AN ICING OF AIRCRAFT – REASONS, CONSEQUENCES, COUNTERACTION

OBLODZENIE STATKU POWIETRZNEGO – PRZYCZYNY, SKUTKI, PRZECIWDZIAŁANIE

Andrzej Gębura, Kazimierz Janusiak, Michał Poradowski

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Poland

e-mail. andrzej.gebura@itwl.pl

Abstract: *The article presents reasons of an helicopter's icing as well as an aircraft's icing. The main attention is addressed a counteraction of an icing. Authors divide the problem into two groups: an icing of an airframe – mostly lifting surfaces, an icing of engines. According to authors reasons, an extension (first of all) consequences of airframe's icing considerably differ from seemingly similar events in an engine. The considerable attention is concentrated on a counteraction of consequences of an icing during the flight. The most complicated icing refers to helicopters, considering their particular aerodynamics characteristics. The authors dedicated is greater attention. Results reached during investigations of heating rotor blades in ITWL are presented.*

Keywords: *an icing of lifting surfaces, resublimation of a steam, heat section of rotor blades, an antiicing electric heating.*

Streszczenie: *Artykuł omawia przyczyny oblodzenia zarówno śmigłowców jak i samolotów. Główna uwaga skierowana jest na przeciwdziałanie negatywnym warunkom oblodzenia. Autorzy dzielą zagadnienie na dwie grupy: oblodzenie płatowca – głównie powierzchni nośnych oraz oblodzenie silników. Ich zdaniem przyczyny, rozwój i (przede wszystkim) skutki oblodzenia płatowca różnią się znacznie od pozornie podobnych zjawisk w silniku. Rozważania zostały skupione na przeciwdziałaniu skutkom oblodzenia w czasie lotu. Najbardziej skomplikowany proces oblodzenia dotyczy śmigłowców, z uwagi na ich szczególne cechy aerodynamiczne. Dlatego też autorzy poświęcili śmigłowcom proporcjonalnie więcej uwagi. Przedstawiono istotne elementy poznawcze osiągnięte podczas badań sekcji grzejnych łopatek nośnych wykonywanych w ITWL.*

Słowa kluczowe: *oblodzenie statków powietrznych, resublimacja pary wodnej, elektryczne ogrzewanie przeciwooblodzeniowe, sekcje grzejne łopatek nośnych, kolektor elektryczny, oblodzenie wlotów do silnika turbinowego.*

1. Wstęp

Zjawisko oblodzenia w życiu codziennym jest każdemu znane. W okresie jesienno-zimowym każdy z czytelników zetknął się z oszronieniem szyb samochodu lub powierzchni jezdni. Mechanizmy tego zjawiska nie do końca są znane, chociaż co roku przybywa na ich temat wiele istotnych prac naukowych. Wszyscy są zgodni, co do początkowej fazy procesu obladzania przygruntowego oraz osadzania się lodu na powierzchniach przedmiotów – powoduje je napływ wilgotnego i stosunkowo ciepłego powietrza nad zimne (np. wyziębione w czasie nocy) elementy terenu lub wyziębione przedmioty. Dla pojazdów naziemnych typu kołowego skutkuje to często wpadnięciem w poślizg, gdyż szron i lód pod naciskiem kół pojazdu przechodzi w ciekły stan skupienia, czyli wodę. Woda tworzy swoisty klin hydromechaniczny zmniejszając znacznie siły tarcia i przyczepność do podłoża. Zjawisko to może spowodować brak reakcji na elementy sterowania i nieoczekiwane dla kierowcy zetknięcie się z przedmiotami terenowymi.

W lotnictwie problem przyczyn i skutków oblodzenia jest bardziej skomplikowany. Nie podjęcie przeciwdziałania w początkowej fazie oblodzenia kończy się często katastrofą. Samo przemieszczenie się statku powietrznego pomiędzy frontami ciśnienia atmosferycznego (rys. 1) lub zmiana wysokości lotu powoduje, zwłaszcza w okresie wiosennym lub jesiennym, wchodzenie w strefy o zwiększonym ryzyku oblodzenia. Również lokalne zwiększenia i zmniejszenia ciśnienia powietrza wokół elementów płatowca statku powietrznego powoduje zwiększenie ryzyka przechodzenia pary wodnej w lód (resublimacja) [4]. Oblodzenie w lotnictwie szczególnie negatywnie wpływa na charakterystyki aerodynamiczne powierzchni nośnych oraz funkcjonowanie poszczególnych podzespołów śmigłowca. Na ziemi opóźnia rozpoczęcie startu statku powietrznego do momentu usunięcia lodu z najwrażliwszych elementów śmigłowca. Znacznie groźniejsze w skutkach szczególnie dla śmigłowców jest oblodzenie w czasie lotu. Może to powodować zwiększenie wibracji, zmniejszenie siły nośnej, zmniejszenie mocy, a nawet wyłączenia silników, co w skrajnym przypadku może grozić przymusowym, awaryjnym lądowaniem.

Kiedy 5 czerwca 1783 r. bracia Montgolfier dokonali pierwszego wzlotu balonem na wysokość około 1,8 m niewątpliwie nie zastanawiali się nad oblodzeniem. Intensywny rozwój tych lżejszych od powietrza maszyn wymusił loty także w okresie jesienno-zimowym, w tym w rejonach polarnych. Dnia 24 maja 1928 r. sterowiec „Italia” osiągnął Biegun Północny. Dzień później przeciążona na skutek oblodzenia maszyna spadła na lód, zginęło 8 osób z 16-osobowej załogi.

Ogólnie biorąc środki przeciwdziałania oblodzeniu są sprowadzane do kilku procedur:

- omijanie rejonów o dużym prawdopodobieństwie oblodzenia;
- utrzymywanie wysokości toru lotu możliwie daleko od tzw. izoterm zero [7] oraz minimalizowanie czasu przebywania na poziomie tej izoterm w czasie wznoszenia lub opadania;

-
- The diagram illustrates a warm front system. A dashed purple line represents the 0° isotherm. To the left of this line is the 'Sektor ciepły' (warm sector), and to the right is the 'Sektor chłodny' (cold sector). A purple line indicates the slope of the warm front. Clouds are shown in layers: 'Nimbostratus' at the top, followed by 'Ciepły front atmosferyczny' (warm atmospheric front). Precipitation is shown as 'Ciągły, umiarkowany opad przechłodzonego deszczu' (continuous, moderate cold rain). An airplane is depicted flying through the precipitation. The ground is shown as a green silhouette at the bottom.

W historii lotnictwa, w większości wypadków lotniczych spowodowanych oblodzeniem winę ponosiła zbyt późna reakcji załogi. Nie w porę użyta instalacja przeciwoblozeniowa może być już nieskuteczna, albo przynieść niekiedy gorszy efekt, niż zaniechanie jej użycia [7]. W związku z tym bardzo istotne jest odpowiednio wczesne rozpoznanie warunków sprzyjających oblodzeniu na trasie lotu danego statku powietrznego – do tego służą:

- ## 2. Czujniki oblodzenia

Izotopowy sygnalizator oblodzenia

59

Podstawowymi elementami czujnika są: źródło radioaktywne z podgrzewaczem. Oblodzeniu towarzyszy zwiększenie rezystancji licznika. Gdy warstwa lodu osiągnie – grubość 0,4 mm, włącza się blok sterowania, uruchamiający ogrzewacz źródła radioaktywanego. Po stopnieniu lodu ogrzewacz zostaje wyłączony.

Detektor lodu Teddington’a – wizualna metoda wykrywania oblodzenia

Jest to niewielki pręt o przekroju poprzecznym w kształcie profilu lotniczego. Znajduje się on na zewnątrz kabiny w miejscu widocznym dla pilota. U podstawy detektora znajduje się lampka podświetlająca, którą można włączać z kokpitu. Podczas lotu w warunkach oblodzenia na detektorze odkłada się warstwa lodu (analogicznie jak na skrzydle). Pilot widząc warstwę lodu na detektorze wie, że znajduje się w warunkach oblodzenia. Pręt jest podgrzewany (włącznik w kabinie) w celu usunięcia powstałej warstwy lodu.

Sonda Smith’a – ciśnieniowa metoda wykrywania oblodzenia

Sonda Smith’a to rurka o przekroju kołowym z otworami na jednym z jej końców. Sonda znajduje się na zewnątrz (jest wystawiona na opływ powietrza). Powstające oblodzenie powoduje zablokowanie otworów znajdujących się w czołowej części rurki (otwory, na które naciera napływające powietrze). Powoduje to powstanie podciśnienia w otworach znajdujących się po przeciwnej stronie (otwory po stronie „spływu” strug powietrza z rurki). Wówczas czujnik podciśnienia przesyła informację do układu sygnalizacji oblodzenia w kokpicie.

Elektryczny Detektor Angielski (typu „Napier”)

W urządzeniu tym znajduje się niewielki wał, który wprawiany jest w obrót poprzez silnik elektryczny. W niewielkiej odległości od wału (około 0.5 mm) umieszczono nie poruszające się ostrze ścinające. Całość zamontowana jest w kadłubie samolotu w taki sposób, aby wał ustawiony był pod kątem prostym do napływu powietrza. W normalnych warunkach lotu do napędzania wału potrzebny jest stosunkowo niewielki moment obrotowy. W chwili powstawania oblodzenia lód odkłada się na wirującym wale. Gdy warstwa lodu będzie odpowiednio gruba, stacjonarne ostrze zacznie ścinać lód z wału. W tej sytuacji wymagany będzie większy moment obrotowy silnika. W wyniku reakcji obudowa silnika elektrycznego ulega niewielkiemu obrotowi (ze względu na sprężyste zamocowanie) zwierając mikroprzełącznik. Sygnał elektryczny z mikroprzełącznika podawany jest bezpośrednio do układu sygnalizacji w kabinie.

Detektor lodu typu Rosemount

To urządzenie składa się z krótkiego cylindrycznego pręta zamocowanego na wprowadzanej w drgania obudowie. Częstotliwość oscylacji układu wynosi około 35 kHz. Układ znajduje się na zewnątrz samolotu i jest ustawiony w strumieniu powietrza. Odkładający się na pręcie lód powoduje zwiększenie jego masy. Powodując zmniejszenie częstotliwości drgań. Gdy częstotliwość spadnie poniżej określonej wartości, zostaje załączony system sygnalizacji oblodzenia w kabinie.

3. Środki przeciwdziałania oblodzeniu

Środki przeciwdziałania można podzielić na bierne i czynne. **Bierne** to dbanie o czystość elementów aerodynamicznych – mycie i czyszczenie powierzchni oraz pokrywanie substancjami zmniejszającymi możliwość osadzania się lodu. W warunkach intensywnego obładzania środki te jednak nie wystarczają. Intensywne obładzanie profili czynnych aerodynamicznie zmniejsza wartość siły nośnej, co może doprowadzić do przeciągnięcia aerodynamicznego – czyli przekroczenia kątów krytycznych natarcia. Obłodzenie tuneli wlotowych silników napędowych może spowodować zmniejszenie wydatku powietrza, co skutkuje niestateczną pracą sprężarki, a nawet zgaśnięciem silnika [3]. Obłodzenie odbiornika ciśnień powietrza (OCP) może spowodować błędne wskazania przyrządów pokładowych (areometrycznych): prędkości i wysokości lotu oraz prędkości pionowej (wariometr). Obładzanie szyby pilota może uniemożliwić kontynuowanie lotu, zwłaszcza na małych wysokościach, gdzie łatwo jest o zderzenie z przedmiotami terenowymi.

Bardzo skutecznym, lecz zazwyczaj energochłonnym jest stosowanie metod **czynnych** do przeciwdziałania oblodzeniu. Do takich metod należą:

Ogrzewanie ciepłym powietrzem

Systemy ogrzewania płatowca ciepłym powietrzem są najczęściej spotykanymi układami w samolotach z napędem turbinowym oraz odrzutowym. Stosowane są do podgrzewania wszystkich najbardziej narażonych elementów płatowca, takich jak: krawędzie natarcia skrzydeł oraz stateczników, slotów oraz wlotów do silników (rys. 2).

Ciepłe powietrze uzyskiwane może być w dwojaki sposób:

- pobór powietrza z jednej ze sprężarek, znajdujących się w silniku turbinowym lub odrzutowym;
- ogrzewanie powietrza z otoczenia w wymienniku ciepła z wykorzystaniem gorących gazów spalinowych.

Rys. 2 Elementy płatowca ogrzewane za pomocą ciepłego powietrza.

Wewnątrz wszystkich ogrzewanych elementów płatowca poprowadzone są kanały, którymi przepływa ciepłe powietrze. Zadaniem tych systemów jest podgrzanie chronionych elementów do takiej temperatury, w jakiej oblodzenie nie będzie mogło się wytworzyć na ich powierzchniach.

Elektryczny system ogrzewania

W systemie tym do podgrzewania narażonych na oblodzenie elementów płatowca wykorzystywany jest prąd elektryczny. Do zasilania elementów grzewczych (rezystancyjnych) wykorzystywany jest przeważnie trójfazowy prąd zmienny. Rozwiązanie to najczęściej stosowane jest do ogrzewania stosunkowo niewielkich powierzchni ze względu na duże zapotrzebowanie na energię elektryczną. Elementy grzewcze wykonane są z metalowych taśm o wysokiej temperaturze topnienia: nichromu (Ni + Cr), konstantanu (Cu + Ni), fechry (Fe + Cr + Al.) i innych. Wokół nich są warstwy materiału izolacyjnego [5].

Pneumatyczny system odladzania

Sprężone powietrze zastosowane jest do odladzania krawędzi natarcia skrzydła i usterzenia poziomego oraz pionowego (rys. 3).

Rys. 3 Widok pneumatycznej nakładki montowanej na krawędzi natarcia skrzydła, usterzenia poziomego i pionowego w celu odlodzenia tych elementów.

Płyny przeciwooblodzeniowe

Płyny przeciwooblodzeniowe stosuje się zarówno na ziemi (przed startem) oraz w powietrzu (przed wejściem w warunki sprzyjające oblodzeniu). Na ziemi specjalny płyn nakładany jest poprzez spryskiwanie powierzchni samolotu przy użyciu urządzeń naziemnych. W powietrzu natomiast płyn dostarczany jest na chronioną powierzchnię za pomocą dysz o niewielkiej średnicy, znajdujących się na krawędziach natarcia samolotu lub w śmigłowcach na specjalnym kolektorze rozpylającym płyn na łopaty wirnika. Zasadniczą wadą tej metody jest zużycie płynu, czyli w znacznym stopniu ograniczony czas przebywania w warunkach oblodzenia.

Pozostałe systemy

Do pozostałych systemów instalacji przeciwooblodzeniowych należy zaliczyć:

- podgrzewanie odbiornika ciśnienia powietrza (OCP);
- podgrzewanie szyb samolotu.
- ogrzewanie pyło-filtrów;
- ogrzewanie zegarka pokładowego.

4. Ogrzewanie elektryczne łopat nośnych śmigłowca

Zdaniem autorów najskuteczniejszym sposobem na dzień dzisiejszy zabezpieczeniem przed oblodzeniem łopat śmigłowców jest ogrzewanie krawędzi natarcia łopat przy pomocy elementów grzejnych. Instalację taką mają w większości śmigłowce konstrukcji rosyjskiej (m.in. eksploatowane w Siłach Zbrojnych RP: Mi-2, Mi-8, Mi-17, Mi-14, Mi-24). Wariant z takim rozwiązaniem na specjalne zamówienie oferuje także firma Sikorski (rys. 4).

Rys. 4 Kolektor i przewody elektryczne instalacji ogrzewania łopat śmigłowca SH – 60B.

Energię elektryczną doprowadza się przewodami elektrycznymi przez drążony wał wirnika nośnego i przekazuje do segmentów grzejnych przy pomocy kolektora pierścieniowo-szczotkowego. W kolektorze elektrycznym znajdują się styczniki, które sterują załączaniem obwodów poszczególnych sekcji grzejnych łopat. Czas działania poszczególnych sekcji grzejnych oraz wartości natężenia prądu przedstawiono w Tabeli 1, powinien on być dobrany optymalnie: wystarczająco długo, aby stopić warstwę średnio intensywnego oblodzenia i jednocześnie wystarczająco krótko, aby nie doprowadzić do odklejenia elementów sekcji grzejnych od konstrukcji łopaty.

Tabela 1. Czas działania poszczególnych sekcji grzejnych oraz wartości natężenia prądu. [6]

Czas nagrzewania każdej sekcji wirnika nośnego	$38,5 \pm 2$ sek.
Czas chłodzenia każdej sekcji wirnika nośnego	$115,5 \pm 6$ sek.
Śmigło Ogonowe – czas nagrzewania i czas chłodzenia	$38,5 \pm 2$ sek.
Pobór prądu przez każdą sekcję grzewczą wirnika nośnego wynosi	$60 \div 72$ A
Pobór prądu przez sekcje grzejne śmigła ogonowego	$110 \div 150$ A

Zdaniem autorów energetycznie najkorzystniejsze jest zasilanie elementów grzejnych przez trójfazowy prąd pobierany z prądnicy trójfazowej. Takie prądnice są montowane na większości śmigłowców. W śmigłowcu Mi-17 każda łopata ma po cztery elementy grzejne w postaci taśm z materiałów oporowych (rys. 5) rozmieszczonych w pobliżu natarcia łopat w specjalnym pakiecie przechodzącym wzdłuż całej łopaty. Taśmy o nr 2, 3 znajdują się na nosku łopaty. Pakiet wykonany jest z kilku warstw tkaniny szklanej sklejonej klejem BF – 2. Na krawędzi natarcia rozpoczyna się zwykle narastanie warstwy oblodzenia, co narusza znacznie właściwości aerodynamiczne łopaty [7].

Rys. 5 Segmenty grzejne łopaty śmigłowca Mi-17.

1. – łopata; 2. – gniazdo elektryczne w łopacie; 3. – wtyki w gnieździe elektrycznym łopaty; 4. – taśma grzejna; 5. – taśma grzejna powrotna; 6. – numery sekcji grzejnych; 7. i 8. – listwy połączeniowe taśmy grzejne i powrotne.

Przy nasadowej części łopaty sekcje grzejne łączą się z elektrycznymi przewodami zasilającymi (rys. 6).

Rys. 6 Połączenie taśm grzejnych z przewodami zasilającymi.
Nasada łopaty Mi – 8/17.

1. – Taśma grzejna; 2. – Miejsce połączenia przewodów z blaszką łączącą taśmy grzejne; 3. – Elektryczne przewody do zasilania sekcji grzejnych; 4. – Element łączący taśmy grzejne; 5. – Widoczny pod warstwą izolacji duraluminiowy dźwigar łopaty; 6. – Dolna warstwa izolacji oddzielająca taśmy grzejne od dźwigara (5 warstw tkaniny z włókna szklanego).

W procesie badania metalograficznego otrzymano procentowy skład pierwiastków, z których wykonane są taśmy grzejne łopat śmigłowców Mi – 8 i 17. Otrzymane wartości zamieszczono w Tabeli 2. Udział masowy poszczególnych pierwiastków wskazuje, że jest to stal o strukturze austenitycznej. Stal tego typu posiada właściwości diamagnetyczne i antykorozyjne. Skład strukturalny jest zbliżony do składu stopu o nazwie fehra [5]. Powierzchnia taśm grzejnych pokryta jest warstwą Ag i/lub Cd o grubości od jednego do kilku mikrometrów.

Tabela 2 Skład chemiczny taśm grzejnych z łopat śmigłowca Mi – 8/17.

Pierwiastek	Próbka nr 1		Próbka nr 2		Próbka nr 3	
	Udział masowy [%]	σ	Udział masowy [%]	σ	Udział masowy [%]	σ
Si (Krzem)	0,54	0,05	0,8	0,3	0,6	0,1
Cr (chrom)	18,3	0,3	18,3	0,2	17,9	0,4
Mn (Mangan)	1,4	0,2	1,5	0,1	1,4	0,2
Fe (Żelazo)	71,5	0,1	71,0	0,3	71,2	0,7
Ni (Nikiel)	8,2	0,3	8,5	0,3	9,0	0,4

Śmigłowiec W-3 „Sokół” również ma segmenty grzejne łopat nośnych. Jednakże geometria ukształtowania tych elementów grzejnych jest odmienna (rys. 8). Wynika to częściowo prawdopodobnie z innej niż w Mi-17 struktury mechanicznej łopat. Łopaty śmigłowca W-3 są kompozytowe (rys. 7 oraz rys. 8), zaś Mi-17 metalowe.

Rys. 7 Zdjęcie profilu części przedniej łopaty ze śmigłowca W – 3.

Rys. 8 Przekrój poprzeczny łopaty śmigłowca W-3 „Sokół” – rysunek poglądowy.
1. – Okucie ze stali nierdzewnej; 2. – Osłona z gumy; 3. – Warstwy tkaniny z włókna szklanego przesyconego klejem tworzące pakiet izolacyjny sekcji grzewczych; 4. – Taśma sekcji grzejnej; 5. – Metalowa siatka, spełniająca rolę masy elektrycznej łopaty; 6. – Warstwa tkaniny z włókna szklanego przesyconego klejem oddzielająca siatkę metalową od laminatowego dźwigara; 7. - Wypełnienie piankowe; 8. – Sekcja spływu łopaty wykonana z tworzyw sztucznych (wewnątrz wypełnienie ulowe); 9. – Warstwa podwójnej tkaniny włókna szklanego usztywniająca dźwigar łopaty; 10. - Wypełniacz utwardzający konstrukcję dźwigara; 11. – Pięć warstw tkaniny z włókna szklanego przesyconego klejem tworzącego obrys dźwigara łopaty; 12. – Przewody umieszczone w wypełniaczu (dwa mniejsze – zasilanie lampki obrysowej, pięć przewodów o większej średnicy do zasilania sekcji grzejnych).

W związku z tym ogrzewanie raz górnej raz dolnej powierzchni (charakterystycznej dla Mi-17) mogłoby wpłynąć negatywnie na strukturę wytrzymałościową łopaty kompozytowej. Rozwiązane to zostało poprzez symetryczne rozmieszczenie elementów grzejnych względem cięciwy aerodynamicznej łopaty w czterech sekcjach (rys. 9). Przy okazji warto zaznaczyć, że programator tego śmigłowca umożliwia automatyczną zmianę czasu trwania ogrzewania od 2 do 16 s – czas ten jest odwrotnie proporcjonalny do temperatury otoczenia. Umożliwia to intensyfikację ogrzewania przy niskich temperaturach. Zdaniem autorów należałoby tu wprowadzić poprawkę na ciśnienie i wilgotność względną. W ten sposób jeszcze bardziej intensywność odladzania mogłaby być dostosowana do realnych warunków intensyfikujących oblodzenie.

Rys. 9 Segmenty grzejne łopaty śmigłowca W-3 „Sokół” – rysunek poglądowy. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 są numerami przewodów i pinów w gnieździe łopaty zasilającymi sekcje grzejne i lampkę na umieszczoną na końcu łopaty. Odpowiednio: 1-2 sekcja grzejna nr I, 3 – metalowa siatka poprowadzona wzdłuż całej łopaty (elektryczna masa łopaty), 4-2 sekcja grzejna nr II, 5-6 sekcja grzejna nr III, 8-6 sekcja grzejna nr IV, 7-9 lampka umieszczona na końcu łopaty.

5. Inne połączone metody zabezpieczeń przed oblodzeniem

Na rys. 10 przedstawiono metody zabezpieczenia szyb kabiny i odbiornika ciśnień powietrza (OCP). Szyby są podwójnie chronione ze względu na wykonywanie lotów przez śmigłowiec Mi – 14 PS w warunkach sprzyjających oblodzeniu. Pierwsza metoda to wykorzystanie płynu rozprówanego przez dyszę zamontowaną na wycieraczce. Wycieraczka również służy jako element przeciwdziałający oblodzeniu ściągając warstwę oblodzenia w sposób mechaniczny z szyby. Druga metoda to podgrzewanie szyby poprzez zamontowany w niej elektryczny element oporowy. Natomiast rurka prantła jest zabezpieczana poprzez indywidualne ogrzewanie – elektryczna oporowa spirala znajdująca się wewnątrz rurki w miejscu metalowej jasnej części.

Rys. 10 Lewa strona kabiny śmigłowca Mi – 14 PS.

6. Przykładowe metody zabezpieczenia przed oblodzeniem silników turbinowych

Oblodzenie zagrażające silnikom turbinowym głównie zależy od jego usytuowania wraz z wlotami powietrza na płatowcu. Z tego powodu najlepszym zabezpieczeniem silników turbinowych jest zaprojektowanie odpowiedniej konstrukcji wlotu silnika, aby nie posiadał żadnych ostrych załamów i chropowatych powierzchni, gdzie mógłby z łatwością osiadać lód. Powszechnie

stosowaną instalacją przeciwołodziową w silnikach turbinowych jest wykorzystanie ciepłego powietrza do ogrzewania przedniej części silnika (wlot, pierwsze stopnie sprężarki). Schemat takiej instalacji jest przedstawiony na rys. 11.

Rys. 11 Schemat instalacji przeciwołodziowej wlotu silnika
Rolls-Royce 250-C20R/R1. [8]

W śmigłowcach produkcji zachodniej, których eksploatacja jest przewidziana w rejonach sprzyjających oblodzeniu silnika często stosuje się specjalne deflektory na wlotach powietrza. Stosuje się je w celu zmiany kierunku przepływu powietrza - aby struga prowadząca do silnika nie przenosiła bezpośrednio przechłodzonych kropel wody lub śnieg. Przykładami takich maszyn są Bell 206 i Bell 407.

7. Podsumowanie

W artykule przedstawiono w telegraficznym skrócie wyniki badań łopat nośnych przeprowadzonych w ITWL wspartych rozważaniami teoretycznymi i danymi literaturowymi. Autorzy jednoznacznie preferują czynne środki walki z oblodzeniem w rodzaju aktywnego usuwania warstwy lodu w czasie lotu. Jest to szczególnie istotne dla wojskowych statków powietrznych wykonujących loty w warunkach sprzyjających oblodzeniu na małych prędkościach lotu (poniżej 500 km/h) i niskich wysokościach (poniżej 4 km). Śmigłowce właśnie w tych zakresach wykonują loty. Montowanie na śmigłowcach, zwłaszcza wojskowych, skutecznych aktywnych środków odladzania jest więc koniecznością, a nie tylko luksusem.

8. Bibliografia

- [1] Janusiak K.: *Latać bezpiecznie*, Przegląd Sił Powietrznych Nr 2 (020), luty 2009, ISSN 1897-8444.
- [2] Janusiak K.: *Profesjonalizm w użytkowaniu statku powietrznego*, Przegląd Sił Powietrznych Nr 3 (045), marzec 2011, ISSN 1897-8444.
- [3] Kowaleczko G., Panas A., Sobieraj W., Drozdowski Z, i inni: *Oblodzenie statków powietrznych*, Warszawa 2005, Wyd. ITWL.
- [4] Kozuchowski K.: *Meteorologia i klimatologia*, PWN, Warszawa 2007.
- [5] Kulebakin W., Sindejew I., Fiedorow B.: *Lotnicze elektryczne urządzenia zapłonowe, ogrzewcze i oświetleniowe*, wyd. MON, 1962.
- [6] Lipiński Emil: *Poradnik Mi-17*. Niepublikowane.
- [7] Poradowski M.: *Oblodzenie i jego wpływ na lot śmigłowca. Sposoby zabezpieczenia śmigłowca przed oblodzeniem na podstawie analizy istniejących i możliwych do zastosowania instalacji przeciwooblodzeniowych*, praca inżynierska, Dęblin 2013.
- [8] PZL- Świdnik, „Podręcznik szkoleniowy silnika Rolls-Royce 250-C20R/R1”

Dr inż. Andrzej Gębura – absolwent Wojskowej Akademii Technicznej. Doświadczenie eksploatacyjne zdobywał w jednostkach lotniczych oraz w 15 Rejonowym Przedstawicielstwie Wojskowym. W roku 1998 obronił w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych rozprawę doktorską nt. „Diagnozowanie napędów lotniczych w oparciu o analizę parametrów energii elektrycznej”, Trzykrotnie wykonywał obowiązki służbowe w Iraku (2007-2008) i raz w Afganistanie (2010). Jest autorem lub współautorem wielu prac z zakresu eksploatacji statków powietrznych.

Dr inż. Kazimierz Janusiak - absolwent Politechniki Poznańskiej i WAT. Pełnił funkcje od st. lotniczego przez technika pokładowego, inżyniera eskadry, po zastępcę dowódcy jednostki lotniczej w Warszawie. Służbę zakończył na stanowisku starszego inżyniera w eskadrze technicznej Instytutu Techniki Lotniczej WAT. Specjalista z zakresu eksploatacji statków powietrznych.

Sierż. pchor. inż. pıl. Michał Poradowski – W 2013 r ukończył studia stacjonarne pierwszego stopnia w Wyższej Szkole Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie na wydziale Lotnictwo i Kosmonautyka, specjalność: pilot śmigłowca. Praca inżynierska pt.: „Oblodzenie i jego wpływ na lot śmigłowca. Sposoby zabezpieczenia śmigłowca przed oblodzeniem na podstawie analizy istniejących i możliwych do zastosowania instalacji przeciwooblodzeniowych.” Aktualnie podchorąży wojskowych studiów stacjonarnych drugiego stopnia w Wyższej Szkole Oficerskiej Sił Powietrznych na wydziale Lotnictwo i Kosmonautyka, specjalność: eksploatacja statków powietrznych.