

SPYCHAŁA Jarosław¹
ZBOIŃSKI Marek²

ZASTOSOWANIE METOD DIAGNOSTYKI WIBROAKUSTYCZNEJ I TRIBOLOGICZNEJ W PROCESIE MONITOROWANIA ZASOBU TRWAŁOŚCI LOTNICZEGO SILNIKA TURBOŚMIGŁOWEGO

Metody diagnostyki wibroakustycznej i tribologicznej pozwalają na określenie aktualnego stanu technicznego lotniczego silnika turbośmigłowego poprzez badanie własności procesów zachodzących podczas jego pracy. Uzyskane parametry podczas badań mają wspomagać proces oceny stanu technicznego silnika i przewidywania czasu jego bezawaryjnej pracy.

Niezawodność i trwałość obiektu technicznego określona jest poprzez niezawodność poszczególnych zespołów i części. Jedną z podstawowych przyczyn zmian niezawodności i trwałości są procesy zużyciowe.

APPLICATION DIAGNOSTIC METHODS OF VIBROACOUSTIC AND TRIBOLOGICAL DURING CONDITION MONITORING OF AIRCRAFT ENGINE TURBOPROP

Vibroacoustic and tribological diagnostic methods allow the assessment of the current technical condition of the engine turboprop aircraft by examining the properties of the processes taking place during its operation. Parameters obtained during the tests are to assist the process of assessing the technical condition of the engine and predicting its overhaul life.

Reliability and durability of engine turboprop aircraft is defined by the reliability of individual assemblies and parts. One of the fundamental reasons for the amendments to reliability and durability are wear processes.

1. WSTĘP

Trwałość i niezawodność działania lotniczych silników turbośmigłowych są uzależnione od warunków pracy i decydują o bezpieczeństwie lotu i wykonaniu misji przez statek powietrzny, dlatego potrzebna jest kontrola ich zużycia. Można to osiągnąć, stosując

¹Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 01-494 Warszawa, ul. Księcia Bolesława 6, tel./fax. (22) 685 1034.
e-mail: jaroslaw.spychala@itwl.pl

²Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 01-494 Warszawa, ul. Księcia Bolesława 6, tel./fax. (22) 6851175.
e-mail: marek.zboinski@itwl.pl

metody diagnostyczne, które określają rzeczywisty stan układu i jego trwałość na podstawie badań i zapisu ich historii.

W związku z wprowadzeniem pogłębionych badań z zakresu diagnostyki silników lotniczych w procesie formułowania decyzji diagnostycznych w celu określenia stanu technicznego eksploatowanych statków powietrznych oceniono aktualny stan tych działań w lotnictwie wojskowym na tle wymagań zawartych w wojskowych standardach światowych i zarysowującej się tendencji w tym kierunku. Dotychczas prowadzone w ITWL prace z zakresu diagnostyki wibroakustycznej i tribologicznej wybranych silników lotniczych statków powietrznych wskazują na potrzebę wdrożenia do procesu eksploatacji nowoczesnego systemu diagnostycznego wspomagającego procesy badania i wnioskowania w zakresie oceny i prognozowania stanu technicznego. Dotyczy to szczególnie układów łożyskowania i przekładni silników turbośmigłowych, które podlegają procedurze zwiększenia czasu pracy ponad czas kalendarzowy z zachowanym zasobem trwałości.

W procesie eksploatacji lotniczych silników turbośmigłowych stosowane są metody diagnostyczne oparte na badaniach tribologicznych oraz metody wibroakustyczne pomiaru drgań na korpusie silnika w miejscu podpory wału silnika. Zastosowanie dwóch metod badających zjawiska różnej natury fizycznej pozwala na uniwersalizację problemu diagnozowania napędów lotniczych. Dotychczas obie metody: wibroakustyczną oraz tribologiczną stosowano do diagnozowania obiektów technicznych niezależnie. Jednakże pewne przesłanki praktyczne i teoretyczne mogą świadczyć o tym, że metody te mogą się wzajemnie dobrze uzupełniać. Metoda wibroakustyczna w sygnale drganiowym odzwierciedla procesy fizyczne zachodzące w maszynie, od których zależy prawidłowe jej funkcjonowanie, jest ona szeroko stosowana do badania stanu silnika w naturalnych warunkach jego eksploatacji, jednakże często nie daje jednoznacznej informacji o wielkości zużycia powierzchni zużywającej się części m. in. czy zostały już uszkodzone utwardzone powierzchnie trących elementów. Informacji tej dostarczają metody badawcze diagnostyki tribologicznej.

Układy tribologiczne silników turbośmigłowych (układy łożyskowania, przekładnie) składają się z elementów o znanych parametrach i charakterystykach (wielkości luzów, materiały par współpracujących itp.). Zmiany parametrów i ich charakterystyk spowodowane są procesami zużyciowymi i tarcia.

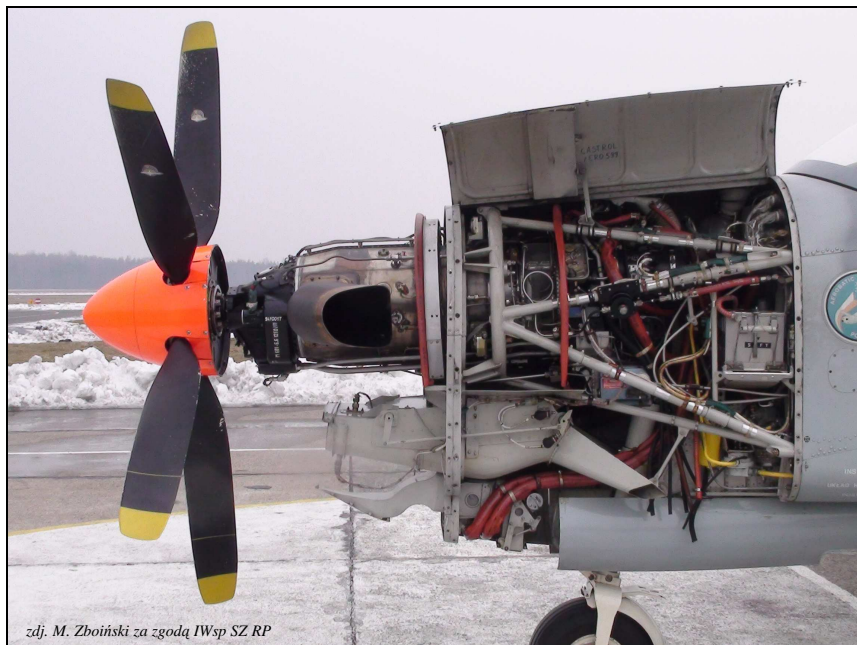
Informacje uzyskane z badań diagnostycznych pozwalają ocenić prawdopodobieństwo awarii i zdefiniować pozostały zapas trwałości, a w rezultacie ustalić czas bezpiecznej eksploatacji. Obserwacja drgań eksploatacyjnych silnika turbośmigłowego pozwala na wyznaczenie wartości drgań i odniesienie ich do poziomów w relacji z krzywą życia maszyny jaką jest badany silnik lotniczy.

Diagnostyka tribologiczna opiera się na analizie próbek cieczy roboczej pobieranych z krytycznego miejsca układu w ściśle określonych warunkach. Uzyskane parametry mają wspomagać proces oceny stanu technicznego układu i przewidywania czasu jego bezawaryjnej pracy. Analiza badań diagnostycznych układów tribologicznych pozwala na ocenę poziomu zużywania (normalny, podwyższony, wzmożony i awaryjny)

2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

W wojskach lotniczych w procesie szkolenia stosowane są statki powietrzne, które napędzane są silnikami turbośmigłowymi dwuwirnikowymi typu M-601T firmy Walter.

Stanowią napęd samolotów typu PZL-130 „Orlik” i współdziałają z pięciopłatowym śmigłem typu V 510 T.



zdj. M. Zboński za zgodą IWsp SZ RP

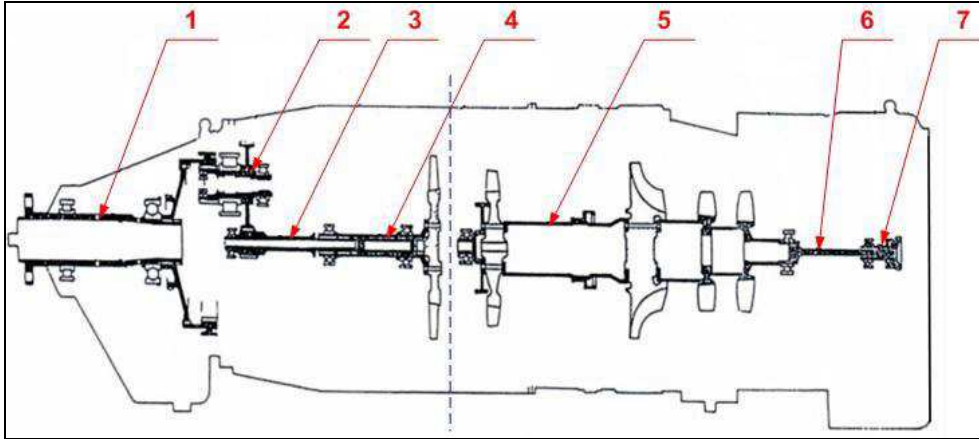
Rys. 1. Zespół napędowy - silnik turbośmigłowy samolotu typu PZL-130 TC „Orlik”

Silnik M-601T (Rys.1.) zbudowany jest z następujących podstawowych zespołów: sprężarki (dwa stopnie osiowe i jeden odśrodkowy), turbiny wysokiego ciśnienia i wolnej turbiny napędowej, komory spalania, w korpusie silnika znajduje się zbiornik oleju do smarowania układu łożyskowania silnika, przekładni i reduktora śmigła.

W ramach podjętego projektu przez ITWL badania skierowano na układ łożyskowania silnika, ze względu na to że stanowi jeden z podstawowych zespołów odpowiadający za sprawność działania silnika jako całości.

W badaniach metodami diagnostyki tribologicznej olej traktowany jest jako nośnik informacji o stanie układu łożyskowania i jako element układu. W przypadku pierwszym czyli nośnika informacji o stanie układu wykorzystuje się właściwość oleju, a właściwie jedną z funkcji przez niego pełnionych czyli odprowadzenie produktów zużycia ze strefy współpracujących powierzchni.

Natomiast w przypadku diagnostyki wibroakustycznej do analizy stanu technicznego wykorzystuje się sygnały zespołów wirujących odbierane za pomocą czujników drgań zamontowanych na korpusie silnika.



Rys. 2. Schemat układu łożyskowania silnika turbośmigłowego typu M-601T [1].
 1-wał śmigła; 2- wał przedni; 3- wał łączący – reduktora; 4- wirnik wolnej turbiny; 5- wirnik turbosprężarki; 6- wał napędowy skrzynki przekładniowej; 7- główne koło, przekazujące napęd do skrzynki napędów

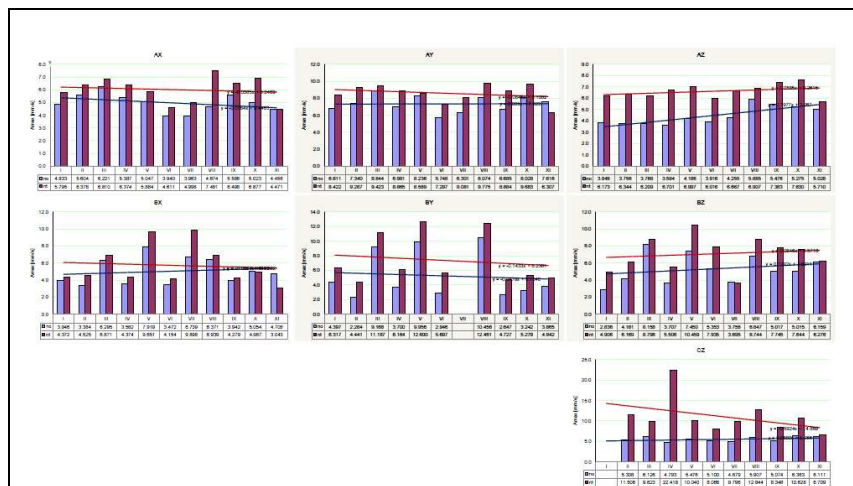
3. METODA DIAGNOSTYKI WIBROAKUSTYCZNEJ

Pomiar drgań realizowany jest za pomocą czujników zamocowanych w płaszczyźnie podpór silnika na jego korpusie. Po przeprowadzeniu analizy składu widmowego drgań w oparciu o znaną częstotliwość obrotową f_0 silnika oraz znajomość kinematyki silnika określa się element (zespół), który należy poddać przeglądowi. W procesie diagnozowania analizowane są przede wszystkim składowe widmowe o częstotliwościach będących symptomami niewyważenia, luzów, nieosiowości. Obserwując trend zmian amplitud poszczególnych składowych widmowych można ocenić stan eksploatacyjny zespołów silnika i poddać go eksploatacji nadzorowanej lub przerwać eksploatację danego silnika w przypadku zagrożenia wystąpieniem awarii.

Producent danego silnika określa pewne warunki techniczne na dane parametry użytkowe. Stan dynamiczny silnika opisują związki, jakie zachodzą między rodzajem wymuszenia, własnościami dynamicznymi układu mechanicznego, a amplitudą drgań, czyli ogólnie odpowiedzią układu na wymuszenia.

Oceniając stan techniczny silnika turbośmigłowego należy mieć ponadto na uwadze fakt, iż obiekt ten jest obiektem złożonym, na którego działają różnego rodzaju wymuszenia. Dlatego też próba zamodelowania i opisu dynamicznego silnika turbośmigłowego jest procesem trudnym, ponieważ jest to obiekt silnie nieliniowy i zależny od wielu zmiennych.

Na rys.3. przedstawiono przykładową zmianę wartości drgań w pasmach f_0 (częstotliwości obrotowej turbosprężarki) i f_t (częstotliwości obrotowej turbiny wolnej) dla prób trwałościowych silnika turbośmigłowego M-601T .

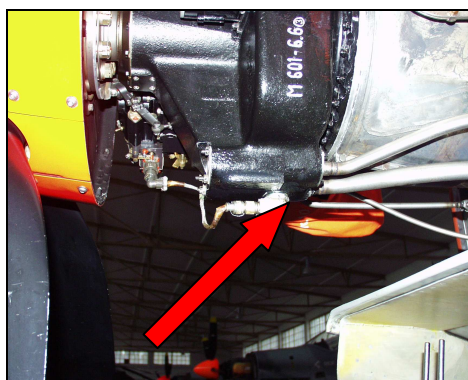


Rys.3. Wartości drgań w pasmach f_0 i f_t dla prób trwałościowych silnika turbośmigłowego M-601T [1]

4. METODA DIAGNOSTYKI TRIBOLOGICZNEJ

Podczas badań metodą diagnostyki tribologicznej zastosowano następujące uzupełniające się metody badawcze: optycznej spektrometrii emisyjnej, fluorescencji rentgenowskiej, ferrografii.

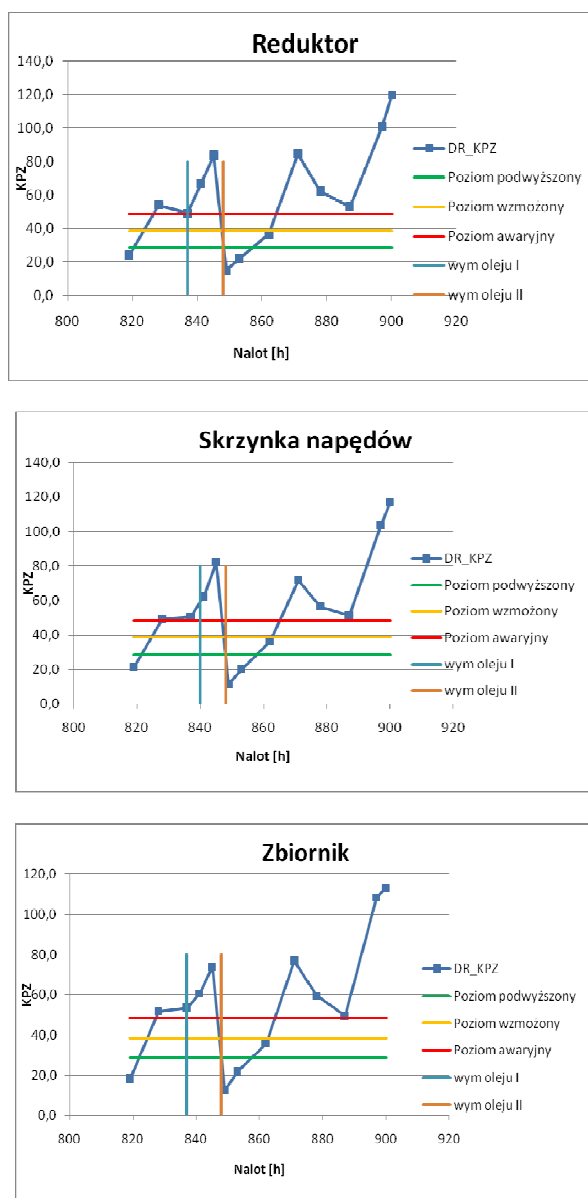
Ze względu na specyfikę konstrukcji badanego układu łożyskowania silnika turbośmigłowego M-601T jak i dla zachowania powtarzalności w warunkach poboru próbek oleju opracowano metodykę poboru. W metodyce tej zawarto: miejsce poboru (Rys.4), ilość pobranej próbki oleju, czas poboru po zatrzymaniu układu, częstotliwość poboru próbek i warunki poboru w tym zachowanie BHP.



zdj. M. Zboński za zgodą IWsp SZ RP

Rys. 4. Miejsce pobierania próbek oleju z silnika M-601T.

Wyniki badań z poszczególnych metod badawczych wraz z danymi charakteryzującymi próbkę, poprzez lokalną sieć komputerową zbierane są w bazie danych. Pozwala to na śledzenie w czasie eksploatacji stanu technicznego danego silnika.



Rys. 5. Wyniki badań uzyskane metodą ferrograficzną dla poszczególnych miejsc układu, z których pobrano próbki oleju do badań

5. WNIOSKI

W badaniach metodami diagnostyki tribologicznej, olej w układzie łożyskowania silnika traktowany jest jako nośnik informacji diagnostycznej o stanie układu (produkty zużycia, degradacja właściwości fizykochemicznych w procesie eksploatacji, itd.). Na podstawie badań próbek oleju metodami spektrometrycznymi i ferrograficznymi:

- optycznej spektrometrii emisyjnej – skład ilościowy o wymiarze liniowym do 8-10 μm ;
- fluorescencji rentgenowskiej – skład ilościowy o wymiarze liniowym większym od 0,6 μm ;
- ferrograficzna – wskaźniki zużycia badanego układu i obraz produktów ferromagnetycznych;

możemy określić stan techniczny łożysk i kół zębatych przekładni. Ze względu na złożoność układu i brak map materiałowych badania tribologiczne należy wspomagać wynikami uzyskanymi z badań zrealizowanych innymi metodami diagnostycznymi. Na bazie prac zrealizowanych w ITWL zaproponowano korelowanie wyników badań tribologicznych i wibroakustycznych szczególnie w aspekcie identyfikacji elementów podlegających przyspieszonej degradacji oraz zwiększenia wiarygodności interpretacji wyników uzyskanych poszczególnymi metodami.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Spychała J., Majewski P., Szczekala M. i inni: *Badanie silników M601T i opracowanie biuletynu przedłużającego eksploatację silników M601T*, Sprawozdanie wewnętrzne ITWL, Warszawa 2010.
- [2] Cempel Cz.: *Wibroakustyka stosowana*, Wydawnictwo PWN, 1978.
- [3] Bieńczyk K., Wolski J., Zboiński M.: *Badania zużycia par tribologicznych metodami spektrometrii emisyjnej, fluorescencji rentgenowskiej, ferrograficzną i granulometryczną*. EXPO'98, Gdynia 1998.
- [4] Spychała J., Dąbrowski H.: *Zastosowanie rozszerzonych badań wibroakustycznych w procesie eksploatacji samolotów*, AIRDIAG'2001, Ameliówka, 16-19.10.2001.
- [5] Courrech J., Gaudel M.: *Envelope analysis - the key to rolling-element bearing diagnosis*, Brüel & Kjær Application Notes, 1998.
- [6] Chruściel M.: *LabView w praktyce*, Wydawnictwo btc, 2008.
- [7] Zboiński M.: *Badania diagnostyczne układów tribologicznych w statkach powietrznych* - Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej – tom 6 – Wyd. ITWL Warszawa 2007.