

PROBLEMS OF FAILURES OF AIRPLANES AND HELICOPTERS

Jerzy Lewitowicz

Air Force Institute of Technology
Księcia Bolesława 6, Box 96, 01-494 Warsaw, Poland
tel.: +48 22 6852025
e-mail: jlewito@meil.pw.edu.pl

Abstract

Three basic areas of diagnostics: genesis, checking of condition and prognosis should be developed including the aeronautical applications. This we to be realized because of a number of new destructive agents as the ageing of complication of software systems and automatic control systems even when the level of reliability of the systems is very high. But one should rate the increasing of failures costs as a part of all operators.

The paper concentrates on kinds of inefficient and damages and on the physics and diagnostics of damages. Upper-fuselage skins separated in the course of approach, corrosion and fatigue induced fracture of a wing beam, percentage of damages/failures attributable to particular aeronautical branches and causes of air accidents (military aviation per one year), percentage of damages/failures at different stages of aircraft flight, fatigue fractures of compressor and turbine blades of a turbojet engine. Primary damages determine base for the statistical conclusion on durability and dependability of elements and air-sets. Secondary damages are registered as results primary damages. For the exploitive practice most useful is the classification of damages of elements which makes possible the macroscopic estimation character of the damage and supposed reason its appearance.

Keywords: transport, aircraft, diagnostics, failure

PROBLEMY USZKODZEŃ STATKÓW POWIETRZNYCH

Streszczenie

Trzy obszary diagnostyki: genezowanie, kontrola stanu i prognozowanie wymagają wiedzy o możliwych uszkodzeniach statków powietrznych. Uszkodzenia zmieniają procesy użytkowania samolotów i śmigłowców. Mają one wpływ na bezpieczeństwo lotów. W pracy opisano wpływ uszkodzeń na proces użytkowania statków powietrznych. Omówiono problematykę uszkodzeń załączając przykłady charakterystycznych uszkodzeń.

Artykuł koncentruje się na rodzajach niesprawności i uszkodzeń oraz fizyce i diagnostyce uszkodzeń. Odpadnięcie górnej części pokrycia kadłuba samolotu w czasie podejścia do lądowania, korozyjno – zmęczeniowe pęknięcie belki skrzydła, udziały procentowe uszkodzeń w podziale na specjalności lotnicze i przyczyny wypadków lotniczych, udział procentowy uszkodzeń w różnych fazach lotu samolotów, złomy zmęczeniowe łopatek sprężarki i turbiny oraz dysku turbiny silnika odrzutowego są przedstawione w artykule. Uszkodzenia pierwotne stanowią podstawę do wnioskowania statystycznego o trwałości i niezawodności elementów i zespołów lotniczych. Uszkodzenia wtórne są rejestrowane jako skutki uszkodzeń pierwotnych. Dla praktyki eksploatacyjnej najbardziej przydatna jest klasyfikacja uszkodzeń elementów, która umożliwi makroskopową ocenę postaci uszkodzenia oraz domniemanej przyczyny jej powstania.

Słowa kluczowe: transport, statki powietrzne, diagnostyka, uszkodzenia

1. Wstęp

Badaniom technicznym podlegają w lotnictwie wszystkie zaobserwowane niesprawności i uszkodzenia statku powietrznego (SP) celem ich eliminacji i nie dopuszczenia do zaistnienia w czasie lotu zdarzenia niepożądanego.

Niesprawność jest to takie zdarzenie niepożądane, które pojawia się w systemie technicznym

(SP), antropotechnicznym (C – SP) lub socjotechnicznym (C – SP – O)¹, uniemożliwiając fizyczne lub umowne spełnienie przewidzianych funkcji.

Uszkodzenie (w ujęciu niezawodnościowym) jest to zdarzenie polegające na przejściu elementu, zespołu statku powietrznego ze stanu zdatności do stanu niezdatności lub częściowej niezdatności.

Pojęcie uszkodzenia w statkach powietrznych obejmuje zarówno uszkodzenia struktury, zespołów, jak również poszczególnych elementów (części konstrukcyjnych), z których składają się zespoły. Uszkodzenia elementów pociągają za sobą często uszkodzenie zespołu, w skład którego wchodzi, bądź/lub i innych zespołów SP. Zdarza się, że uszkodzenie statku powietrznego powoduje uszkodzenie elementu np. z zespołu napędowego.

Niesprawności i uszkodzenia² statku powietrznego wynikają bądź ze świadomego lub nieświadomego przekroczenia obciążeń dopuszczalnych przez załogę lub personel obsługowy SP, oddziaływań i zaburzeń zewnętrznych, albo powstaje w wyniku normalnych zjawisk fizycznych i chemicznych będących immanentną właściwością realizowanych zadań – pracy lub czasu (zużycie węzłów tribologicznych, korozja, starzenie materiałów, pęknięć zmęczeniowych itp.).

2. Rodzaje niesprawności i uszkodzeń

Z wielu przyczyn, w każdym obiekcie technicznym, systemie technicznym, w tym w statku powietrznym, mogą pojawić się niesprawności elementów³ powodując niesprawność zespołu technicznego, w skład którego wchodzi, lub całego SP. Niesprawność wywoływana jest uszkodzeniem elementu (w sensie niezawodnościowym), albo części (w sensie konstrukcyjnym) lub takiego wzajemnego ułożenia elementów (części) w zespole, które wywołują niepożądany skutek w jego działaniu. Następstwem uszkodzenia podczas wykonywania ZL może być wypadek lotniczy (WL) lub przerwanie zadania lotniczego (ZL). Wypadek lotniczy może być przyczyną zniszczenia SP, śmierci lub zranienia ludzi, tj. załogi, pasażerów lub osób postronnych⁴. Przerwa w wykonaniu ZL może pociągnąć za sobą negatywne skutki ekonomiczne, organizacyjne, militarne itp. Wymienione możliwe skutki uzasadniają wykonywanie prac profilaktycznych i diagnostycznych mających na celu utrzymywanie SP w stanie zdatności⁵ [6-9].

Podstawą wiedzy o eksploatacji statków powietrznych powinna być gruntowna znajomość fizyki powstawania niesprawności i uszkodzeń. Znając, bowiem uwarunkowania fizyczne zjawisk, można budować modele niezawodnościowe i decyzyjne, które pozwalają oprzeć eksploatację na zasadach tak zwanej podatności degradacyjnej, czyli odporności na degradację. Budowanie modeli niezawodnościowych i decyzyjnych, uwzględniających fizykę powstawania uszkodzeń, nie jest zadaniem prostym. Wnikanie w naturę zjawisk fizycznych i chemicznych będących przyczyną uszkodzeń podyktowane jest także koniecznością opracowywania metod – przyspieszonych, skróconych i uproszczonych – badania trwałości elementów i zespołów statków powietrznych oraz wykrycia rzeczywistych przyczyn wypadków lotniczych o ile zostały spowodowane przyczynami technicznymi lub eksploatacyjnymi, a także opracowania profilaktyki [9, 12, 13].

Istotą działania lotnictwa jest wykonanie zadania lotniczego (ZL). Techniczną przesłanką niewykonania ZL, przerwania jego realizacji albo nawet nie rozpoczęcia wykonania, (mimo iż

¹ C – SP – O, skrót systemu człowiek – statek powietrzny – otoczenie.

² W tekście używane będzie często pojęcie „uszkodzenie” w kontekście wszystkich rodzajów zdarzeń niepożądanych takich, jak: niesprawność, usterka itp

³ **Element** w ujęciu niezawodnościowym to obiekt, w którego opisie przy badaniu niezawodności nie zakłada się jego dalszego podziału. Zespół elementów wchodzi w skład **obiektu technicznego systemu niezawodnościowego** [67].

⁴ Przykładem może tu być katastrofa samolotu *Concorde* w dniu 16 sierpnia 2000 r. po starcie z lotniska w Paryżu, w której zginęła załoga samolotu, pasażerowie i osoby na ziemi, zniszczeniu uległy: SP i budynki w miejscu katastrofy.

⁵ Prace te realizowane są w **Podsystemie Utrzymywania Zdatości SP (PEUt)**. Wykonywanie ZL to działania w **Podsystemie Użytkowania SP (PEUż)** [6].

zostało ono zaplanowane) może być niesprawność. Niesprawność może dotyczyć zespołu lub całego statku powietrznego i może być rozpatrywana ze względu na różne kryteria: skutków, czasu i sposobu usunięcia niesprawności, przyczyn, rodzaju niesprawności, miejsca i czasu powstania itp.

Podstawową przyczyną niesprawności są: uszkodzenia, zacięcia, rozregulowanie, niezadziałanie, zakłócenie działania, brak zasilania (elektrycznych, paliwowych, olejowych, smarnych, gazowych), deficyt zdolności potencjalnej (element jest zdalny, ale realizacja postawionego zadania przekracza zakres cech), wadliwe działanie (wykonywanie określonej operacji w sposób niezgodny z wymaganiami) itp. Za pierwotną przyczynę niesprawności uznaje się uszkodzenie elementu lub równoczesne uszkodzenie kilku elementów zespołu, urządzenia, agregatu (ogólnie struktury technicznej).

Usunięcie niesprawności to przywrócenie właściwości funkcjonalnej, spełniających nałożone warunkami technicznymi – poprzez usunięcie uszkodzenia, regulację itp. elementów w SP, z wcześniejszym zdiagnozowaniem stanu technicznego i prognozą dalszego niezawodnego funkcjonowania. Wśród przyczyn powstawania niesprawności podstawową rolę odgrywają uszkodzenia. **Uszkodzenie** to:

- utrata fizycznych własności i (lub) właściwości elementu konstrukcyjnego;
- zdarzenie polegające na przejściu struktury technicznej (ST) (elementu) ze stanu zdolności do stanu niezdatności.

Podstawowym kryterium zaliczenia danego zdarzenia do zdarzenia zwanego uszkodzeniem jest zmiana (odstępstwo) cechy lub zespołu cech, na których podstawie ustala się fakt zdolności (niezdolności) systemu technicznego lub elementu.

Często używa się pojęcia **usterka**. Przez to pojęcie można rozumieć drobne uszkodzenia, zacięcia itp., które nie wywołuje znaczących następstw operacyjnych, ekonomicznych, i których likwidowanie nie jest pracochłonne. Najczęściej typy i rodzaje usterek wyspecyfikowane są w dokumentacji techniczno-eksploatacyjnej statku powietrznego.

Niesprawność, uszkodzenie, usterka pociąga za sobą zmianę możliwości działania (lotu) SP, powstanie sytuacji jego niezadziałania (braku możliwości wykonania ZL, lub przerwania jego realizacji), prowadzące się do następujących sytuacji:

- a) niewykonanie zaplanowanego lotu lub opóźnienie lotu,
- b) zaniechanie lub skrócenie lotu po starcie,
- c) konieczność posłużenia się systemem zapasowym lub zastosowanie postępowania awaryjnego,
- d) wypadek.

Z punktu widzenia eksploatacji SP o niesprawnościach i uszkodzeniach można mówić jako o typowych, a więc takich, które są już dostatecznie dobrze zidentyfikowane – opisane w dokumentacji eksploatacji SP, jak również o nowych ich postaciach (rodzajach) tworzących nowy zbiór, pojawiający się podczas bieżącej eksploatacji SP. Te nowe postacie niesprawności i uszkodzeń mogą mieć charakter jednostkowy lub systemowy. W praktyce eksploatacyjnej reaguje się na nie odpowiednimi działaniami profilaktycznymi.

W różnych systemach eksploatacyjnych statki powietrzne charakteryzują się różną częstością ich użytkowania. Dla przykładu w cywilnych systemach transportowych SP może być użytkowany w 50÷80% czasu dobowego. W innych systemach np. wojskowych, statek powietrzny większość czasu znajduje się w stanie przechowywania lub oczekiwania na realizację ZL. W tych stanach na powstawanie niesprawności i uszkodzeń duży wpływ ma oddziaływanie czynników zewnętrznych (atmosfery), rozwijające się procesy starzeniowe, korozyjne, naprężeniowe (termiczne), zmęczeniowe itp. [1-5, 9-11].

3. Fizyka i diagnostyka uszkodzeń

Pojęcie uszkodzenia statków powietrznych (SP) obejmuje zarówno uszkodzenia struktury, podstawowych zespołów SP, jak również uszkodzenia poszczególnych elementów (części)

składowych zespołów SP. Uszkodzenia elementów pociągają za sobą często uszkodzenia zespołów w skład, jakich wchodzi, bądź (lub „i”) innych zespołów SP. Zdarza się, że uszkodzenie statku powietrznego, jako całości, powoduje uszkodzenie, a nawet zniszczenie podstawowych elementów konstrukcyjnych utrudniając genezę przyczyny wypadku lotniczego.

Uszkodzenia wynikają bądź ze świadomego przekroczenia obciążeń dopuszczalnych (np. przez załogę, operatora czy personel obsługujący SP), bądź oddziaływań i zaburzeń zewnętrznych, bądź też normalnych zjawisk fizycznych i chemicznych będących immanentną właściwością realizowania zadań (pracy), lub czasu. Zalicza się tu na przykład zużycie węzłów tribologicznych, korozję, starzenie materiałów itp.

Problem uszkodzeń elementów SP występuje w całym okresie eksploatacji SP, choć w różnych okresach dominują różne przyczyny.

W pierwszym okresie eksploatacji, okresie tzw. docierania, głównymi przyczynami są odchyłki technologiczno - montażowe od założonych norm oraz wady materiałowe. Wraz z upływem czasu eksploatacji, rolę zaczynają odgrywać przyczyny: tribologiczne, zmęczeniowe, korozyjne.

Przez cały okres eksploatacji SP degradacji ulegają jego elementy konstrukcyjne. Warunki pracy (wyteżenia materiału, odkształcenia, zużycia itp.) do końca nieprzewidywalne – ekstremalne, warunki oddziaływań zewnętrznych o losowym charakterze zmienności, wpływają w decydujący sposób na obniżenie wytrzymałości własnej struktury SP i jego elementów w zespołach i podzespołach wykonawczych. Problemy te próbuje rozwiązywać teoria degradacji.

O ile w wielu przypadkach uszkodzenia niektórych elementów i zespołów umożliwiają jeszcze dokończenie lotu statku powietrznego, o tyle nieuniknione - takie są prawa przyrody - uszkodzenia struktury statku powietrznego, a w szczególności jego kadłuba i usterzenia, zwiększają ryzyko jego zniszczenia – a to oznacza możliwość zaistnienia katastrofy lotniczej. Właśnie dlatego spośród różnych zagadnień eksploatacyjnych, badanie przyczyn uszkodzeń nabiera tak dużego znaczenia (Rys. 1).



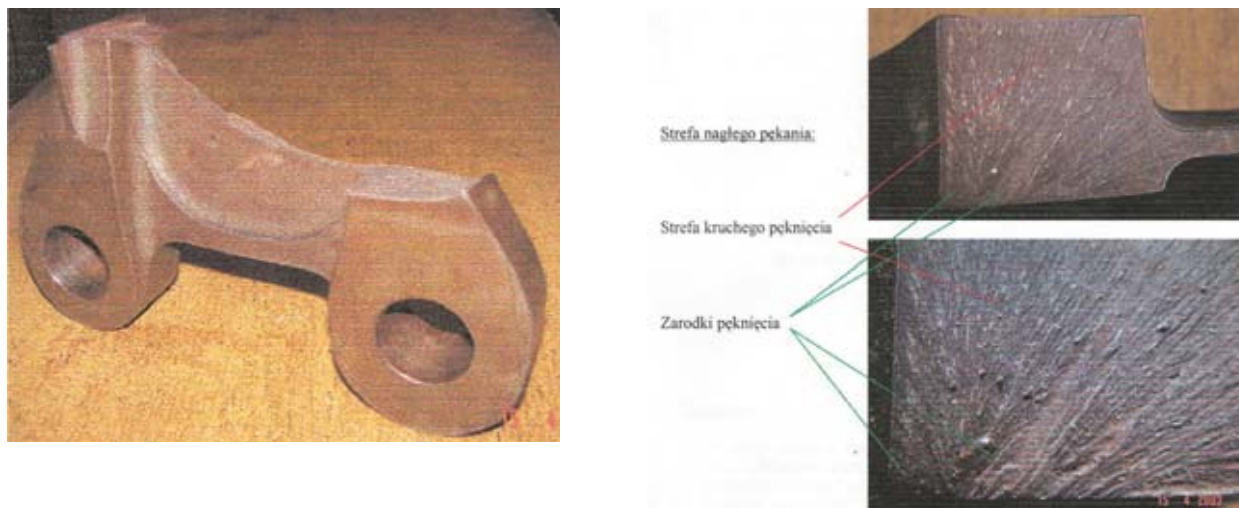
Rys. 1. Odpadnięcie górnej części pokrycia kadłuba samolotu w czasie podejścia do lądowania (Foto Internet)

Fig. 1. Upper-fuselage skins separated in the course of approach

Uszkodzenia SP szczególnie w locie, w znaczący sposób wpływają na bezpieczeństwo, ale także na wszystkie wskaźniki gotowości technicznej SP charakteryzujące gotowość do realizacji zadań. Uszkodzenia, wywołane różnymi przyczynami dzielą się na: a) przewidywalne - rozwijające się w miejscach łatwo dostępnych i diagnozowanych (różnymi metodami, z bogatego już arsenału technik diagnostycznych). Przykładem takiego uszkodzenia jest pęknięcie kłapy skrzydła na pokryciu zewnętrznym czy zużywanie łożyska w instalacji olejowej o cyklu zamkniętym (badanie produktów zużycia); b) nieprzewidywalne – jako przykład można wskazać

katastrofę samolotu B-747 spowodowaną pęknięciem zmęczeniowym tylnej przegrody ciśnieniowej [8]. Uszkodzenia nieprzewidywalne⁶ powstają nagle (uszkodzenia układów elektronicznych) albo mogą objawiać się nagle, po dłuższej lub krótszej rozwijającym się procesie destrukcji elementu, najczęściej w miejscu ukrytym i niezauważonym przez personel techniczny.

Przykładem może tu być korozyjno – zmęczeniowe pęknięcie belki skrzydła (Rys. 2).



Rys. 2. Korozyjno – zmęczeniowe pęknięcie belki skrzydła
Fig. 2. Corrosion and fatigue induced fracture of a wing beam

Przed skutkami uszkodzeń zabezpieczamy się bądź przez zwielokrotnianie zespołów, obwodów instalacji, bądź przez odpowiednie przewymiarowanie elementów struktury konstrukcyjnej SP zwane nadmiarowością.

Z powyższego widać dokładnie ważną rolę projektowania struktur SP bezpiecznych i ekonomicznych. W utrzymaniu wysokich wskaźników niezawodnościowych, bezpieczeństwa i gotowościowych decydującą rolę odgrywa - po wprowadzeniu SP do eksploatacji – diagnostyka, wykrywająca niesprawności, uszkodzenia, wkomponowana odpowiednio w ogólny system eksploatacji SP. System taki ulega (w czasie) doskonaleniu.

Na rysunku 3 przedstawiono udziały procentowe uszkodzeń wojskowych statków powietrznych w zbiorze uszkodzeń zaistniałych w ciągu jednego roku eksploatacji tych statków i zarejestrowanych przez poszczególne specjalności. Na rysunku 4 pokazano zestawienie procentowych udziałów uszkodzeń powstałych w różnych fazach lotu. Istniejące systemy zbierania informacji o niesprawnościach i uszkodzeniach SP umożliwiają wykrywanie istotnych zagrożeń funkcjonowania systemów lotniczych, wskazują bowiem na możliwe uszkodzenia, tym samym więc pozwalają na podejmowanie odpowiednich decyzji co do likwidacji tych zagrożeń.

Uszkodzone elementy można zaszeregować do jednej z następujących grup:

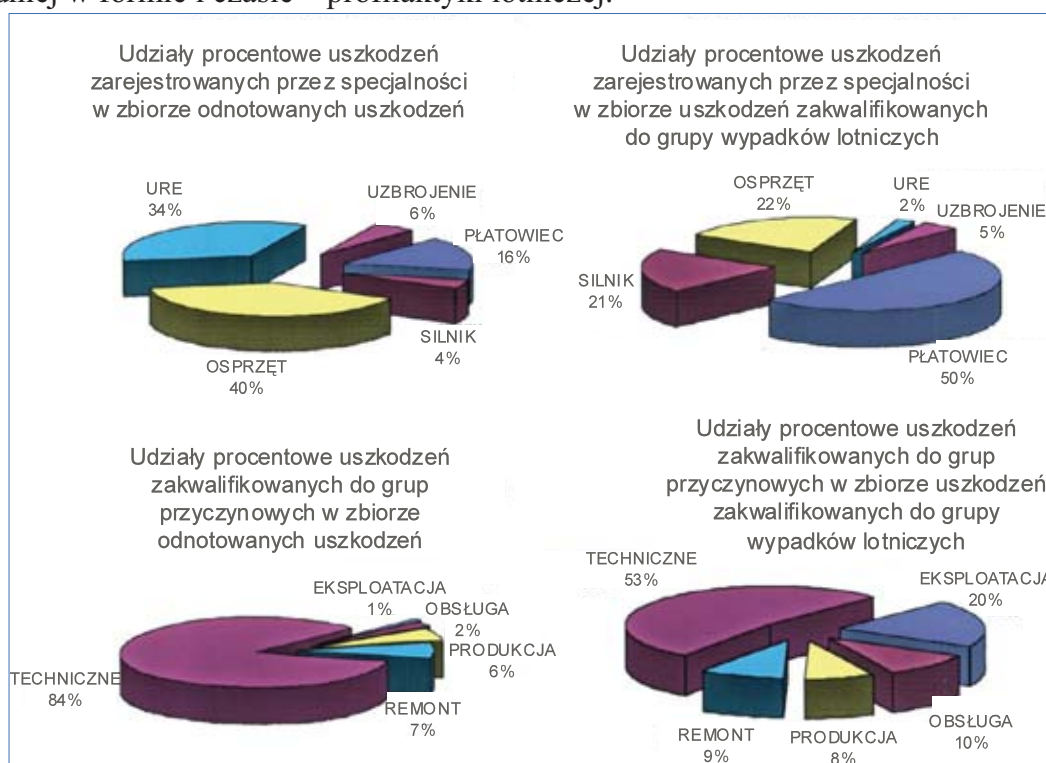
- elementy posiadające silnie skorelowane parametry określające stan zdatności z ilością parametru funkcjonowania;
- elementy posiadające słabo skorelowane parametry stanu zdatności z ilością parametru funkcjonowania. Można dla nich wyznaczyć obszar, w którym istnieje trajektoria stanu;
- elementy posiadające zerową korelację stanu zdatności z ilością parametru funkcjonowania.

Proces uszkodzeń jest bez tzw. pamięci. Zespół zawierający takie elementy wymaga stosowania nadmiarów oraz aktywnych (w czasie rzeczywistym) układów diagnozujących.

Opis oraz badanie niesprawności i uszkodzeń, wykrycie rzeczywistej (lub rzeczywistych) przyczyny ich powstania ma kapitalne znaczenie dla doskonalenia konstrukcji lotniczych,

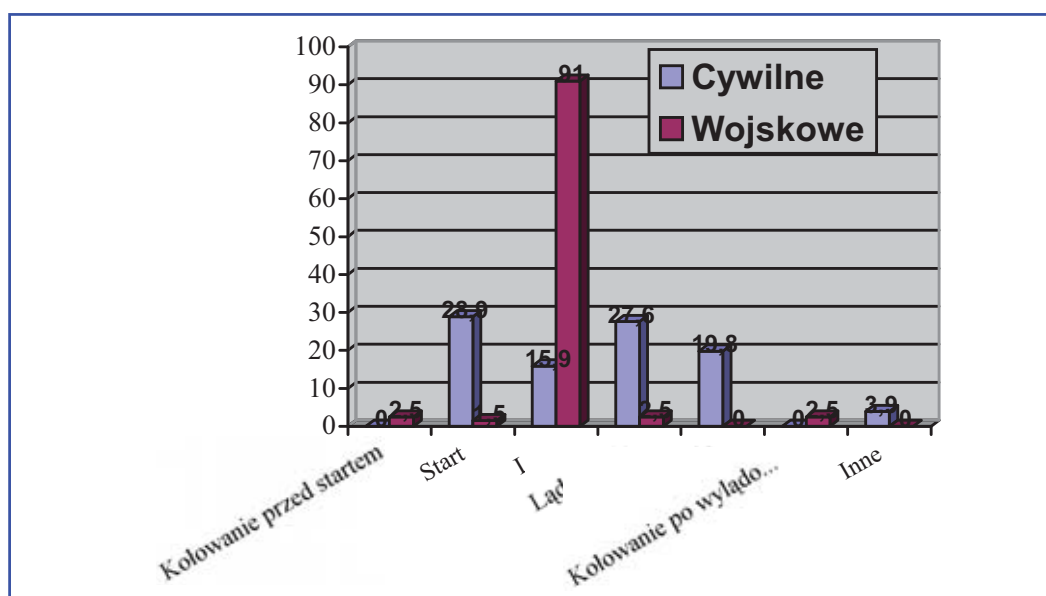
⁶ Problem opisano w literaturze w pozycji [8].

doskonalenia metod, procedur i narzędzi utrzymania zdolności SP, a także dla stosowania – odpowiedniej w formie i czasie – profilaktyki lotniczej.



Rys. 3. Udziały procentowe uszkodzeń w podziale na specjalności lotnicze i przyczyny wypadków lotniczych (lotnictwo wojskowe w skali jednego roku)

Fig. 3. Percentage of damages/failures attributable to particular aeronautical branches and causes of air accidents (military aviation per one year)



Rys. 4. Udział procentowy uszkodzeń w różnych fazach lotu samolotów
Fig. 4. Percentage of damages/failures at different stages of aircraft flight

Uszkodzenia SP i jego zespołów w zdecydowanej większości objawiają się jako pęknięcia, urwania, wyłamania itp. powstałe w wyniku przekroczenia wytrzymałości rzeczywistej elementów składowych, na skutek oddziaływań mechanicznych, cieplnych lub elektrycznych.

Uszkodzenia statków powietrznych lub ich zespołów i elementów klasyfikuje się według różnych kryteriów. Dla potrzeb identyfikacji uszkodzeń i podejmowania przedsięwzięć

profilaktycznych uszkodzenia klasyfikuje się najczęściej ze względu na:

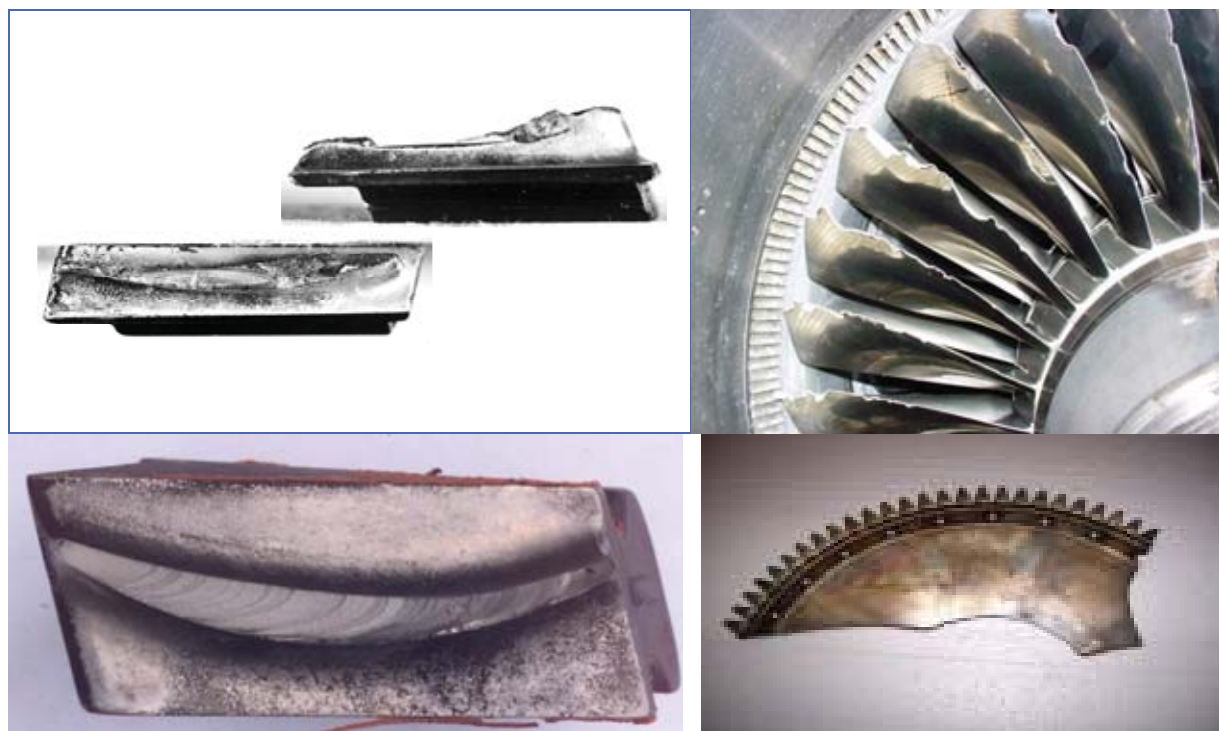
- typ urządzenia, układu (elektryczne, mechaniczne, hydrauliczne itp.);
- fizyczny charakter uszkodzenia;
- przyczyny powstawania uszkodzenia;
- sposoby odnowy zdatości uszkodzenia.

Uszkodzenia statków powietrznych i ich elementów można także podzielić na:

- uszkodzenia pierwotne (niezależne);
- uszkodzenia wtórne (zależne);
- uszkodzenia naturalne;
- uszkodzenia wymuszone.

Uszkodzenia pierwotne są powodowane:

- naturalnym procesem starzenia i zużycia, zmęczenia, korozji itp.;
- zniszczeniem po przekroczeniu dopuszczalnych parametrów pracy;
- ujawnieniem się wad konstrukcyjnych, technologicznych, ukrytych wad materiałowych;
- błędami użytkownika lub obsługi.



*Rys. 5. Złomy zmęczeniowe łopatek sprężarki i turbiny oraz dysku turbiny silnika odrzutowego
Fig. 5. Fatigue fractures of compressor and turbine blades of a turbojet engine*

Uszkodzenia pierwotne stanowią podstawę do wnioskowania statystycznego o trwałości i niezawodności elementów i czynnych zespołów lotniczych. Uszkodzenia wtórne są rejestrowane jako skutki uszkodzeń pierwotnych.

Dla praktyki eksploatacyjnej najbardziej przydatna jest taka klasyfikacja uszkodzeń elementów, która umożliwia makroskopową ocenę postaci uszkodzenia oraz domniemanej przyczyny jej powstania. Dla identyfikacji postaci uszkodzeń wyróżnia się wśród nich: złamanie, ścięcie, zgięcie, skręcenie, pęknięcie, zerwanie, zniekształcenie przestrzenne, zużycie, zatarcie, rozregulowanie, poluzowanie, korozja, spalanie, wyłączenie, zwarcie i inne.

Na rysunku 5 pokazano rzeczywiste, eksploatacyjne pęknięcia zmęczeniowe łopatek sprężarki i turbiny turbinowych (lotniczych) silników odrzutowych.

Literatura

- [1] Brown, R., *V-22 obsolescence verification and analysis process*. Conference on Aging Aircraft, Atlanta (USA), 2006.
- [2] Caldwell, J. A., Caldwell, J. L., *Fatigue in aviation*. ASHGATE, Burlington, 2003.
- [3] Fiorino, F., *Wing failure in spotlight*, AW&ST June 4, 2007.
- [4] Huff, J., *Flight desk windshields*, AERO Boeing No 17, 2002.
- [5] Kłysz, S., *Analiza inicjacji pęknięć zmęczeniowych w łopacie sprężarki silnika lotniczego*, [w] Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej pod redakcją J. Lewitowicza, J. Manerowskiego, Z. Żmudzińskiego. R. 9. T. 4. Wyd. ITWL, Warszawa, 1999.
- [6] Lewitowicz, J., *Podstawy eksploatacji statków powietrznych – statek powietrzny i elementy teorii*. T. 1. Wyd. ITWL, Warszawa 2001.
- [7] Lewitowicz, J. i inni, *Podstawy eksploatacji statków powietrznych – systemy eksploatacji statków powietrznych*, T. 3. Wyd. ITWL, Warszawa, 2006.
- [8] Lewitowicz, J., Kustroń, K., *Podstawy eksploatacji statków powietrznych – własności i właściwości eksploatacyjne statku powietrznego*, T. 2. Wyd. ITWL, Warszawa, 2003.
- [9] Lewitowicz, J. i inni, *Podstawy eksploatacji statków powietrznych – badania eksploatacyjne statków powietrznych*, T. 4. Wyd. ITWL, Warszawa, 2007 (w druku).
- [10] Macarthur, J., *Catastrophic corrosion*, [w] Air disaster. V. 4. Aerospace Publ. Pty Ltd., Fyshwick, (Australia) 2001..
- [11] Szala, J., *Zmęczeniowe pękanie materiałów i konstrukcji – rozwój nauki i zastosowań praktycznych*, ZEM 2(126), 2001.
- [12] Szczepanik, R., Witoś, M., *Monitorowanie stanu technicznego turbinowych silników lotniczych*, Prace Naukowe ITWL Z. 10, 2000.
- [13] Zboiński, M., *Badanie struktury jakościowej i ilościowej zanieczyszczeń w układach hydraulicznych i ich wpływ na trwałość*, [w] Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej pod redakcją J. Lewitowicza, L. Lorocho, J. Manerowskiego. R. 13. T. 6. Wyd. ITWL, Warszawa, 2006.