

Uszkodzenia sieci elektrycznych statków powietrznych

W artykule omówiono charakterystyczne rodzaje i przyczyny uszkodzeń elementów sieci elektrycznej statków powietrznych. W ostatnich latach siły powietrzne oraz linie lotnicze różnych krajów zdecydowały się, przede wszystkim z powodów ekonomicznych, na przedłużenie okresu eksploatacji statków powietrznych. Stały wtedy przed problemem częstych uszkodzeń różnych podsystemów, m.in. instalacji elektrycznych, starzejących się samolotów i śmigłowców. Znajomość rodzajów i przyczyn uszkodzeń sieci elektrycznej ułatwia prawidłową ocenę jej stanu technicznego, wykrycie i zlokalizowanie niesprawności oraz ich usunięcie w odpowiednim czasie. Wykrycie i usunięcie uszkodzeń przewodów elektrycznych zabiera personelowi służby inżynierjno-lotniczej znacznie więcej czasu, niż wykrycie i usunięcie niesprawności pozostałego wyposażenia elektronicznego i elektrycznego. Personel SIL musi więc mieć świadomość problemów, jakie trzeba będzie rozwiązywać, oraz powinien zwracać szczególną uwagę na działania profilaktyczne podczas eksploatacji sieci elektrycznych.

Sieć elektryczna jest podstawowym elementem układu przesyłowo-rozdzielczego energii elektrycznej statku powietrznego. Tworzą ją głównie przewody pojedyncze z końcówkami zaciskowymi oraz przewody zgrupowane w wiązkach, zakończonych złączami wtykowymi, którymi energia elektryczna przesyłana jest do poszczególnych odbiorników podłączonych do instalacji elektrycznej.

Instalację elektryczną stanowi zespół maszyn, urządzeń, aparatury i przewodów, przeznaczonych do wytwarzania, regulowania, przesyłania i rozdzielania energii elektrycznej na statku powietrznym, sterowania pracą poszczególnych źródeł i odbiorników oraz zabezpieczenia urządzeń przed zwarciami i przeciążeniami.

Elementy instalacji elektrycznej statku powietrznego dzielą się na:

❶ źródła i przetworniki energii elektrycznej wraz z aparaturą regulacyjno-zabezpieczającą,

❷ układ przesyłowo-rozdzielczy energii elektrycznej.

Do pierwszej grupy należą:

- prądnice prądu stałego i przemiennego,
- chemiczne źródła prądu,
- prostowniki,
- transformatory,

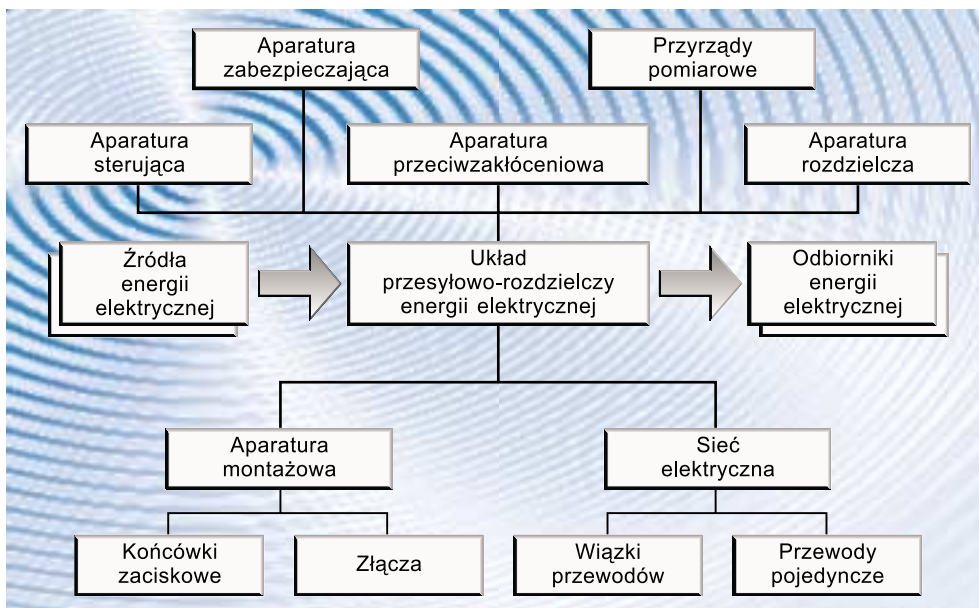
- regulatory napięcia i częstotliwości,
- aparatura zabezpieczająca prądnice przed przeciążeniem,
- układy zapewniające automatyczny rozdział obciążenia czynnego i biernego między równolegle pracujące prądnice.

Do grupy drugiej zalicza się:

- pokładową sieć elektryczną (przewody oraz wiązki przewodów elektrycznych),
- aparaturę zabezpieczającą (bezpieczniki zwykłe, wyłączniki samoczynne),
- aparaturę sterującą (wyłączniki, przełączniki, przyciski, styczniki, przekaźniki),
- przyrządy kontrolno-pomiarowe (woltomierze, amperomierze),
- aparaturę przeciwzakłóceńową (filtry i ekrany elektryczne, metalizacja, uziemienie),
- aparaturę montażową (złącza, płytki zaciskowe, tablice rozdzielcze, pulpity elektryczne).

Na pokładach statków powietrznych montuje się instalacje elektryczne prądu stałego o napięciu 28 V, instalacje elektryczne prądu przemiennego – jednofazowe o napięciach 26 V, 115 V oraz trójfazowe o napięciach 36 V, 208 V i o częstotliwości 400 Hz.

Sieć elektryczna na statkach powietrznych może być czteroprzewodowa, trójprzewodowa, dwuprzewodowa i jednoprzewodowa.



Instalacja elektryczna statku powietrznego

W sieci dwuprzewodowej przewody plusowy lub/i fazowy oraz minusowy lub/i zerowy źródeł energii elektrycznej, są przyłączane do każdego odbiornika. W sieci jedнопrzewodowej do odbiorników doprowadzony jest jedynie przewód plusowy lub fazowy.

Jako przewód minusowy i zerowy wykorzystuje się metalową konstrukcję statku powietrznego, która razem z obudową urządzeń elektronicznych i elektrycznych, opłotem metalowym przewodów ekranowanych oraz przewodami metalowymi lub ekranowanymi instalacji hydraulicznej, paliwowej, olejowej, itp. stanowi wspólną masę elektryczną. Sieć elektryczna trójprzewodowa i czteroprzewodowa jest wykorzystywana do rozsyłania energii prądu przemiennego.

Sieć elektryczna jest również częścią instalacji i systemów, których zwyczajowo nie zalicza się do urządzeń elektrycznych, np. instalacji paliwowej i hydraulicznej, systemu sterowania lotem, systemu sterowania uzbrojeniem. Wówczas, oprócz funkcji zasilania, sieć elektryczna pełni funkcję przesyłania informacji i sygnałów sterujących pomiędzy różnymi elementami systemów, podsystemów i instalacji statku powietrznego. Z tego powo-

du całkowita długość przewodów oraz liczba złączy elektrycznych jest trudna do oszacowania. Na podstawie publikacji lotniczych oraz dokumentacji technicznej różnych samolotów można przyjąć, że średnia długość przewodów elektrycznych w samolocie bojowym wynosi 17,5 km, a w samolocie transportowym ok. 240 km. Na przykład w samolocie wojskowym *Boeing VC-25A (B 747-200C)* długość przewodów elektrycznych wynosi ponad 380 km i jest dwa razy większa w porównaniu z długością przewodów elektrycznych w typowym samolocie komunikacyjnym *B 747*.

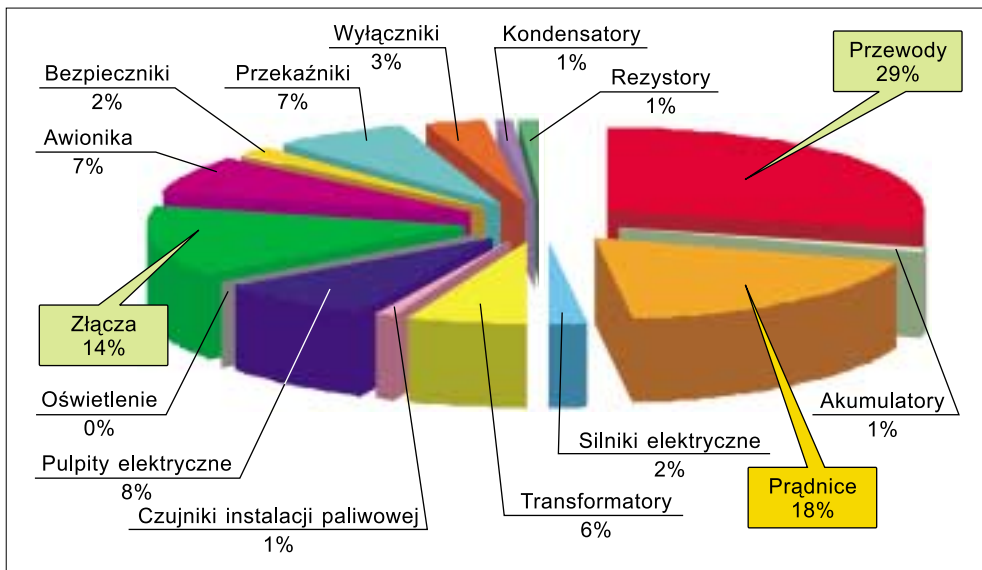
Właściwa eksploatacja sieci elektrycznej polega na zapobieganiu jej uszkodzeniom podczas pracy naziemnych lub pokładowych źródeł zasilania, a przede wszystkim podczas lotu samolotu lub śmigłowca. Uszkodzenia¹ elementów sieci elektrycznej związane są z przerwaniem lub ograniczeniem zasilania. Ponieważ występują z reguły niespodziewanie i często w miejscach trudnych do prze-

¹ Uszkodzenie – utrata fizycznych właściwości lub właściwości elementu konstrukcyjnego lub zdarzenie polegające na przejściu struktury technicznej elementu ze stanu zdadności do stanu niezdatności.

widzenia, mogą doprowadzić do uszkodzenia statku powietrznego; bywa też, że personel odpowiedzialny za eksploatację instalacji elektrycznych miewa trudności z odszukaniem miejsca uszkodzenia. Znajomość rodzajów i przyczyn uszkodzeń sieci elektrycznej umożliwia szybkie zlokalizowanie niesprawności czy uszkodzenia oraz ich usunięcie w odpowiednim czasie. Wykrycie miejsca uszkodzenia sieci elektrycznej zajmuje personelowi technicznemu zazwyczaj 10 - 15 razy więcej czasu, niż rozwiązanie tego samego problemu w przypadku bloków elektronicznych lub elektrycznych. Personel eksploatujący sieć elektryczną musi znać metody postępowania podczas wyszukiwania miejsc uszkodzeń. Potrzebuje do tego odpowiedniego sprzętu diagnostycznego, ale też musi wykazywać się wysokimi umiejętnościami i być doświadczonym – dotyczy to zwłaszcza specjalistów osprzętu, urządzeń radioelektrycznych i uzbrojenia. Najlep-

szym rozwiązaniem byłyby zastosowanie takich materiałów oraz procedur eksploatacyjnych, które zapobiegałyby niespodziewanym uszkodzeniom sieci elektrycznej. Obecnie prowadzona jest jedynie działalność profilaktyczna, która, niestety, nie eliminuje całkowicie niesprawności; te wciąż występują – dotyczy to głównie izolacji przewodów i złączy elektrycznych.

Spośród wszystkich elementów układu przesyłowo-rozdzielczego energii elektrycznej przewody i złącza elektryczne stanowią jedno z najsłabszych ogniw. Potwierdzają to dane statystyczne uszkodzeń. Z danych tych wynika, że w grupie wyposażenia elektronicznego i elektrycznego, największy wpływ na wypadki lotnicze w Siłach Powietrznych USA mają niesprawności przewodów i złączy elektrycznych; stanowią 43% ogółu niesprawności. W ostatnich dziesięciu latach w wyniku uszkodzenia tych elementów zaistniało 271 wypadków lotniczych².



Udział procentowy uszkodzeń elementów w zbiorze uszkodzeń awioniki i urządzeń elektrycznych zakwalifikowanych do grupy wypadków lotniczych w Siłach Powietrznych USA w latach 1989 - 1999

Źródło: G. Slenski, J. Kuźniar: *Wire Integrity Field Survey of USAF Legacy Aircraft*. NATO R&T Organization Symposium on Aging Mechanisms & Control. Manchester 2001.

² G. Slenski, J. Kuźniar: *Wire Integrity Field Survey of USAF Legacy Aircraft*. NATO R&T Organization Symposium on Aging Mechanisms & Control. Manchester 2001.

Rodzaje uszkodzeń sieci elektrycznych statków powietrznych

Funkcjonalny obwód sieci elektrycznej można podzielić na odcinki składające się z przewodu i pary elementów montażowych, którymi zazwyczaj są końcówki zaciskowe lub/i złącza wtykowe.

Przewód elektryczny składa się z żyły oraz warstw izolacji. Przewody ekranowane dodatkowo mają oplot ekranujący i osłonę zewnętrzną. Pomimo tak solidnej budowy i wykonania, przewody elektryczne oraz ich końcówki zaciskowe, a także elementy złączy wtykowych ulegają uszkodzeniom, które mogą mieć różny charakter. Uszkodzenia złączy są podobne do uszkodzeń występujących w przewodach elektrycznych. Jest to wynikiem funkcji, jakie spełniają złącza w sieci elektrycznej, a także zastosowania podobnych materiałów do budowy części przewodzących prąd elektryczny oraz izolacji.

Najczęstsze uszkodzenia odcinka sieci elektrycznej to przerwanie ciągłości obwodu elektrycznego oraz zwarcie.

Uszkodzenia odcinków sieci elektrycznej można podzielić na proste i złożone.

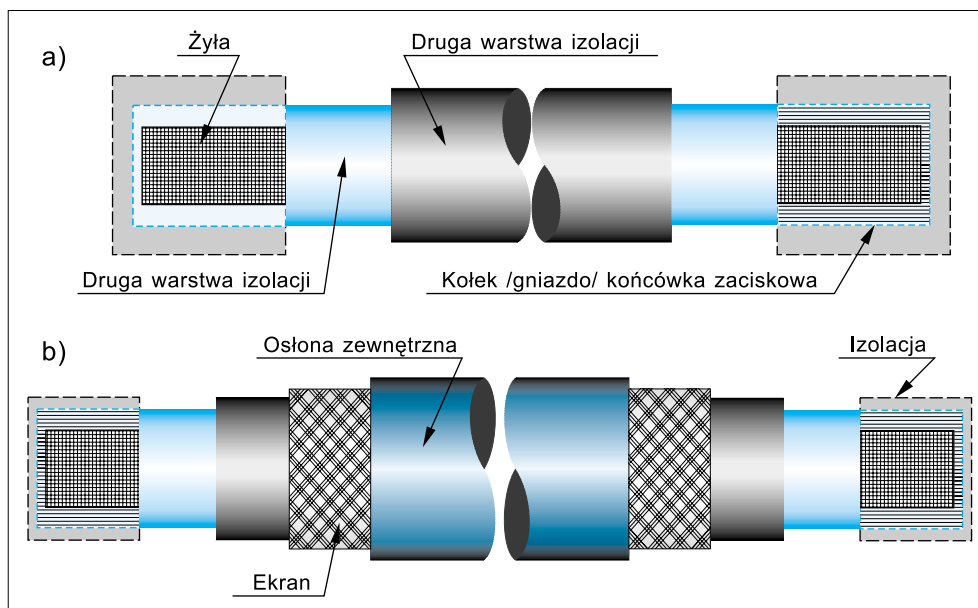
Uszkodzenia proste to:

- przerwanie ciągłości części przewodzącej (żyła i kołki/gniazda/końcówki zaciskowe),
- przebicie izolacji do masy,
- przebicie izolacji między odcinkami sieci elektrycznej.

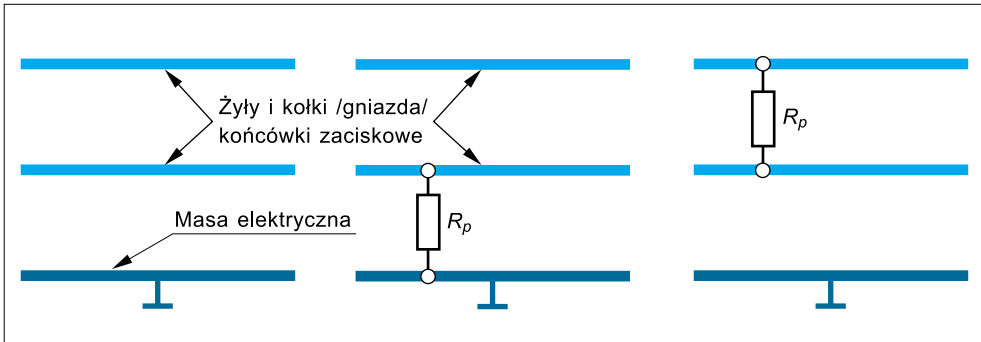
Uszkodzenie proste polega na wystąpieniu tylko jednego spośród wymienionych uszkodzeń.

Uszkodzenie proste polegające na przerwaniu ciągłości przewodzącego odcinka sieci elektrycznej może wstąpić w formie:

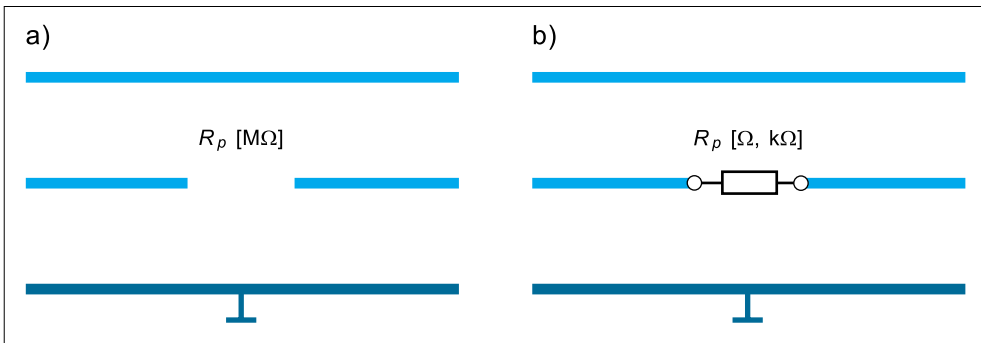
- przerwy zupełnej – gdy końce przerwanego odcinka sieci elektrycznej nie są ze sobą połączone (np. przerwanie żyły, oberwanie żyły w złączu wtykowym),
- przerwy niezupełnej – przerwa z podłużną rezystancją przejścia R_p , gdy końce przerwanej części przewodzącej są ze sobą połączone przez stosunkowo dużą rezystancję (np. przez zwęgloną izolację przewodu, „zimny lut” pomiędzy odcinkami żył lub żyłą i złączem).



Schemat odcinka sieci elektrycznej składającego się z elementów złączy i jednożyłowego przewodu elektrycznego: a) z podwójną izolacją; b) osłoniętego, ekranowanego z podwójną izolacją



Proste uszkodzenia odcinka sieci elektrycznej: a) przerwanie ciągłości; b) przebicie izolacji do masy; c) przebicie izolacji między odcinkami sieci elektrycznej

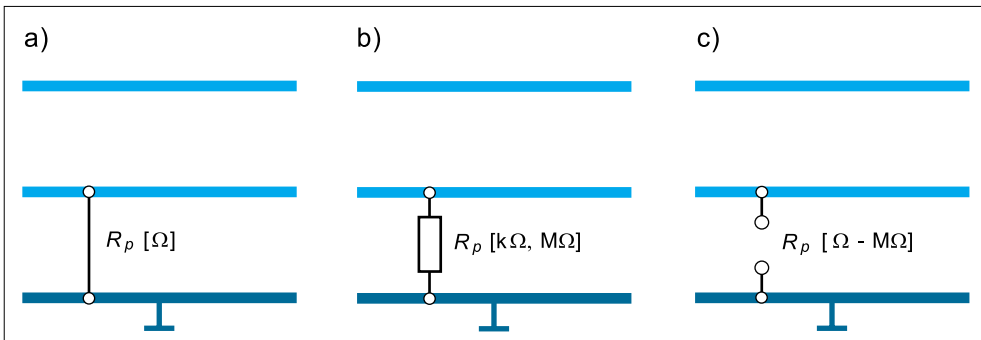


Uszkodzenia proste polegające na przerwaniu odcinka sieci elektrycznej: a) przerwa zupełna; b) przerwa niezupełna – przerwa z podłużną rezystancją przejścia

Wśród uszkodzeń prostych polegających na przebiciu izolacji wyróżnia się:

- przebicie zupełne (zwarcie) – gdy rezystancja przejścia w miejscu przebicia jest bliska zera ($R_p \approx 0$),

- przebicie niezupełne – gdy rezystancja przejścia w miejscu przebicia jest znaczna (rzędu $k\Omega$ lub nawet $M\Omega$),
- przebicie zanikające (przemijające) – gdy miejsce uszkodzenia znajduje się w śródo-



Uszkodzenia proste polegające na przebiciu izolacji: a) przebicie zupełne; b) przebicie niezupełne; c) przebicie zanikające (przemijające)

wisku o zmieniającej się rezystancji przejścia (rzędu od Ω do $M\Omega$), np. najpierw w środowisku o dużej wilgotności, a następnie w suchym powietrzu.

Uszkodzenie złożone polega na wystąpieniu kilku uszkodzeń prostych w jednym lub kilku miejscach odcinka sieci elektrycznej. Jako przykłady uszkodzeń złożonych można wymienić:

- przerwanie ciągłości odcinka sieci elektrycznej z jednoczesnym połączeniem z masą jednego lub obu odcinków żyły,
- zwarcie z częściowym nadtopieniem żyły,
- przebicie izolacji do masy w kilku miejscach, np. w przewodzie i w złączu elektrycznym,
- przebicie izolacji dwóch sąsiednich odcinków sieci elektrycznej do masy,
- przebicie izolacji między odcinkami sieci elektrycznej z jednoczesnym połączeniem żył z masą.

W wypadkach uszkodzeń złożonych, które dotyczą przede wszystkim wiązek elektrycznych, może istnieć kilkanaście przerw w ciągłości części przewodzącej i kilkanaście uszkodzeń izolacji odcinków sieci elektrycznej. Trudno wymienić wszystkie uszkodzenia złożone, bardziej celowe wydaje się zwrócić uwagę na przyczyny występowania tego rodzaju uszkodzeń.

Przyczyny uszkodzeń sieci elektrycznych statków powietrznych

Główne przyczyny uszkodzeń elementów sieci elektrycznej można usystematyzować w następujący sposób:

- ① wewnętrzne, wynikające z funkcji, jakie pełnią elementy sieci:
 - a) elektryczne (zmiana natężenia lub napięcia prądu, cykliczność lub długotrwałość pracy),
- ② zewnętrzne, wynikające z pracy w zmieniającym się środowisku:
 - a) pochodzenia naturalnego:
 - klimatyczne (wilgotność, temperatura, ciśnienie, promieniowanie słoneczne),

- biologiczne (gryzonie, owady, pleśń),
- chemiczne (zanieczyszczenie powietrza chemicznie aktywnymi gazami i parami),

b) pochodzenia sztucznego:

- mechaniczne (naprężenia, przyspieszenia, udary, drgania, wibracje, hałas),
- chemiczne i elektrochemiczne (zanieczyszczenie chemicznie aktywnymi płynami),
- cieplne (nagrzewanie poprzez konwekcję),
- wynikające z działalności człowieka:
 - błędy konstrukcyjne, produkcyjne i materiałowe (niewłaściwe zabezpieczenie sieci przed przepięciami i przeciążeniami, wady ukryte zarówno w elementach i materiałach użytych do produkcji, jak i wprowadzonych w czasie procesu technologicznego),
 - błędy montażowe (nieprawidłowe ułożenie, zamocowanie, zabezpieczenie),
 - eksploatacyjne (niewłaściwe użytkowanie i obsługa).

Zdarza się, że uszkodzenia są następstwem wielu przyczyn występujących jednocześnie lub kolejno. Najczęstsze przyczyny uszkodzeń to:

- naturalne zużycie wskutek zachodzących w materiałach przewodzących prąd elektryczny i izolacyjnych różnych procesów starzeniowych: fizycznych, chemicznych, fizykochemicznych i innych,
- oddziaływanie innych elementów wyposażenia lub elementów konstrukcyjnych statku powietrznego, których uszkodzenie lub działanie wywiera wpływ na działanie elementów sieci elektrycznej,
- niewłaściwe zabezpieczenie elementów sieci elektrycznej przed wpływem zewnętrznych warunków środowiskowych.

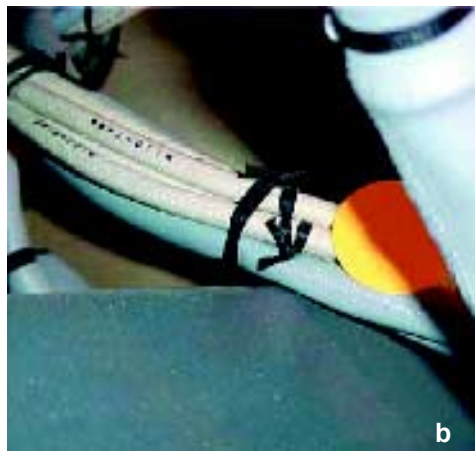
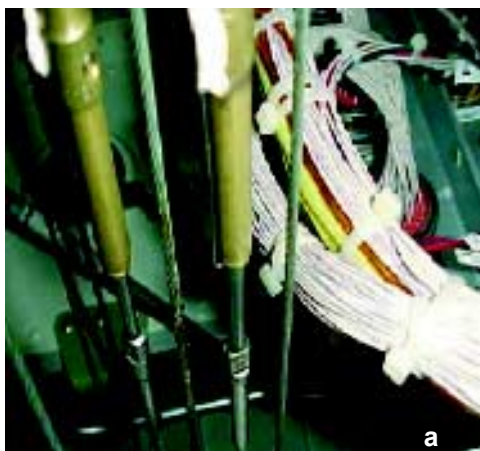
Każda z tych przyczyn może spowodować jedno uszkodzenie lub grupę uszkodzeń elementów sieci elektrycznej i takie grupy uszkodzeń można rozpatrywać łącznie.

Z analizy niesprawności statków powietrznych oraz z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że większość uszkodzeń sieci elektrycznych, powodujących awarie lotnicze, jest wywołana przyczynami mechanicznymi i klimatycznymi: błędami montażowymi lub eksploatacyjnymi oraz zawilgoceniem izolacji przewodów i złączy elektrycznych. Uszkodzenia te mają charakter zwarcia przewodu elektrycznego z kadłubem, blokami elektronicznymi, elektrycznymi lub metalowymi i ekranowanymi przewodami hydraulicznymi, przy czym często bywa tak, że nadpaleniu ulegają oba przewody w miejscu uszkodzenia.

Błędy montażowe polegają na niewłaściwym łączeniu żył przewodów do złączy wtykowych oraz końcówek zaciskowych (połączenie na tzw. „zimny lut”, przegrzanie żyły i izolacji podczas lutowania, luźne lub uszkodzone druty w linkach w miejscu połączeń zaciskowych) oraz na nieprawidłowym prowadzeniu i ułożeniu przewodów. Nieprawidłowe ułożenie przewodów elektrycznych powoduje, że podczas drgań kadłuba oraz pod wpływem przeciążeń, na skutek zbyt ostrego zginania lub braku eksploatacyjnego zapasu długości, w przewodzie elektrycznym powstają naprężenia mechaniczne ściskające, zginające lub rozciągające, które są przyczyną prze-

sunięcia warstw izolacji względem żyły, pęknięć i otarć izolacji, przerwania żyły lub też urwania całego przewodu elektrycznego – szczególnie w przypadku przewodów elektrycznych o twardej izolacji. Do wewnętrznego zerwania przewodów dochodzi najczęściej w miejscach zamocowania żyły do końcówki zaciskowej lub do złącza wtykowego.

Do mechanicznych uszkodzeń elementów sieci elektrycznej dochodzi również w wyniku nieodpowiedniego wykonywania czynności obsługi, np. wykorzystywania wiązki przewodów jako uchwyt, ocierania wiązek przewodów o bloki elektroniczne podczas ich demontażu i wymiany, szarpania, zginania oraz wciskania wiązki przewodów podczas odkręcania i zakręcania złączy wtykowych, przypadkowego rozerwania pokrowców ochronnych lub przecięcia izolacji. W efekcie uszkodzenia izolacji wilgoć przenika do żyły przewodu elektrycznego, co zmniejsza wytrzymałość elektryczną izolacji. Często przyczyną zawilgocenia izolacji jest niedbały montaż ochronnych pokrowców wiązek elektrycznych. Wilgoć, gdy przedostanie się do wnętrza wiązki elektrycznej, może przeniknąć na długość kilku metrów wskutek np. pochylego ułożenia przewodów elektrycznych.



Przykłady nieprawidłowego prowadzenia przewodów elektrycznych: a) w pobliżu linki sterowniczej; b) w pobliżu kadłuba

Źródło: *FAA aging transport non-structural system plan*. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 1998.



Przykłady degradacji izolacji przewodów elektrycznych: a) rozwarstwienia cieplne izolacji; b) erozja izolacji
 Źródło: G. Slenski, J. Kuźniar: *Wire Integrity Field Survey of USAF Legacy Aircraft*. NATO R&T Organization Symposium on Aging Mechanisms & Control. Manchester 2001 (a); *FAA aging transport non-structural system plan*. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 1998 (b).

Konsekwencją niedokładnego połączenia żył może być nagrzewanie się i degradacja³ izolacji.

Niewłaściwe zabezpieczenie instalacji elektrycznej przed przepięciami może spowodować częściowe przebicia izolacji. Jeśli izolacja przewodu elektrycznego jest osłabiona w wyniku erozji,⁴ pęknięć lub wyładowań niezupełnych, to przepięcie o stosunkowo niedużej wartości może spowodować przebicie izolacji. Niewłaściwe zabezpieczenie sieci przed przeciążeniami zaś może spowodować przegrzanie izolacji wskutek obciążenia żyły prądem roboczym przekraczającym wartość znamionową lub prądem zwarciovym. Przegrzanie przewodu powoduje stopniowy rozkład materiału izolacji – erozję lub zwęglanie się (w zależności od materiału, z jakiego wykonana jest izolacja), co zmniejsza jej wytrzymałość elektryczną. Erozja materiału izolacji związana jest z wydzielaniem się pęcherzyków gazów, w których rozwijają się wyładowania niezupełne. Pęcherzyki gazowe powsta-

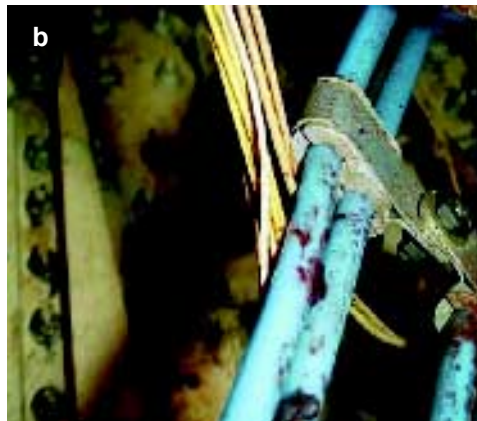
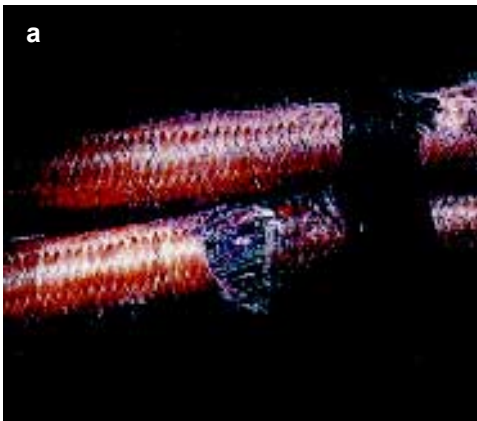
ją również wskutek rozszerzenia się warstwy izolacyjnej podczas okresowego nagrzewania się przewodu elektrycznego pod wpływem przepływającego prądu lub w wyniku konwekcji od sąsiednich źródeł ciepła. Po ochłodzeniu się przewodu elektrycznego warstwy izolacyjne i żyła, mające różne współczynniki temperaturowe rozszerzalności objętościowej, powracają do pierwotnych wymiarów w różnym czasie, co powoduje powstawanie szczelin gazowych w izolacji.

Nagrzewanie się przewodów podlega ograniczeniom określanym wartościami maksymalnej temperatury. Wartości te uwzględniają niekorzystny wpływ przegrzania na wytrzymałość mechaniczną żyły przewodu i stan izolacji. Pod wpływem wysokiej temperatury, zmniejsza się twardość żył przewodów i ich wytrzymałość na zerwanie oraz wzrasta prędkość procesu starzenia⁵ się izolacji przewodu. Szkodliwość nadmiernego nagrzewania się izolacji jest tym większa, im dłużej utrzymuje się wysoka temperatura.

³ Degradacja (destrukcja) – podstawowy czynnik powodujący powstawanie niesprawności i uszkodzeń struktury konstrukcyjnej i materiału, zainicjowany przez różnego rodzaju zewnętrzne lub wewnętrzne zjawiska fizyczne i chemiczne.

⁴ Erozja – powstawanie miejscowych ubytków materiału wskutek działania czynników zewnętrznych.

⁵ Starzenie – proces powolnego zużywania się potencjału eksploatacyjnego (zasobu pracy) urządzeń, elementów i materiałów.



Przykład chemicznego działania nafty i płynu hydraulicznego: a) uszkodzenie warstw izolacji z powodu chemicznego działania nafty; b) uszkodzenie warstw izolacji z powodu otarcia i chemicznego działania płynu hydraulicznego

Źródło: G. Slenski, J. Kuźniar: *Wire Integrity Field Survey of USAF Legacy Aircraft*. NATO R&T Organization Symposium on Aging Mechanisms & Control. Manchester 2001 (a); *FAA aging transport non-structural system plan*. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 1998 (b).

Na stan izolacji przewodów i złączy wtykowych wpływ wywiera też wilgotność powietrza – zmniejsza rezystancję izolacji $10^2 - 10^3$ razy w porównaniu z jej wartością normalną. Jest to wynikiem kondensowania się wilgoci w porach materiałów izolacyjnych i jednoczesnego rozpuszczania się mikroskopijnych cząsteczek różnych związków chemicznych, zwłaszcza soli morskiej, ale też tlenków siarki, azotu, węgla, wskutek czego na powierzchni izolacji tworzą się różne związki chemiczne, np. kwas węglowy. A zatem w porach materiałów izolacyjnych wilgoć nabiera własności elektrolitu, który jest dobrym przewodnikiem prądu.

Najbardziej niszcząco na izolację przewodów i złączy wtykowych oddziałują pary nafty, oleju i płynu hydraulicznego. W wyniku ich chemicznego działania powstają uszkodzenia lub pogarsza się stan izolacji. Zniszczenia te mają charakter stały i mogą w krótkim czasie doprowadzić do znacznego zwiększenia prądów upływowych, a następnie do zwarcia.

Znajomość przyczyn uszkodzeń, jak już wspomniałem, ułatwia dobranie odpowiedniej metody postępowania podczas montażu oraz eksploatacji przewodów i złączy elek-

trycznych. Należy przy tym pamiętać, że charakteru uszkodzenia nie można określić w sposób całkowicie pewny. Często bowiem dane uszkodzenie z upływem czasu przechodzi w inne, i to nieraz dość szybko. Wilgoć przedostająca się do miejsca uszkodzenia może spowodować, że przebicie niezupełne przejdzie w przebicie zupełne (zwarcie), przebicie zupełne zaś po wyschnięciu może przejść w niezupełne. Do tworzenia się pęknięć w izolacji może dochodzić lub ten proces może być przyspieszany pod wpływem wibracji lub drgań. Przerwa w żyłce lub złączu pod wpływem zawilgocenia może przejść w przerwę połączoną z przebiciem izolacji do masy lub sąsiedniego przewodu elektrycznego. Przebicie to będzie bardziej intensywne, jeżeli izolacja dodatkowo popęka wskutek zbyt wysokiej temperatury. Jednak intensywność przebicia może zmniejszyć się pod wpływem ciepła wydzielanego podczas długotrwałej pracy. Wzajemne zależności pomiędzy różnymi uszkodzeniami, występującymi jednocześnie lub kolejno, mają bardziej złożony charakter.

I choć wymieniłem tylko niektóre przyczyny uszkodzeń, widać, że eksploatacja instalacji elektrycznych statków powietrznych

wymaga bacznej uwagi personelu służby inżynieryjno-lotniczej, zwłaszcza w przypadku starzejących się statków powietrznych, w warunkach podwyższonej wilgotności oraz podwyższonej lub obniżonej temperatury. We właściwym czasie powinny być wykonywane czynności profilaktyczne polegające na usuwaniu wilgoci, pyłu, brudu, nafty, oleju lub smaru z elementów sieci elektrycznej, a także powinny być kontrolowane stan techniczny i mocowanie pojedynczych przewodów i wiązek przewodów elektrycznych oraz pewność dokręcenia złączy wtykowych. Po długotrwałym postoju statku powietrznego – jeżeli pozwalają na to warunki atmosferyczne – całe wyposażenie elektryczne powinno być przewietrzone i wysuszone.

Bibliografia

1. Andersen D.: *Aging airplane systems*. The Boeing Company. „Aero” 1999, nr 7.
2. *FAA aging transport non-structural systems plan*. U. S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 1998.
3. Lewitowicz J.: *Podstawy eksploatacji statków powietrznych. Statek powietrzny i elementy teorii*. Wydawnictwo ITWL, Warszawa 2001.
4. Norma obronna NO-15-A201. *Wojskowe statki powietrzne. Przewody izolowane. Wymagania i metody badań*.
5. RTO-EN-14. *Aging Engines, Avionics, Subsystems and Helicopters*. RTO/NATO lectures series 218, 2000.
6. Slenski G., Kuzniar J.: *Wire Integrity Field Survey of USAF Legacy Aircraft*. NATO R&T Organization Symposium on Aging Mechanisms & Control, Manchester 2001.
7. Szczerski R.: *Lokalizacja uszkodzeń kabli i wybrane badania eksploatacyjne linii kablowych*. WNT, Warszawa 1999.

In the article there are described the most characteristic damages that occur in the wire systems in aircraft, and their causes. According to the author, detection and repair of faults of electric wires takes more time than detection of faults in electric and electronic appliances aboard.



Zatoka Perska, 1 kwietnia 2003 r. Uzbrajanie myśliwca F/A-18F Super Hornet z dywizjonu VFA-41 „Black Aces” na pokładzie lotniskowca USS Abraham Lincoln (CVN 72). Fot. Photographer’s Mate 3rd Class Philip A. McDaniel / US NAVY