

INSTALACJE PRZECIWOBLODZENIOWE I ODLADZAJĄCE STATKÓW POWIETRZNYCH

RYSZARD CHACHURSKI, PIOTR WAŚLICKI

Wojskowa Akademia Techniczna

Streszczenie

Oblodzenie statku powietrznego stanowi poważne zagrożenie dla bezpiecznego wykonywania zadań lotniczych. Ze względu na konieczność prowadzenia lotów w różnych warunkach, większość statków powietrznych wyposażonych jest w instalacje zapobiegające powstawaniu oblodzenia lub/i odladzające. W artykule przedstawiono typowe sposoby zabezpieczania przed oblodzeniem elementów konstrukcyjnych płatowca, łopat wirników nośnych śmigłowców i śmigieł, silnikowych wlotów powietrza, oszklenia kabiny i czujników zewnętrznych za pomocą różnego rodzaju systemów termogazowych lub termoelektrycznych. Opisano typowe instalacje przeciwoblodzeniowe statków powietrznych.

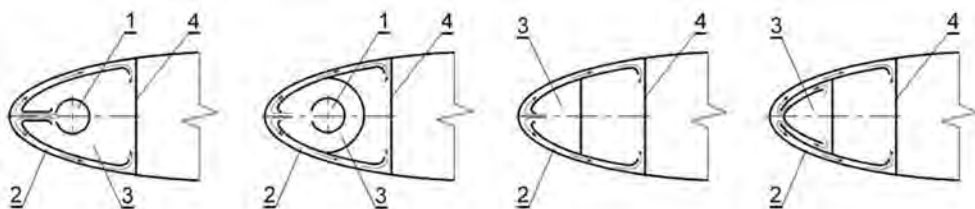
Słowa kluczowe: statek powietrzny, silnik lotniczy, oblodzenie, instalacja przeciwoblodzeniowa, odladzanie, zapobieganie oblodzeniu

W celu uniknięcia negatywnego oddziaływania lodu znajdującego się na elementach konstrukcyjnych na właściwości aerodynamiczne statku powietrznego, podczas lotu szczególnej ochronie poddawane są takie elementy płatowca i zespołu napędowego jak: skrzydła i ustęzenie, wloty silników, śmigła lub łopaty wirnika nośnego śmigłowca, przednie szyby kabiny załogi oraz czujniki innych systemów pokładowych. Te same elementy są także odladzane po utworzeniu się już na nich osadu lodowego. Do zabezpieczania samolotów i śmigłowców przed oblodzeniem wykorzystuje się głównie ogrzewanie ich niewrażliwych zespołów gorącym powietrzem pobieranym ze sprężarek silników lub za pomocą energii elektrycznej wytwarzanej przez generatory napędzane przez silniki. Powoduje to, że włączenie instalacji przeciwoblodzeniowej pociąga zwykle za sobą zmniejszenie ciągu lub mocy silników.

W niniejszej publikacji przedstawione są typowe płatowcowe instalacje przeciwoblodzeniowe. Zagadnienia związane z oblodzeniem lotniczych zespołów napędowych oraz podstawowe sposoby zapobiegania ich oblodzeniu opisano w artykule *Zagrożenia oblodzeniem silników turbinowych* zamieszczonym w zeszycie nr 199/2009 Prac Instytutu Lotnictwa.

1. ZABEZPIECZANIE PRZED OBLODZENIEM I ODLADZANIE ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH PŁATOWCA

Najbardziej rozpowszechnionymi systemami zabezpieczającymi skrzydła i usterzenie statku powietrznego są układy termogazowe (rys. 1) nagrzewające gorącym powietrzem pobieranym ze sprężarek silników okolice krawędzi natarcia (noska profilu) lub układy kruszące lód na krawędzi natarcia (rys. 2) przy wykorzystaniu pneumatycznych komór zasilanych również powietrzem pobieranym ze sprężarek. Rzadziej stosuje się elektryczne ogrzewanie tych rejonów (rys. 3). W systemach termogazowych powietrze najczęściej rozprowadzane jest wzdłuż krawędzi natarcia wewnątrz noska profilu rurami z otworami, z których dostaje się ono do kanałów (między podwójne ścianki) w nosku profilu.



Rys. 1. Rozwiązania konstrukcyjne układu dystrybucji gorącego powietrza w termogazowych systemach przeciwołodziennych skrzydeł i usterzeń:

- 1- rura z otworami doprowadzająca gorące powietrze ze sprężarki silnika, 2 – kanały dystrybucyjne gorącego powietrza w nosku profilu, 3 – komora mieszania, 4 – ścianka dźwigara

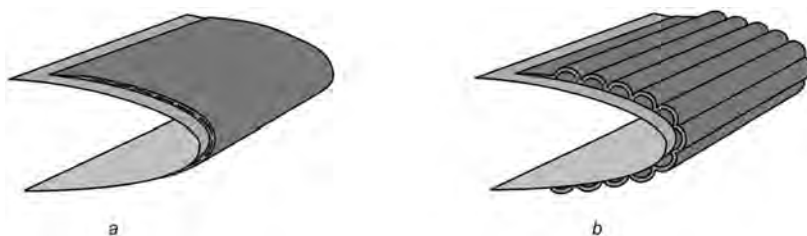
Systemy termogazowe stosuje się zazwyczaj w samolotach z silnikami odrzutowymi, ze względu na stosunkowo duże masowe natężenie przepływu powietrza przez te silniki.

Przykładowo, tylko dla zabezpieczenia przed oblodzeniem wlotów, w przypadku silnika Rolls-Royce Trent 900, w zależności od zakresu jego pracy, pobiera się z 3-go stopnia sprężarki wysokiego ciśnienia powietrze w ilości 1,16...1,39% masowego natężenia przepływu przez kanał wewnętrzny (co powoduje zmniejszenie ciągu silnika).

Znacznie mniej energii jest potrzebne do pokruszenia osadzonej już powłoki lodowej, stąd w samolotach śmigłowych, których silniki mają zwykle znacznie mniejsze masowe natężenie przepływu powietrza od silników odrzutowych, często stosuje się instalacje przeciwołodziennowe polegające na cyklicznym napełnianiu powietrzem elastycznych komór zainstalowanych na nosku profilu chronionych elementów samolotu – skrzydeł, usterzeń, chwytów powietrza, kanałów wlotów.

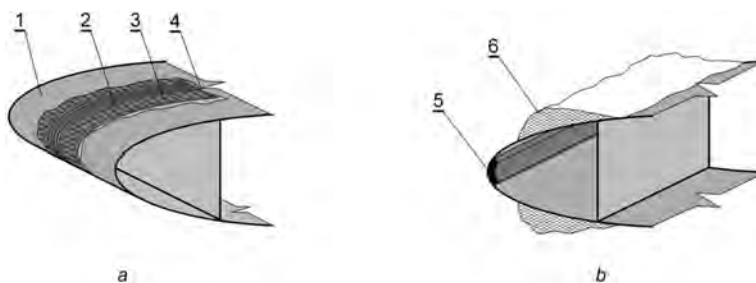
Komory takie tworzy się poprzez naklejenie w odpowiedni sposób na poszycie skrzydła elementów z materiału elastycznego, wykonanych głównie z syntetycznej gumy, przy czym materiał ten musi zachowywać elastyczność również w niskich temperaturach. Wypełnienie komór powietrzem powoduje skruszenie osadu lodowego wytworzonego na tych powierzchniach (rys. 2). Powietrze pobierane jest ze sprężarki silnika i poprzez przewody rozprowadzające, zawory, regulatory ciśnienia i filtry podawane jest do komór.

Przy stosowaniu systemu tego typu bardzo ważnym parametrem jest czas włączenia systemu z uwagi na grubość powłoki lodowej utworzonej na chronionych powierzchniach. Zbyt cienka powłoka lodowa może ulec odkształceniu razem z elementem gumowym, a następnie umocnieniu w wyniku dalszego osadzania się lodu, co w konsekwencji uniemożliwi usunięcie go. Z kolei w przypadku zbyt późnego uruchomienia systemu (gruba warstwa osadu), działanie jego może być zbyt słabe do skruszenia powłoki lodowej.



Rys. 2. Pneumatyczny system przeciwołodziowy do mechanicznego usuwania lodu z chronionych powierzchni – układ elementów elastycznych przed (a) i po (b) napełnieniu ich powietrzem

Innym sposobem zabezpieczania przed oblodzeniem krawędzi natarcia skrzydeł i powierzchni sterowych jest stosowanie systemów termoelektrycznych. Elementy grzejne na skrzydłach i usterzeniach rozmieszcza się w miejscach analogicznych do miejsc ogrzewanych przy stosowaniu systemów termogazowych. Są one podłączone do instalacji elektrycznej statku powietrznego i po uruchomieniu instalacji następuje przepływ prądu z prądnicy poprzez element oporowy (grzejny) a w konsekwencji wydzielanie ciepła.



Rys. 3. Termoelektryczne systemy przeciwołodziowe powierzchni nośnych i sterowych z powierzchniowymi elementami grzejnymi (a) i z tzw. nożem ciepłym (b):

1 – poszycie wierzchnie płata, 2 – izolacja, 3 – drut oporowy elementu grzejnego ułożony na warstwie tkaniny ochronnej, 4 – warstwa wewnętrzna poszycia, 5 – element grzejny, 6 – wtórna warstwa lodu

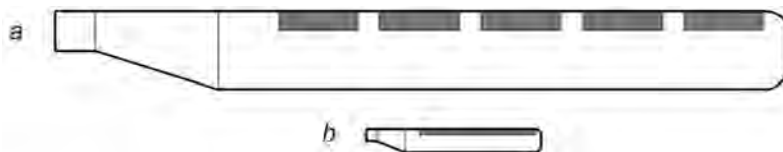
Stosuje się dwa rodzaje systemów termoelektrycznych – z powierzchniowymi elementami grzejnymi i z tzw. nożem ciepłym. W pierwszym z nich elementy (maty) grzejne znajdują się na dużej powierzchni noska profilu ogrzewanych elementów. W drugim element grzejny umieszczony jest tylko na krawędzi natarcia tworząc tzw. nóż ciepły – w tym przypadku istnieje niebezpieczeństwo, że woda ze stopionego na krawędzi natarcia lodu z powrotem zamrznie na nieogrzewanej części noska profilu, co może spowodować znaczne pogorszenie własności lotnych samolotu.

Wykorzystywanie systemów termicznych wymaga dostarczenia dużej energii niezbędnej do stopnienia lodu, np. w samolocie Il-18 sumaryczna moc energii niezbędnej do podgrzania krawędzi natarcia skrzydeł do temperatury nie przekraczającej $40 \pm 10^\circ\text{C}$ wynosi 140 kW, ale poprzez zastosowanie ogrzewania cyklicznego zmniejszono zapotrzebowanie na nią do 35 kW, natomiast każda sekcja usterzenia wymaga paneli grzewczych o mocy 11 kW. W tym samym samolocie wloty powietrza do silników ogrzewane są pobieranym ze sprężarki powietrzem o temperaturze $140\text{-}180^\circ\text{C}$.

W niektórych samolotach, głównie lekkich, do zabezpieczania elementów konstrukcyjnych płatowca przed oblodzeniem stosowane są natryskowe cieczowe systemy przeciwołodziwne, w których wykorzystuje się zwykle 98% alkoholu etylowego.

2. ZAPOBIEGANIE OBLADZANIU ŁOPAT WIRNIKÓW NOŚNYCH ŚMIGŁOWCÓW LUB ŚMIGIEŁ

Łopaty śmigieł lub wirników nośnych śmigłowców zabezpiecza się przed oblodzeniem przede wszystkim przy zastosowaniu termoelektrycznych systemów przeciwołodziennych, których działanie jest analogiczne do systemów stosowanych do odladzania powierzchni nośnych samolotów. Elementy grzejne rozmieszczone są w postaci sekcji na łopatach wirnika nośnego i śmigła ogonowego śmigłowca lub śmigła samolotu (rys. 4) i uruchamiane w odpowiedniej sekwencji. Krawędzie natarcia łopat wirnika nośnego odladzane są okresowo w zależności od temperatury otoczenia.



Rys. 4. Schemat rozmieszczenia sekcji grzejnych termoelektrycznego systemu przeciwołodziennego łopat wirnika nośnego (a) i śmigła ogonowego (b) śmigłowca

Należy dodać, iż w przypadku śmigieł w pewnym zakresie skutecznie można zapobiegać ich oblodzeniu poprzez okresowe zwiększenie prędkości obrotowej śmigła i wykorzystanie siły odśrodkowej do usuwania kropeł wody z powierzchni.

Dla zabezpieczenia śmigieł przed osadzaniem się na ich łopatach lodu, stosowane są również cieczowe systemy przeciwołodziennowe, zwłaszcza w samolotach lekkich.

3. ZABEZPIECZANIE PRZED OBLODZENIEM OSZKLENIA KABIN I CZUJNIKÓW ZEWNĘTRZNYCH

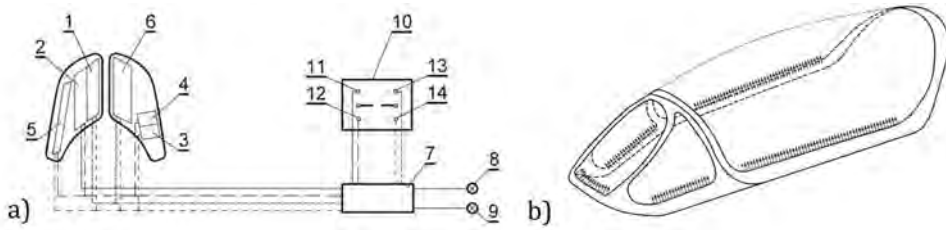
Wymieniane już wcześniej przeciwołodziennowe systemy cieczowe są także stosowane do usuwania lodu z szyb kabin pilotów, jednak oszklenie kabiny załogi może być również zabezpieczane przed tworzeniem się powłok lodowych przez stosowanie systemów termoelektrycznych¹ lub termogazowych (rys. 5).

Przykład termoelektrycznego układu przeciwołodziennego oszklenia kabiny załogi samolotu Piaggio Avanti II przedstawiono na rys. 5a. Wydzielone strefy szyb podzielone są na 6 sektorów ogrzewanych cyklicznie przez 2 niezależne układy zasilane z osobnych magistral energetycznych. Każdy z układów może pracować w trybie odladzania lub zapobiegania zaparowywaniu szyb w zależności od położenia przełączników na pulpicie w kabinie załogi. W trybie odladzania układ pierwszy ogrzewa strefę 2, natomiast drugi strefy 1 i 6, natomiast w trybie zapobiegania zaparowywaniu szyb układ pierwszy ogrzewa strefy 2, 4 i 5, a strefy 1, 3, 5 i 6 przez układ drugi.

System wyposażony jest w czujniki temperatury zapobiegające przed przegrzaniem szyb, a sterownik reguluje natężenie przepływu prądu przez elementy grzejne w zależności od temperatury otoczenia i intensywności oblodzenia.

Elementy grzejne w postaci siatki wykonanej z drutu oporowego umieszcza się między warstwami szyb, przy czym zarówno grubość drutu, jak i odległości między nimi oraz położenie prętów przewodzących muszą być tak dobrane, aby nie ograniczały pilotowi możliwości obserwacji i nie wpływały na komfort jego pracy.

¹Powszechnie stosowanych w tylnych szybach samochodów osobowych, a w niektórych markach samochodów - także w przednich szybach



Rys. 5. Termoelektryczny system przeciwooblodzeniowy szyb kabiny samolotu Piaggio Avanti II (a) i termogazowy samolotu MiG-21 (b):

1, 2, 3, 4, 5, 6 – strefy ogrzewane, 7 – sterownik, 8, 9 – lampka sygnalizujące przegrzanie elementów lewej lub prawej szyby, 10 – panel sterowania w kabynie załogi, 11, 12 – położenia przełącznika zasadniczego układu przeciwooblodzeniowego odpowiednio dla trybu pracy odladzania i zapobiegania zaparowywaniu, 13, 14 – położenia przełącznika rezerwowego układu przeciwooblodzeniowego odpowiednio dla trybu pracy odladzania i zapobiegania zaparowywaniu

W niektórych samolotach bojowych stosowany jest termogazowy system odladzania osłony kabiny (rys. 5b). W tego rodzaju układzie przeciwooblodzeniowym gorące powietrze pobierane ze sprężarki albo jest nadmuchiwane na szyby z umieszczonych wokół kolektorów, albo podawane jest w przestrzeń pozostawioną w tym celu między dwiema warstwami szyby.

Zapobieganie oblodzeniu elementów pomiarowych oraz zewnętrznych czujników systemów pokładowych, a także usytuowanych w kanałach dolotowych silników w głównej mierze realizowane jest sposobami termoelektrycznymi, aczkolwiek bywają stosowane również systemy termogazowe. Klasycznym przykładem zastosowania systemu termoelektrycznego może być odbiornik ciśnienia powietrza, czy omawiany wcześniej płatowcowy pneumatyczny czujnik oblodzenia, chociaż w przypadku montowania tych czujników w kanale wlotowym silnika, do jego ogrzewania wykorzystywano gorące powietrze pobierane ze sprężarki.

4. INSTALACJE PRZECIWOBLODZENIOWE STATKÓW POWIETRZNYCH

Statki powietrzne wyposażane są w układy przeciwooblodzeniowe, składające się z instalacji działających na różnej zasadzie chroniących poszczególne elementy konstrukcji.

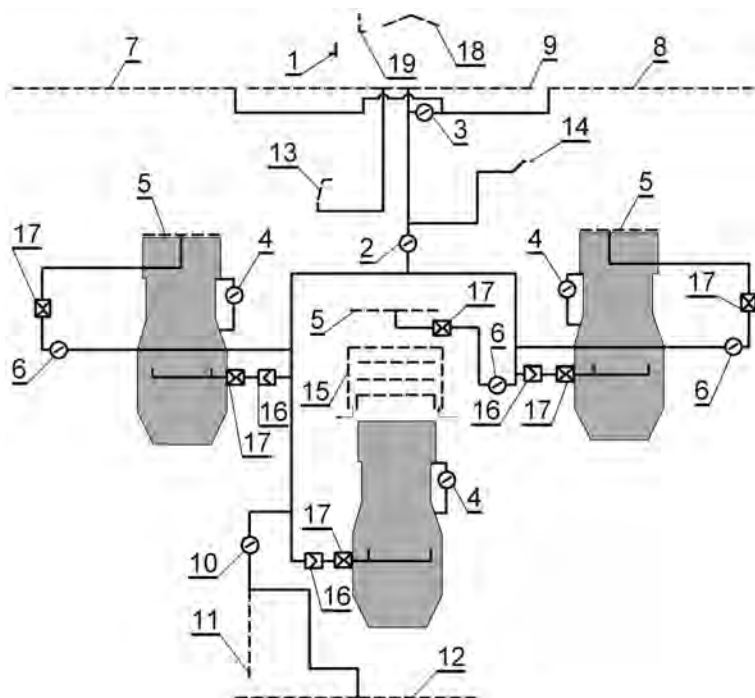
Typowy przykład rozbudowanego układu przeciwooblodzeniowego, jakie często stosowane są w odrzutowych samolotach pasażerskich lub transportowych, pokazano na rys. 6 na przykładzie samolotu Jak-40. Krawędzie natarcia skrzydeł i usterzenia, a także wloty powietrza do silników i chwyt pobierania powietrza do układu klimatyzacji, a także górna antena ogrzewane są poprzez system termogazowy zasilany powietrzem pobieranym zza sprężarek wysokiego ciśnienia silników samolotu, natomiast szyby kabiny załogi oraz odbiornik ciśnienia są ogrzewane elektrycznie. Kanał wlotowy środkowego silnika ogrzewany jest gorącym powietrzem z układu klimatyzacji kabiny pasażerskiej. Część termogazowa systemu jest automatycznie odłączana w przypadku awarii dwu spośród trzech silników.

Włączanie układu przeciwooblodzeniowego może odbywać się w sposób ręczny lub automatyczny - na podstawie sygnału z czujnika oblodzenia zamontowanego w przedniej części kadłuba samolotu. System przeciwooblodzeniowy może pracować w trybie ogrzewania silników na ziemi, w trybie zapobiegawczym i w trybie pełnym.

Tryb ogrzewania silników na ziemi włączany jest ręcznie dla każdego z silników osobno po ich uruchomieniu w warunkach sprzyjających oblodzeniu. Ogrzewane są wówczas łopatkami wlotowych wieńców kierownic i kołpaki silników oraz (przez częściowe otwarcie odpowiednich zaworów) wloty powietrza. W celu ogrzania kanału wlotowego środkowego silnika należy włą-

czyć układ klimatyzacji kabiny pasażerskiej. Na ziemi zabronione jest włączanie ogrzewania pozostałych elementów płatowca dla uniknięcia ich przegrzewania. Elektryczne ogrzewanie szyb kabiny załogi oraz odbiornika ciśnień włącza się ręcznie przed wykołowaniem na start.

Zapobiegawczy tryb pracy systemu przeciwooblodzeniowego stosuje się podczas lotu w warunkach sprzyjających oblodzeniu, natomiast tryb pełny w czasie lotu w warunkach oblodzenia. Włączane są one poprzez odpowiednie ustawienie przełącznika na pulpicie w kabinie załogi lub, podczas lotu w warunkach oblodzenia przy ustawieniu przełącznika w położenie AUTO na podstawie sygnalizacji czujnika oblodzenia następuje automatyczne przełączanie trybów pracy zapobiegawczego i pełnego, przy czym przy ustawieniu dźwigni sterowania silników środkowego i prawego w położenie odpowiadające ustawieniu dźwigni sterowania na 0,85 zakresu nominalnego lub wyższy, a system przeciwooblodzeniowy automatycznie przechodzi z trybu pracy pełnego na zapobiegawczy. Możliwość automatycznego włączenia pełnego trybu pracy systemu na podstawie sygnałów czujnika oblodzenia jest także odłączana na podstawie sygnałów wyłącznika krańcowego sygnalizującego odciążenie amortyzatora prawej nogi podwozia lub otwarcie zamka podwozia przedniego (w zależności od wersji samolotu).



Rys. 6. Schemat układu przeciwooblodzeniowego samolotu Jak-40:

- 1 - izotopowy sygnalizator oblodzenia, 2 - zawór ogrzewania krawędzi natarcia centroplata,
- 3 - zawór ogrzewania krawędzi natarcia końcówek skrzydeł, 4 - zawory ogrzewania wlotowych wieńców kierownic i kołpaków silników, 5 - układ ogrzewania krawędzi natarcia chwytów powietrza,
- 6 - zawory ogrzewania chwytów powietrza, 7 - układ ogrzewania lewego skrzydła, 8 - układ ogrzewania prawego skrzydła, 9 - układ ogrzewania centroplata, 10 - zawór ogrzewania usterzenia,
- 11 - układ ogrzewania krawędzi natarcia statecznika pionowego, 12 - układ ogrzewania krawędzi natarcia statecznika poziomego, 13 - układ ogrzewania górnej anteny UKF, 14 - układ ogrzewania chwytu pobierania powietrza do układu klimatyzacji, 15 - układ ogrzewania kanału wlotowego środkowego silnika, 16 - zawory jednokierunkowe, 17 - zwężki, 18 - elektryczny układ ogrzewania szyb kabiny załogi,
- 19 - elektryczny układ ogrzewania odbiornika ciśnień

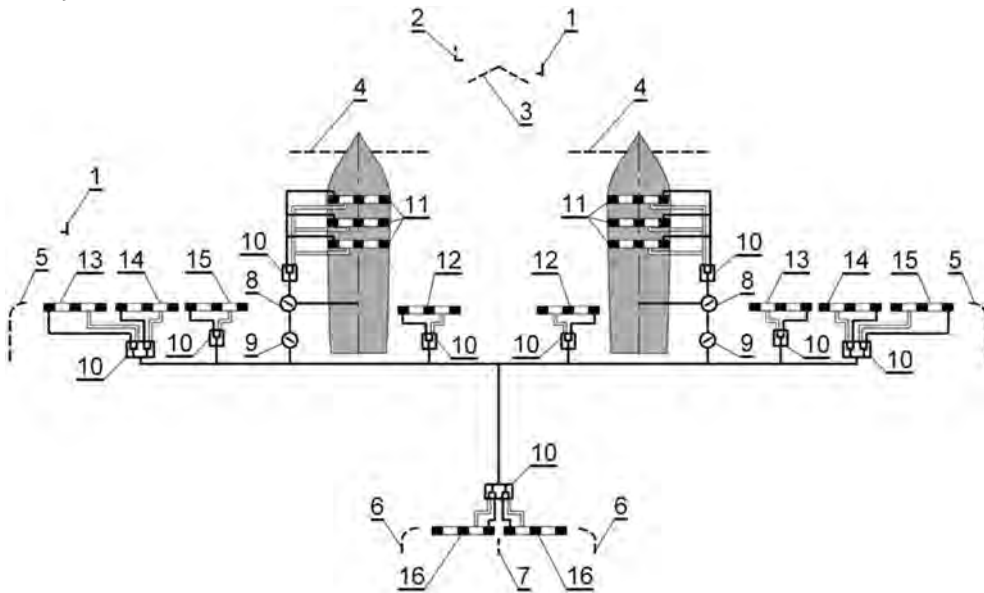
Podczas pracy systemu w trybie zapobiegawczym włączany jest układ ogrzewania wszystkich trzech silników i pracuje on jak podczas ich ogrzewania na ziemi, a ponadto włączane jest ogrzewanie krawędzi natarcia centropłata. Ilość powietrza dopływającego do ogrzewanych elementów w tym trybie pracy ograniczana jest poprzez zwężki.

Po włączeniu instalacji przeciwooblodzeniowej w tryb pracy pełny – ogrzewane są wszystkie podlegające ochronie elementy płatowca i silników, przy czym zawory sterujące przepływem powietrza są otwierane całkowicie.

Należy zwrócić uwagę na zastosowanie w samolocie Jak-40 ogrzewania górnej anteny UKF. Zapobiega to osadzaniu się niej lodu, który zerwany pod wpływem drgań lub w wyniku wzrostu temperatury powietrza atmosferycznego, np. po zmniejszeniu wysokości lotu, wpadając do wlotu środkowego silnika mógłby uszkodzić łopatkę wentylatora (!).

W samolocie Airbus A320 system termogazowy ogrzewa jedynie krawędzie natarcia trzech skrajnych sekcji slotów każdego skrzydła oraz wloty silników, natomiast system termoelektryczny szyby kabiny załogi, czujniki oraz układ zlewania wody z toalet. Nie są ogrzewane pozostałe części krawędzi natarcia skrzydeł oraz usterzenia. Podobnie działają systemy przeciwooblodzeniowe samolotów A300, A310, A330 i A340.

Przykład układu przeciwooblodzeniowego stanowiącego połączenie systemu termoelektrycznego z pneumatycznym, stosowanego w samolotach pasażerskich lub transportowych średniego zasięgu wyposażonych w turbinowe silniki śmigłowe, przedstawiono na rys. 7 (ATR 72).



Rys. 7. Schemat systemu przeciwooblodzeniowego samolotu ATR 72: 1- sygnalizator oblodzenia, 2 – elektryczny układ ogrzewania odbiornika ciśnień, 3 - elektryczny układ ogrzewania szyb kabiny załogi, 4 – elektryczny układ ogrzewania łopat śmigieł, 5 – elektryczny układ ogrzewania końcówek skrzydeł ze światłami pozycyjnymi, 6 – elektryczny układ ogrzewania końcówek statecznika poziomego, 7 – elektryczny układ ogrzewania końcówki statecznika pionowego ze światłem pozycyjnym, 8 – zawór włączania instalacji przeciwooblodzeniowej zespołu napędowego, 9 – zawór włączania instalacji przeciwooblodzeniowej płatowca, 10 – zawór rozdzielający powietrze do poszczególnych komór systemu pneumatycznego, 11 – pneumatyczny układ odladzania chwytów powietrza, kanałów wlotowych i odpylaczy, 12, 13, 14, 15 – pneumatyczny układ odladzania centropłata oraz środkowej i końcowej części skrzydeł, 16 – pneumatyczny układ odladzania statecznika poziomego

Samolot wyposażony jest we współpracujący z komputerem pokładowym czujnik oblodzenia umieszczony na krawędzi natarcia lewego skrzydła oraz wizualny wskaźnik oblodzenia usytuowany w polu widzenia załogi. Krawędzie natarcia skrzydeł i statecznika poziomego, wloty silników i odpylacze powietrza wyposażone są w pneumatyczny system odladzania, natomiast czujniki, szyby kabiny załogi, łopaty śmigieł, owiewki na końcach usterzenia poziomego i pionowego oraz skrzydeł ogrzewane są przez system termoelektryczny.

Przeciwoblodzeniowy system pneumatyczny cyklicznie doprowadza powietrze o temperaturze do 230°C ze sprężarki silnika napędowego do naprzemiennie co drugiej spośród podłużnych komór usytuowanych prostopadle do krawędzi natarcia na noskach profili odladzanych elementów płata i usterzenia poziomego oraz pierścieniowych komór na elementach chwytów powietrza i w kanałach wlotowych silników. System może pracować w dwu trybach pracy – powolnym, w którym poszczególne komory napełniane są powietrzem co 180 sekund lub szybkim, kiedy komory napełniane są co 60 sekund.

Przeciwoblodzeniowy system termoelektryczny łopat śmigieł cyklicznie zasila elementy grzejne, przy czym szybkość powtarzania cyklu uzależniona jest od temperatury otoczenia – cykl szybki dla temperatury -30...-10°C oraz powolny dla temperatury -10...0°C. Z kolei system ogrzewania przednich szyb kabiny załogi utrzymuje temperaturę ich zewnętrznych powierzchni nie niższą niż 2°C zabezpieczając je przed oblodzeniem oraz temperaturę nie niższą niż 21°C na wewnętrznych powierzchniach szyb przednich i bocznych, co zapobiega ich zaparowywaniu. System ten zabezpiecza również przed oblodzeniem odbiorniki ciśnień, czujniki temperatury oraz czujniki kąta natarcia. Ogrzewanie owiewek na końcach skrzydeł oraz statecznika pionowego ma przede wszystkim zapobiegać oblodzeniu światła pozycyjnych.

Statki powietrzne często wyposażane są w mieszane systemy przeciwoblodzeniowe, w których część elementów konstrukcyjnych płatowca i czujników odladzana jest np. gorącym powietrzem, a część elektrycznie lub łączy się system elektryczny z pneumatycznym. Przykładowo, w samolocie Piaggio Avanti tylny płat ogrzewany jest przez system termogazowy, natomiast przedni przez system termoelektryczny. Podobnie jak w samolocie ATR 72 działa np. system przeciwoblodzeniowy płatowca samolotu śmigłowego BAe Jetstream 4100 i Saab 2000, ale w nich poprzez układ pneumatyczny odladzana jest również krawędź natarcia statecznika pionowego, natomiast wloty silników zabezpiecza system termogazowy.

Samolot M28 Bryza wyposażony jest w termogazową instalację przeciwoblodzeniową skrzydeł i termoelektryczną śmigieł, oszklenia kabiny i czujników. Z kolei w dyspozycyjnym samolocie odrzutowym Cessna Citation 550 Bravo stosowany jest pneumatyczny system odladzania krawędzi natarcia skrzydeł oraz statecznika poziomego i pionowego, termogazowy do zabezpieczenia wlotów silników, termoelektryczny do ochrony przed oblodzeniem krawędzi natarcia centroplata oraz czujników, a także cieczowy system odladzania szyb kabiny załogi.

Śmigłowce wyposaża się zwykle w termoelektryczne układy przeciwoblodzeniowe wirnika nośnego i śmigła ogonowego oraz oszklenia kabiny, a także mieszane instalacje przeciwoblodzeniowe elementów zespołu napędowego (np. termogazowo – olejowe).

Bojowe samoloty naddźwiękowe zwykle wyposażone są sygnalizatory oblodzenia oraz termogazowe systemy ogrzewania wlotów silników oraz termoelektryczne systemy przeciwoblodzeniowe odbiorników ciśnień i nadajników kątów natarcia.

Oprócz wymienionych wcześniej metod zwalczania oblodzenia w czasie lotu opracowane zostały również inne metody, które nie znalazły szerszego zastosowania, np. układy elektroimpulsowe do ochrony zarówno krawędzi natarcia, jak i większych powierzchni, mechaniczne zgarniacze przesuwające się wzdłuż krawędzi natarcia, pokrycia lakiernicze lub pasty o specjalnych właściwościach.

PODSUMOWANIE

Obecnie stosowane instalacje przeciwołodziennowe płatowców zazwyczaj skutecznie zabezpieczają je przed negatywnym wpływem oddziaływania śniegu, szronu, marznącej mżawki itp., jednak zdarza się, że warunki atmosferyczne wymuszają konieczność zmiany trasy lotu w celu ominięcia strefy oblodzenia lub jak najszybszego opuszczenia jej. Równie ważne jest szczegółowe sprawdzanie powierzchni statku powietrznego przed lotem w warunkach zimowych i stosowanie właściwych procedur odladzających i zabezpieczających przed oblodzeniem.

Z przedstawionego opisu wynika, że większość instalacji przeciwołodziennowych i odladzających statku powietrznego zasilana jest energią pobieraną od jego silników. Z punktu widzenia bezpieczeństwa latania bardzo istotna jest nie tylko znajomość przez personel latający i techniczny ograniczeń systemów przeciwołodziennowych oraz wpływu ich pracy na własności lotne statków powietrznych, ale także skutków włączenia instalacji przeciwołodziennowej na osiągi zespołu napędowego.

Dla zapewnienia właściwej mocy lub ciągu zespołu napędowego statku powietrznego w warunkach oblodzenia, zwykle nie używa się instalacji przeciwołodziennowych zasilanych energią odbieraną od silnika w tych fazach lotu (poza ogrzewaniem wlotów silników). Zamiast tego odladza się statki powietrzne i zabezpiecza się je przed oblodzeniem poprzez natryskiwanie na ich powierzchnie specjalnych cieczy odladzających i zapobiegających (przez określony czas) oblodzeniu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Airbus Training A310 Simulator Fligh Crew Operational Manual*, Airbus, 2000
- [2] *Airbus Training A320 Simulator Fligh Crew Operational Manual*, Airbus, 2000
- [3] *Airbus Training A330 Simulator Fligh Crew Operational Manual*, Airbus, 2000
- [4] *Airbus Training A340 Simulator Fligh Crew Operational Manual*, Airbus, 2000
- [5] *Aircraft Ground Icing*, National Transportation Safety Board, Waszyngton, 2006
- [6] *ATR 72 Fligh Crew Operational Manual*, Avions de Transport Régional, 1996
- [7] *BAe Jetstream Series 4100 Manufactures Operating Manual*, Vol. 4, British Aerospace, 1996
- [8] Banel T., Rutkowski K., *Wyposażenie hydropneumatyczne samolotów i śmigłowców*, WAT, Warszawa, 1990
- [9] Chachurski R., Drozdowski Z., Jasiński J., Kowaleczko G., Kroszczyński K., Michałowski R., Panas A., Pietrek S., Sobieraj W., Wrzesień S., *Oblodzenie statków powietrznych*, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa, 2005
- [10] Chachurski R., *Zagrożenia oblodzeniem silników turbinowych*, Prace Instytutu Lotnictwa nr 199, Wydawnictwa Naukowe Instytutu Lotnictwa, Warszawa, 2009
- [11] Францев В.К., Шерлыгин Н.А., *Силовая установка самолетов Як-40 и М-15, Транспорт, Москва, 1981*
- [12] *Gulfstream G550 Operating Manual*, Gulfstream Aerospace Corporation, 2003
- [13] *P.180 Avanti II Pilot's Operating Handbook*, Piaggio Aero, 2006
- [14] *Saab 340 B Aircraft Operations Manual*, Saab AB, Linköping, 1991
- [15] *Saab 2000 Aircraft Operations Manual*, Saab AB, Linköping, 1994
- [16] Тенишев Р. Х. и др., *Противообледенительные системы летательных аппаратов. Основы проектирования и методы испытаний*, Машиностроение, Москва, 1967