Dr hab. inż. Dawid Taler, prof. PK
Instytut Inżynierii Cieplnej i Ochrony Powietrza
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Krakowska

Kraków, 05.12.2016 r.

Recenzja
rozprawy doktorskiej oficera dypl. inż. Macieja Trelki
pt. „Monitorowanie uszkodzeń zespołu napędowego w zmiennych warunkach działania samolotu MiG -29"

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest wykrywanie uszkodzeń zespołu napędowego samolotu MiG-29 przy wykorzystaniu systemu rejestracji oraz diagnostyki wewnętrznej zainstalowanych w tym samolocie. Zespół napędowy współczesnego samolotu stanowi skomplikowane urządzenie pracujące w zmiennych warunkach środowiskowych. Odnosi się to szczególnie do samolotów bojowych o napędzie odrzutowym. Kandydat pokazuje w swojej pracy, że właściwie prowadzone monitorowanie pracy i ewentualnych uszkodzeń zespołu napędowego przyczyni się do zmniejszenia awarii zespołu napędowego. Monitorowanie pracy zespołu napędowego jest obok obsługi bieżącej okresowej i specjalnej oraz remontów i przeglądów eksploatacyjnych jednym z najważniejszych czynników zwiększających bezpieczeństwo użytkowania samolotów a także poprawiających dostępność statków powietrznych do realizacji szkoleń i zadań bojowych. W zależności od stosowanej polityki eksploatacyjnej statki powietrzne mogą być eksploatowane według resursu, tj. według zadanego bezpiecznego czasu pracy wyrażonego w godzinach lub według stanu technicznego.

Tematyka pracy ma duże znaczenie poznawcze jak i praktyczne. Zagadnienia monitorowania uszkodzeń zespołu napędowego samolotu w zmiennych warunkach działania mogą stanowić przedmiot rozprawy doktorskiej.

1. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska oficera dypl. inż. Macieja Trelki o objętości 153 stron składa się z 11 rozdziałów, wykazu ważniejszych skrótów i oznaczeń, 2 krótkich streszczeń (w języku polskim i angielskim) oraz wykazu literatury zawierającego 53 pozycje literaturowe.

Rozdział pierwszy rozprawy stanowi wprowadzenie. Zawiera on krótką charakterystykę wybranych uszkodzeń samolotów oraz ich przyczyny.

Przedmiotem rozdziału drugiego jest budowa i ogólna charakterystyka samolotu MiG-29. Przedstawione zostały ogólne dane techniczne samolotu, z uwzględnieniem jego charakterystyki aerodynamicznej i budowy oraz opis głównych podzespołów.

W rozdziale trzecim opisana została budowa zespołu napędowego samolotu MiG-29. Porównane zostały następujące silniki:

- RD-33 stosowany w samolotach MiG-29 (dwa silniki RD-33),
- F100-PW-229 stosowany w samolocie wielozadaniowym F-16C,
- AŁ-21F-3 stosowany w samolocie myśliwsko-bombowym SU-22.

Szczegółowo omówiono wady i zalety silnika RD-33 w porównaniu z dwoma pozostałymi silnikami.

Cel pracy oraz zadania szczegółowe scharakteryzowane zostały w rozdziale czwartym. Celem rozprawy jest znalezienie odpowiedzi na pytanie:

„Czy system monitorowania uszkodzeń jest w pełni wykorzystywany do profilaktycznego im zapobiegania oraz czy istnieją obszary, które nie w pełni lub nie do końca właściwie są monitorowane?''

Oficer dypl. inż. Maciej Trelka zamierza osiągnąć cel rozprawy przez realizację zadań szczegółowych, obejmujących:

- ogólną charakterystykę analizowanego płatowca,
- charakterystykę układu napędowego samolotu MiG-29 oraz dokonanie analizy porównawczej zespołów napędowych samolotów bojowych eksploatowanych w Siłach Powietrznych RP,
- ocenę skuteczności działania pokładowych systemów rejestracyjnych i diagnostycznych oraz przegląd strategii eksploatacji samolotu,
- charakterystykę zagrożeń występujących podczas kołowania oraz wykonywania lotów.

Analiza stanów awaryjnych samolotów przedstawiona jest w rozdziale piątym.

Poziom bezpieczeństwa lotu może być obniżony z następujących powodów:

- uszkodzeń i niesprawności poszczególnych elementów funkcjonalnych instalacji, zespołów i urządzeń,
- oddziaływania niesprzyjających warunków zewnętrznych (otoczenia),
- niedostatków w naziemnym ubezpieczeniu lotów,
- błędów i naruszenia przepisów dotyczących eksploatacji statku powietrznego i techniki jego pilotowania,
- pojawienia się niekorzystnych zjawisk aerodynamicznych pogarszających stateczność, sterowność, wytrzymałość lub inne charakterystyki statku powietrznego,
- różnych skojarzeń wymienionych wcześniej czynników.

Według stopnia zagrożenia bezpieczeństwa lotów sytuacje szczególne mogą być podzielone na:

- skomplikowane,
- niebezpieczne,
- awaryjne,
- katastroficzne.

Kandydat sformułował również wymagania dotyczące niezawodności i eksploatacji samolotów. Wyodrębnił również osiem klas wskaźników miar niezawodności. Zespół lub podzespół jest zazwyczaj charakteryzowany miarami bezawaryjności, bezpieczeństwa, a w niektórych przypadkach miarami niezawodności operacyjnej. Rozróżnia się dwa zasadnicze rodzaje uszkodzeń: nagłe i rozwijające się stopniowo. Z punktu widzenia takich cech jak: niezawodność, gotowość, bezpieczeństwo lotów najważniejszą właściwością statku powietrznego jest jego bezawaryjność. Jedną z ważniejszych przyczyn powstawania niesprawności i uszkodzeń są wady elementów składowych struktur technicznych. Wady obiektu mogą powstawać zarówno w trakcie jego projektowania, w procesie wytwarzania, jak i podczas eksploatacji. Można rozróżnić wady konstrukcyjne, materiałowe i produkcyjne. Poziom bezpieczeństwa statków powietrznych można podnieść już na etapie projektowania poprzez:

- stosowanie nowoczesnych metod w konstrukcji samolotów i technologii ich wykonania,
- użycie materiałów konstrukcyjnych o wysokiej jakości,
- weryfikację założeń za pomocą badań eksperymentalnych,
- prawidłową eksploatację,
- odpowiedni dobór i selekcję kandydatów do zawodu, kształcenie i trening, motywowanie oraz podtrzymywanie kondycji psychicznej.

Również ważne dla zwiększenia bezpieczeństwa są działania związane z oceną systemów we wszystkich fazach ich istnienia. W pracy doktorskiej analizowane jest szczegółowo postępowanie w przypadku zaistnienia niesprawności statku powietrznego. Sformułowane zostały zasady postępowania przy usuwaniu niesprawności, które zostały zilustrowane za pomocą przykładów. Środki umożliwiające wykrycie przyczyn niesprawności sprzętu lotniczego obejmują: wiedzę techniczną i doświadczenie personelu lotniczego, dane z pokładowych urządzeń rejestrujących, dokumentację techniczną, aparaturę kontrolno-pomiarową stanowiska diagnostycznego oraz literaturę fachową. Przedstawione zostały dwa przykłady identyfikacji niesprawności silników samolotu MiG-29.

Przedmiotem rozdziału szóstego jest opis systemu rejestracyjnego samolotu. W obowiązującej aktualnie strategii eksploatacji samolotów MiG-29 używanych przez Służby Zbrojne RP stosowane są równolegle trzy procedury oceny stopnia zużycia:

- strategia eksploatowania według stanu technicznego z kontrolowaniem parametrów,
- strategia eksploatowania według czasu pracy (resursu),
- strategia eksploatowania według stanu technicznego z kontrolowaniem poziomu niezawodności.

Monitorowanie parametrów lotu samolotu MiG-29 odbywa się za pomocą trzech rejestratorów:

- TESTER U3-Ł,
- ATM-QR6D,
- S2-3a/MiG-29 (stopniowo wdrażany do eksploatacji).

Rejestrator TESTER U3Ł przeznaczony jest do zapisu na taśmie magnetycznej ciągłych i jednorazowych parametrów zespołu napędowego, przyrządów pokładowych, wyposażenia elektrycznego, wyposażenia radiotechnicznego, uzbrojenia i układu sterowania. Zapisana informacja zachowana jest bez strat i zmian w czasie 60 dni.

Pokładowy rejestrator danych ATM-QR6D jest dodatkowym (eksploatacyjnym) rejestratorem parametrów lotu zabudowanym na samolocie MiG-29. Zastosowany w nim cyfrowy nośnik pamięci powoduje uzyskanie dużej czystości zapisu danych oraz rejestrację innych parametrów takich jak: czas rzeczywisty, data, szerokość i długość geograficzna. Umożliwia on zapisywanie większej liczby parametrów, ułatwiających prowadzenie analizy niesprawności na samolocie.

Rejestrator S2-3a/MiG-29 przeznaczony jest do rejestracji w czasie lotu i na ziemi parametrów głównych układów samolotu i jego wyposażenia, bieżącego czasu lotu

i parametrów (danych) wejściowych oraz do zabezpieczenia zarejestrowanych informacji w czasie wypadku lotniczego. Zastąpi on urządzenia kontroli i rejestracji lotu „TESTER--U3Ł'' oraz ATM-QR6D.

W rozdziale szóstym przedstawionych zostało jedenaście przykładów niesprawności ilustrujących zarejestrowane przebiegi czasowe wybranych parametrów zespołu napędowego samolotu MiG-29, m. in. niedopuszczalny spadek ciśnienia paliwa lewego silnika (rys. 31), przekroczenie dopuszczalnej temperatury gazów wylotowych prawego silnika (rys. 32), nieuruchomienie się lewego silnika na ziemi (rys. 35) oraz samoczynne wyłączenie się prawego silnika w powietrzu (rys. 36).

W rozdziale siódmym przedstawione zostały pokładowe systemy diagnostyczne i kontroli parametrów lotu.

Oprócz rejestratorów parametrów lotów eksploatacyjnych i katastroficznych, takich jak TESTER-U3Ł i ATM-QR6D w samolocie MiG-29 zainstalowane są również układy wewnętrznej ciągłej kontroli systemów:

- układ „EKRAN'' ilustrujący i rejestrujący uszkodzenia układów, jednostek napędowych, instalacji pokładowych i agregatów z możliwością ich zapisu w pamięci urządzenia,
- system zobrazowania świetlnego głównych sygnałów niesprawności, za pomocą uniwersalnej tabliczki sygnalizacyjnej typu WSS-1-4K,
- system zobrazowania niesprawności na nowo zabudowanym wielofunkcyjnym wyświetlaczu sterującym MFCD zawierający kody błędów sygnalizowanych dla pilota w czasie lotu,
- system informatora głosowego typu P-591B.

Systemy diagnostyczne zainstalowane na pokładzie samolotu MiG-29 informują załogę odnośnie sprawności systemów na pokładzie samolotu w czasie rzeczywistym. Są one podstawą sprawnego i odpowiedniego reagowania załogi statku powietrznego na wykrywane niesprawności.

Przedmiotem rozdziału ósmego jest analiza zewnętrznych przyczyn awarii systemu napędowego.

Awarie i niesprawności zespołu napędowego mogą być powodowane przez szereg czynników, takich jak:

- środowisko eksploatacyjne (stan nawierzchni lotniska i związane z tym niebezpieczeństwo zassania ciał obcych, obecność dzikiej zwierzyny na płycie lotniska, występowanie ptaków na lotnisku i w jego okolicach),

- stopień zużycia elementów i podzespołów samolotu,
- niesprawność bloków generujących sygnały informujące o niesprawności,
- błędy w technice pilotowania.

Do ważniejszych niesprawności, które zdarzają się wyłącznie na ziemi można zaliczyć między innymi:

- nie uruchomienie się jednego z silników w zakresie automatycznym lub ręcznym,
- nie zamknięcie się wlotu regulowanego w trakcie uruchomienia po osiągnięciu zadanej prędkości obrotowej silnika,
- niewłaściwa praca rozrusznika turbinowego,
- przekroczenie maksymalnej dopuszczalnej temperatury gazów za turbiną.

Kandydat przeanalizował szczegółowo następujące stany awaryjne występujące podczas lotu:

- wibracja lewego silnika,
- urwanie łopatki turbiny,
- uszkodzenie silnika,
- wady ukryte w złączu spawanym w podporze silnika,
- pęknięcia w złączu spawanym na dwóch podporach wentylatora,
- pęknięcie cięgna w mechanizmie ograniczników zakresów pracy,
- pęknięcie wewnętrznego przewodu doprowadzającego powietrze,
- spadek obrotów i temperatury silnika,
- nieprawidłowa praca silnika,
- spadek ciśnienia oleju,
- zderzenie z ptakiem,
- uszkodzenie silnika odłamkiem wspornika,
- występowanie oleju na osłonie silnika.

Oficer dypl. inż. Maciej Trelka doszedł do wniosku, że przyczyny wymienionych niesprawności były zróżnicowane. Sklasyfikował je następująco:

- niewłaściwie wykonany remont lub naprawa silnika, czy też jego podzespołu,
- nieprzestrzeganie lub niewłaściwe opracowanie technologii remontu bądź naprawy,
- nierzetelnie prowadzona analiza materiałów obiektywnej kontroli lotów,
- brak dostępu do zmian w strategii eksploatacji zespołu napędowego wprowadzanych przez producenta,
- duża bezwładność systemu w reagowaniu na powstałe uszkodzenia i opracowywaniu odpowiedniej profilaktyki,

- starzeniowe zużycie elementów i podzespołów silnika.

Rozdział dziewiąty stanowi podsumowanie, a wnioski końcowe zawarte są w rozdziale dziesiątym.

Kierunki dalszych badań Kandydat sformułował w rozdziale jedenastym.

2. Główne osiągnięcia naukowe

Monitorowanie uszkodzeń zespołu napędowego w zmiennych warunkach działania samolotu MiG-29 jest bardzo ważnym zagadnieniem decydującym o gotowości do lotów szkoleniowych i bojowych tego samolotu. Realizacja pracy przyczyni się również do podwyższenia bezpieczeństwa lotu przy użyciu samolotów MiG-29. Analiza niezawodności statków powietrznych eksploatowanych w Siłach Zbrojnych RP w latach 2009-2013 pozwala stwierdzić, że 9% zdarzeń lotniczych spowodowanych było uszkodzeniami silników. Kandydat stwierdził na podstawie analiz różnych niesprawności występujących w turbinowych silnikach odrzutowych, że największym problemem występującym w ich eksploatacji jest zasysanie ciał obcych. Można rozróżnić dwa rodzaje uszkodzeń:

- uszkodzenie silnika turbinowego poprzez elementy, cząstki i przedmioty luźno znajdujące się na powierzchniach dróg podczas przemieszczania się lub postoju samolotu,
- uszkodzenie silnika turbinowego poprzez zassanie ptaka podczas lotu samolotu.

Ważnym wnioskiem Kandydata, wynikającym z przeprowadzonych analiz niesprawności, jest stwierdzenie, że elementem silnika najbardziej narażonym na oddziaływanie zasysanych ciał obcych są łopatki sprężarki niskiego i wysokiego ciśnienia. Zassane ciało obce może doprowadzić do znacznego wzrostu poziomu drgań silnika, urwania łopatki a nawet do zablokowania wirnika.

Na awaryjność silników RD-33 wpływają istotnie uszkodzenia turbiny wysokiego ciśnienia. Główną przyczyną są wysokie temperatury spalin, które z kolei mogą powodować przegrzanie materiału łopatek. Najczęściej występujące uszkodzenia łopatek turbiny to: pęknięcia na krawędzi natarcia łopatek wirnika turbiny, degradacja warstwy wierzchniej, miejscowe wypalenia rodzimego materiału, pęknięcia kierownic turbiny wysokiego ciśnienia oraz wypalenia łopatek aparatu kierującego w turbinie niskiego ciśnienia. Zbyt wysoka temperatura spalin spowodowana jest nieprawidłowym spalaniem mieszanki paliwowo-powietrznej w komorze spalania, spowodowanym głównie zaburzeniami występującymi w procesie rozpylania paliwa oraz właściwościami fizykochemicznymi paliwa lotniczego F-34 używanego w eksploatacji samolotu MiG-29. Oficer dypl. inż. Maciej Trelka podważa

obiegowe przekonanie, że uszkodzenia turbiny wysokiego ciśnienia spowodowane są niewłaściwą jakością remontu. Według Kandydata istnieje pilna potrzeba zakupu silników RD-33 w celu maksymalnego wykorzystania potencjału eksploatacyjnego samolotów MiG-29.

3. Uwagi krytyczne

W rozprawie zauważyłem kilkanaście usterek redakcyjnych, między innymi:

- brak w wykazie ważniejszych skrótów i oznaczeń niektórych symboli używanych w pracy, np. SIL na stronie 55 lub FOD na stronie 98,
- na stronie 57, bezpośrednio za podpisem pod rysunkiem 19 jest zdanie: „Przykłady zastosowania na podstawie zapisów rejestratora TESTER:'', które jest niezrozumiałe,
- brak opisu osi na niektórych rysunkach w rozdziale szóstym.

Wyszczególnione wyżej uwagi nie zmniejszają merytorycznej wartości rozprawy.

4. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska oficera dypl. inż. Macieja Trelki pt. „Monitorowanie uszkodzeń zespołu napędowego w zmiennych warunkach działania samolotu MiG-29" spełnia wymagania ustawowe stawiane pracom doktorskim. Wnioskuję o dopuszczenie oficera dypl. inż. Macieja Trelki do publicznej obrony swojej pracy.

Dawid Taler