganiami NATO i programu Joint Oil Analysis Program.

W cenie efektywności systemu wykorzystano zarówno wskaźniki operacyjno-taktyczne, jak i wskaźniki ekonomiczne. Niezawodność systemu oceniano wartością prawdopodobieństwa bezawaryjnej pracy systemu lub przebywania systemu w wyróżnionych stanach niezawodnościowych w określonym przedziale czasu  $T$ . W naszych badaniach był to roczny okres eksploatacji systemu. Charakterystyki niezawodności i bezpieczeństwa poszczególnych podsystemów określono przez zespół wskaźników przedstawiających częstości odpowiedniej klasy zdarzeń odniesionych do czasu. Dla podsystemu zgodnie z zasadami [3, 4] można niezawodność podsystemu PPS przedstawić jako iloczyn następujących wzajemnie niezależnych czynników

$$P_{PS} = P_{TS} \cdot P_{UZ} \cdot P_{OB},$$

gdzie:

- $P_{TS}$  – prawdopodobieństwo bezawaryjnego i poprawnego działania w danym przedziale czasu  $T$  technicznych środków systemu;
- $P_{UZ}$  – prawdopodobieństwo bezbłędnego funkcjonowania użytkowników (operatorów) podsystemu;
- $P_{OB}$  – prawdopodobieństwo bezbłędnego wykonania pełnej obsługi technicznej.

Przy czym miarą niezawodności użytkownika w lotnictwie jest procentowy udział w rozpatrywanym wskaźniku miary niezawodności systemu, tych szczególnych przypadków, których przyczyną była niewłaściwa praca użytkownika. Należy też mieć na uwadze kwalifikacje użytkowników oraz programy szkolenia indywidualnego i zespołowego dla podtrzymania nawyków prawidłowego dzia-

łania. Miarą niezawodności obsługującego jest procentowy udział w rozpatrywanym wskaźniku miary niezawodności systemu tych szczególnych przypadków, których przyczyną było niewłaściwe działanie obsługi technicznej oraz środków obsługi i diagnozowania.

Przedsięwzięcia zalecane do realizacji w celu zapewnienia niezawodności środków technicznych systemu obejmują oddziaływania materiałowe i eksploatacyjne. Są nimi na przykład:

- identyfikowanie i weryfikowanie zbioru słabych punktów środków technicznych systemu;
- modyfikowanie wyposażenia, ze względu na zmieniające się wskaźniki niezawodności, wskaźniki bezpieczeństwa obsługi;
- wprowadzenie do systemu doskonalszych materiałów pomocniczych i zabezpieczających (badania, pobieranie próbek oleju);
- doskonalenie technologii obsługi;
- doskonalenie metod kontroli poprawnego działania;
- doskonalenie identyfikacji stanów awaryjnych.

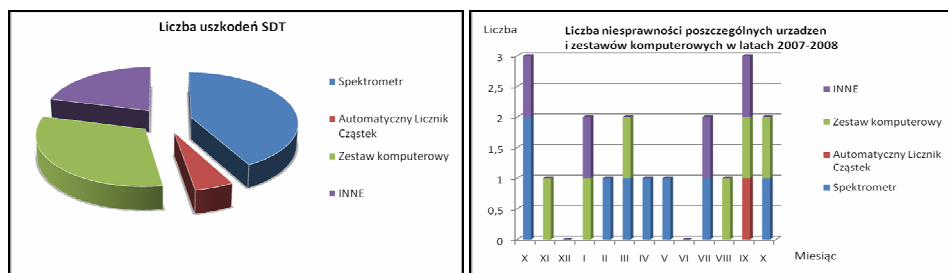
Przedsięwzięcia zalecane do realizacji w celu zapewnienia niezawodności działania operatorów systemu obejmują oddziaływania ergonomiczne, szkoleniowe oraz obiektywna kontrola pracy operatora.

W opracowaniu wskaźników niezawodności do obliczeń wykorzystano dane o niesprawnościach urządzeń podsystemu laboratoryjnego i stanowisk podsystemu terenowego. Wskaźniki te charakteryzują następujące własności systemu:

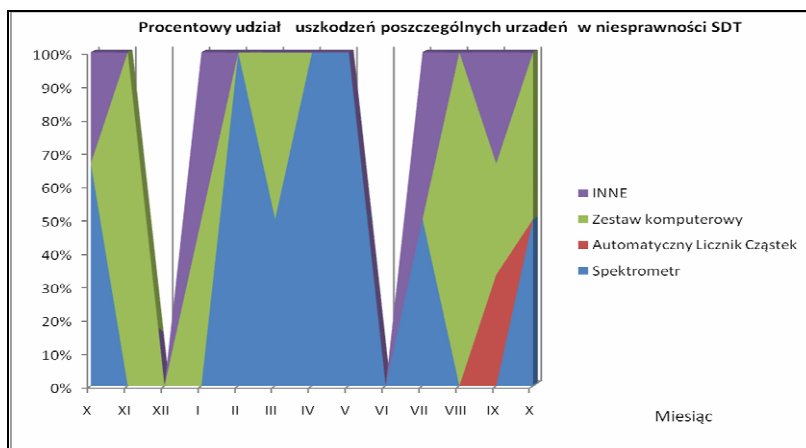
- nieuszkodzalność,
- bezpieczeństwo pracy,
- uszkodzenia powodujące niewykonanie badań,
- skuteczność obsług,
- jakość eksploatacji, remontu i produkcji urządzeń,
- skuteczność wykrywania uszkodzeń,
- jakość obsług.

Wskaźniki zostały zobrazowane graficznie.

Przedstawione zostały wskaźniki warunkowe urządzeń systemu diagnostyki tribologicznej w okresie od X 2007 do X 2008 roku. Na wykresach przedstawiono procentowy udział niesprawności poszczególnych urządzeń w niesprawnościach podsystemu laboratoryjnego systemu diagnostyki tribologicznej, a następnie udział niesprawności podsystemów w niesprawnościach całego systemu diagnostyki tribologicznej statków powietrznych lotnictwa Sił Zbrojnych RP zgodnego ze standardami NATO i programem Joint Oil Analysis Program (JOAP).



Rys. 1. Liczba uszkodzeń urządzeń systemu diagnostyki tribologicznej w latach 2007–2008



Rys. 2. Procentowy udział niesprawności poszczególnych urządzeń w niesprawnościach systemu diagnostyki tribologicznej w latach 2007–2008

## Podsumowanie

Niezmiernie ważnym elementem jest ustalenie krytycznych uszkodzeń dla urządzeń pomiarowych powodujących brak możliwości wykonania badań i przeprowadzenia oceny stanu technicznego układów tribologicznych statków powietrznych.

Na podstawie analizy niesprawności urządzeń pomiarowych i zestawów komputerowych stanowisk podsystemu terenowego i podsystemu laboratoryjnego SDT oraz danych producenta można określić skutki uszkodzenia spektrometru emisyjnego, automatycznego licznika cząstek lub zestawu komputerowego dla wykonania badań i oceny stanu technicznego układów tribologicznych statków powietrznych:

Brak zasilania:

- brak możliwości wykonania badań,
- brak możliwości zapisania wyników badań w bazie danych.



Niesprawność jednego kanału pomiarowego spektrometru:

- brak możliwości oceny pierwiastka uszkodzonego kanału,
- zmniejszenie wiarygodności badań.

Uszkodzenie pompy automatycznego licznika cząstek

- brak możliwości wykonania badań,
- brak możliwości zapisania wyników badań w bazie danych.

Uszkodzenie jednostki centralnej zestawu komputerowego:

- utrata danych, jeżeli nie wykonano archiwizacji bazy danych,
- brak możliwości wykonania odniesienia wyników badań do poprzednich,
- brak możliwości weryfikacji danych dotyczących diagnozowanego układu i statku powietrznego.

Niezawodność systemu powinna być zapewniona w sposób ciągły na etapie eksploatacji.

System powinien spełniać wymaganie niezawodnościowe, które określa prawdopodobieństwo poprawnej pracy w czasie 5 godz. na poziomie minimum 0,99.

## Bibliografia

1. Karolak Z., Kwaśniewski K., Olearczuk E.: Badania niezawodności funkcjonowania systemu człowiek–obiekt techniczny w wykorzystaniu obiektywnej kontroli ergonomicznej, Ośrodek Postępu Technicznego, Katowice 1979.
2. Borgoń J., Jaźwiński J., Sikorski M., Ważyńska-Fiok K.: Niezawodność statków powietrznych, ITWL, Warszawa 1992.
3. Jaźwiński J., Ważyńska-Fiok K.: Niezawodność systemów technicznych, PWN, Warszawa 1990.
4. Migdalski J., Poradnik Niezawodności – Podstawy matematyczne, Wyd. Przemysłu Maszynowego „WEMA”, praca zbiorowa, Warszawa 1982.
5. Modele niezawodnościowe systemów, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.
6. Żmudziński Z.: Model oddziaływania pomiędzy lotniczymi systemami z punktu widzenia niezawodności, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, Zeszyt 3, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997, s. 383.

Recenzent:  
**Marek ORKISZ**

## **Indicators of the reliability of tribological diagnostic systems in service in Poland**

### **Key words**

Aircraft, indicators of reliability, identification of damage, tribological diagnostic system.

### **Summary**

The paper presents the reliability indicators of tribological diagnostics system devices (STD) and the methods of determining their value. The paper discusses in detail the annual numerical indicators of reliability characterising their tribological operation in environmental conditions prevailing on the Polish environment. During operation of the system SDT, which is divided into sub-systems, laboratory and field failures of measuring devices and peripheral devices, such as UPS, can cause the failure of the entire system. Any unexplained or not fully explained malfunctions and damage of measuring devices are a threat to the implementation of research and the implementation of the proper assessment of the technical condition diagnosed tribological systems of aircraft engines and hydraulic systems. This can cause the user's lack of confidence in the system and other negative phenomena. It is appropriate, therefore, to identify the devices of the system, how the failure occurred and to determine the resulting risks for the correct operation of tribological diagnostic systems.