

URZĄDZENIA PRZECIWOBLODZENIOWE KONSTRUKCJI PŁATOWCA STATKÓW POWIETRZNYCH

Ziemskie zmiany klimatyczne są przyczyną występowania coraz to liczniejszych gwałtownych, niepożądanych zjawisk atmosferycznych. W lotnictwie lot w złych warunkach atmosferycznych jest jedną z kategorii przyczyn wypadków, w której to zjawisko oblodzenia statku powietrznego znajduje się na czele klasyfikacji. Zjawisko oblodzenia konstrukcji płatowca wpływa na pogorszenie właściwości lotnych statku powietrznego, a ekstremalne intensywności gromadzenia się lodu mogą osiągać nawet 2 cm/min. Sytuacja ta wymusza stosowanie na wyposażeniu statków powietrznych urządzeń przeciwołodziennych. Informacje na temat warunków sprzyjających oblodzeniu, powierzchni płatowca na których odkłada się lód, oraz urządzeń przeciwołodziennych statków powietrznych można znaleźć w niniejszym artykule.

WSTĘP

Statki powietrzne w odróżnieniu od innych środków transportu dalekiego podczas wznoszenia i zniżania przemieszczają się w silnie zmiennych warunkach otoczenia. Podczas zmian wysokości lotu statku powietrznego zmianie ulegają takie parametry jak: ciśnienie, temperatura, wilgotność. Zmienne warunki otoczenia sprzyjają powstawaniu niepożądanych zjawisk wpływających na bezpieczeństwo wykonywania operacji powietrznej. Przykładem jest zjawisko oblodzenia statku powietrznego. Oblodzeniem nazywany jest proces zamiany stanu skupienia wody zawartej w powietrzu w postaci pary wodnej na postać stałą odkładającą się na elementach konstrukcji statków powietrznych podczas lotu lub bezpośrednio osadzanie się na konstrukcji statków powietrznych kryształków lodu. W wyniku różnic dotyczących warunków, skutków i charakteru oblodzenia podzielono zjawisko na dwie kategorie: zjawisko oblodzenia konstrukcji płatowca statków powietrznych oraz oblodzenia silników lotniczych. Za przyczyny odkładania się lodu na powierzchni konstrukcji płatowca uważa się:

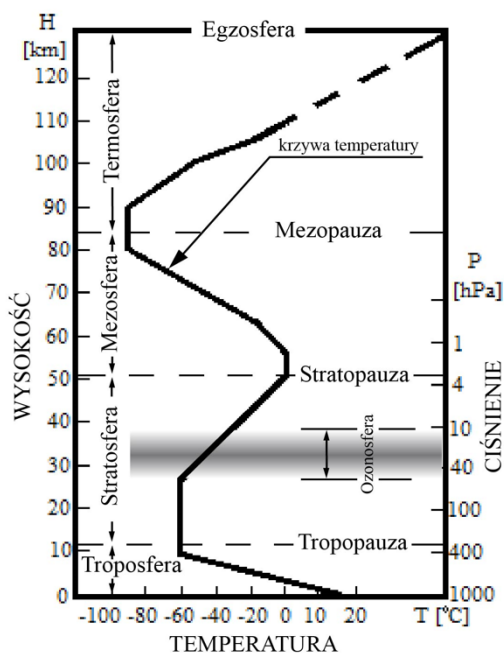
1. zamarzanie kropelek wody pochodzących z chmury, deszczu lub zderzających się ze statkiem powietrznym przechłodzonych kropelek wody, czy mieszaniny kropelek wody i kryształków lodu,
2. bezpośrednio osadzanie się kryształków lodu lub śniegu na płatowcu,
3. resublimacja cząsteczek wody znajdujących się w atmosferze na powierzchni statku powietrznego (ma miejsce, gdy statek powietrzny przemieszcza się z górnych chłodnych warstw powietrza w dolne cieplejsze i wilgotne) [6].

Do oblodzenia konstrukcji płatowca dochodzi w sprzyjających warunkach atmosferycznych, za które uznaje się:

1. temperaturę powietrza w przedziale od 0°C do -40°C, największe prawdopodobieństwo oblodzenia od 0°C do -20°C,
2. dużą wartość wilgotności powietrza (mały deficyt punktu rosy),
3. obecność wody w atmosferze pod wszelką postacią: chmur, wody przechłodzonej, opadów, mgły,
4. ujemną wartość temperatury płatowca, który znajdzie się w warunkach zawilgocenia [6].

W związku z tym dwoma podstawowymi parametrami warunkującymi wystąpienie oblodzenia są temperatura i wilgotność powietrza. Statki powietrzne poruszają się w troposferze, gdzie krzywa

temperatury przyjmuje charakterystyczny rozkład nazywany średnim pionowym gradientem temperatury (rys. 1). Według tego rozkładu temperatura zmniejsza się średnio o 0,65°C na każde 100 metrów wysokości [6].



Rys. 1. Pionowy przekrój atmosfery wraz z teoretycznym przebiegiem temperatury przy założeniu, że temperatura powietrza przy gruncie wynosi 18°C [6]

W atmosferze objętościowo znajduje się od 0,1% do 4% pary wodnej, z czego większość w troposferze [6]. Wilgotność powietrza to drugi podstawowy parametr warunkujący wystąpienie oblodzenia statku powietrznego. Para wodna tworzy takie elementy i zjawiska atmosferyczne jak chmury, mgły, opady. Podczas lotu przez chmurę należy więc spodziewać się dużej wilgotności powietrza. Cząsteczki pary wodnej wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza przybierają coraz mniejsze rozmiary i przeobrażają się z ciekłego stanu skupienia w stan stały zamieniając się w drobne kryształki lodu. W wysokich warstwach troposfery, gdzie temperatura powietrza jest

mniejsza od -40°C zjawisko oblodzenia nie występuje, gdyż cząsteczki pary wodnej są pozbawione jąder kondensacji, a ich rozmiary są bardzo małe [6].

Prędkość narastania pokrywy lodowej na statku powietrznym definiuje się jako intensywność oblodzenia. W warunkach sprzyjających oblodzeniu maksymalne wartości intensywności oblodzenia mogą wynosić 2 cm/min. Takie wartości intensywności oblodzenia sprawiają, że gwałtownie pogarszają się właściwości lotne statku powietrznego, a dalsze bezpieczne kontynuowanie lotu w takich warunkach jest niezalecane [6].

Zjawisko oblodzenia negatywnie wpływa na właściwości lotne statku powietrznego. Oblodzenie konstrukcji płatowca zwiększa masę statku powietrznego, zmienia kształt profilu aerodynamicznego, zmniejszając tym samym wartości generowanej siły nośnej, prowadzi do zablokowania współpracujących ze sobą par kinematycznych blokując płaszczyzny sterowne, kłapy, układy hydrauliczne podwozia i inne elementy ruchome. Ponadto lód odkładający się na statku powietrznym może być przyczyną zakłóceń w łączności radiowej oraz osadzając się na oszkleniu kabiny pilotów pogarsza widzialność pilotom [7].

Oblodzenie statku powietrznego jest procesem złożonym i zależnym od wielu czynników. Jego istotny wpływ na bezpieczeństwo lotu statku powietrznego wynika z oddziaływania na wszystkie elementy płatowca i układów napędowych. W związku z tym konieczne jest stosowanie systemów i urządzeń przeciwooblodzeniowych.

1. ELEMENTY KONSTRUKCJI PŁATOWCA NARAŻONE NA OBLODZENIE ICH POWIERZCHNI

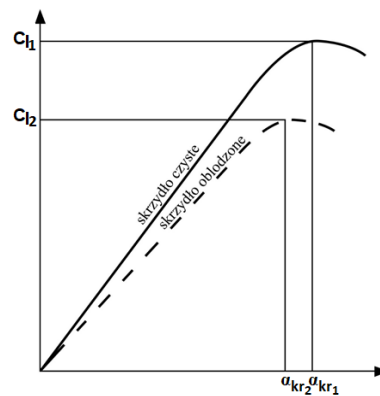
Oblodzenie skrzydeł, statecznika poziomego i pionowego wpływa przede wszystkim na własności aerodynamiczne statku powietrznego. Lód osadzający się na skrzydle zwiększa opory ruchu samolotu i jego masę. Przy zmianie kształtu profilu skrzydła wskutek oblodzenia maleje wartość współczynnika maksymalnej siły nośnej. Dodatkowo zmniejszenie współczynnika maksymalnej siły nośnej powoduje zmniejszenie wartości krytycznych kątów natarcia (rys. 2), co zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska przepadnięcia samolotu szczególnie podczas lotu z małą prędkością w fazie lądowania lub startu. Oblodzenie skrzydeł, statecznika pionowego, oraz poziomego statku powietrznego może być przyczyną unieruchomienia płaszczyzn sterowych kłap i slotów [5].

Oblodzenie mierników ciśnienia statku powietrznego powoduje nieprawidłowości we wskazaniach przyrządów pokładowych.

Oblodzenie anteny może być przyczyną zakłóceń w łączności radiowej między służbami kontroli ruchu lotniczego, a pilotami. Antena jako element wystający o bardzo cienkim profilu najszybciej z pośród wszystkich elementów konstrukcji płatowca ulega oblodzeniu.

Lód w postaci szronu odkłada się również na oszkleniu kabiny pilotów. Do sytuacji tej dochodzi, gdy statek powietrzny przechodzi z górnych zimnych mas powietrza do dolnych cieplejszych i wilgotnych mas powietrza. Zimna powierzchnia zewnętrzna szyby na skutek zderzeń z drobnymi cząsteczkami wody pokrywa się szronem.

Śmigła i łopaty wirników śmigłowców są narażone na oblodzenie ich krawędzi natarcia. Łopaty wirników śmigłowców oraz śmigła silników turbośmigłowych i tłokowych obladzane są zazwyczaj od centralnej części wirnika, piasty śmigła w kierunku końcówek łopat, gdzie intensywność narastania pokrywy lodowej maleje w wyniku większych prędkości ruchu obrotowego końcówek łopat względem centralnej części wirnika lub śmigła [8].



Rys. 2. Charakterystyka zależności krytycznego kąta natarcia α od współczynnika siły nośnej C_l : 1 dla skrzydła czystego, 2 dla pokrytego warstwą lodu o grubości większej niż 15 mm [4]

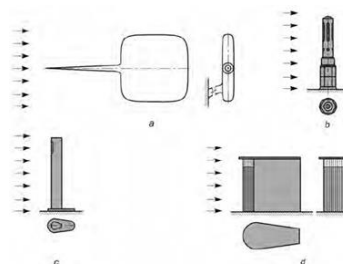
Odkładanie się lodu na wirniku śmigłowca lub śmigle samolotu wprowadza układ w niekontrolowane drgania, a odrywające się kawałki lodu z łopat mogą być przyczyną poważnego uszkodzenia statku powietrznego [8].

2. OGÓLNE METODY PRZECIWDZIAŁANIA OBLODZENIU KONSTRUKCJI PŁATOWCA

Ogólne metody przeciwdziałania oblodzeniu konstrukcji płatowca statków powietrznych dzieli się ze względu na rodzaj ochrony na czynne i bierne. Stosowanie czynnych metod przeciwooblodzeniowych pozwala aktywnie podczas lotu usuwać odłożoną na powierzchni płatowca warstwę lodu i zapobiegać dalszemu jego odkładaniu. Stosowanie tych metod wiąże się jednak z wysoką ich energochłonnością. Do czynnych metod zaliczają się: metody polegające na stosowaniu płynów, metody mechaniczne, metody termogazowe, metody elektryczne. Natomiast bierne metody ochrony konstrukcji płatowca nie umożliwiają aktywnego usuwania warstw odkładającego się lodu z powierzchni, a ich działanie ogranicza się do identyfikacji wystąpienia zjawiska, dbania o czystość i konserwowanie powierzchni woskami, lakierami, farbami. W praktyce jednak często stosowane są łączone środki przeciwdziałania oblodzeniu statków powietrznych [3].

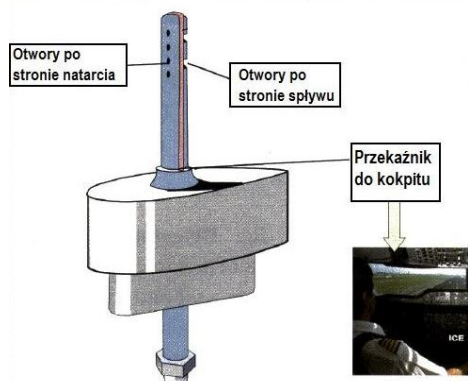
3. CZUJNIKI I URZĄDZENIA PRZECIWOBLODZENIOWE

Jako czujniki oblodzenia statków powietrznych wykorzystuje się kilka typów sensorów. Jako najprostsze czujniki oblodzenia stosowane są wizualne wskaźniki oblodzenia. Instalowane w takim miejscu, aby pozwalały na wzrokową ocenę stopnia oblodzenia pilotom (rys. 3). Niektóre z tych czujników posiadają układy grzewcze i oświetleniowe. Przykładem może być detektor lodu Teddington'a.



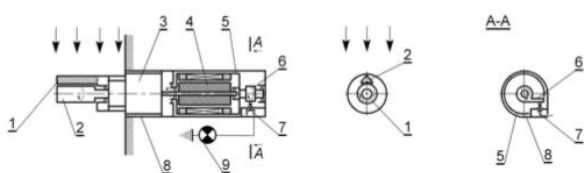
Rys. 3. Przykłady wizualnych wskaźników oblodzenia, strzałkami oznaczono kierunek napływu strug powietrza: a – śmigłowce Mi-2, Mi-8, samoloty Il-18, b – samoloty Airbus A319, A320, A321, A330, A340, c – Alenia C-27J Spartan, d – ATR 42, ATR 72 [2]

Innym przykładem czujnika oblodzenia jest ciśnieniowa sonda Smith'a (rys. 4). Jest to rurka z otworami i nacięciami po dwóch przeciwległych stronach, umieszczona prostopadle do kierunku napływu strug. Takie zainstalowanie sondy powoduje, że w przypadku oblodzenia lód osadza się po stronie natarcia sondy blokując wspomniane otwory. W wyniku zablokowania otworów sondy po stronie natarcia, po przeciwległej stronie, powstaje podciśnienie. W tej sytuacji za pomocą urządzeń wykonawczych wysyłany jest sygnał o wystąpieniu oblodzenia do kabiny pilotów.



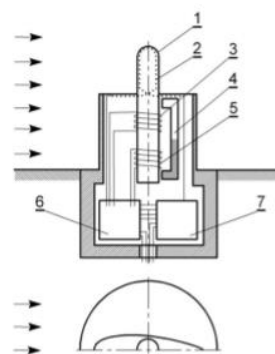
Rys. 4. Schemat ciśnieniowego czujnika oblodzenia [10]

Powszechnie stosowanym czujnikiem oblodzenia jest elektryczny detektor Angielski typu „Napier” (rys. 5). W literaturze nazywany jest również czujnikiem mechanicznym. Silnik elektryczny napędza wał i cylinder wprawiając układ w ruch obrotowy. W odległości 0,5 mm równoległe do cylindra umieszczone jest nieruchome ostrze ścinające. W warunkach braku oblodzenia do napędzania cylindra potrzebny jest niewielki moment obrotowy. Gdy statek powietrzny znajdzie się w strefie oblodzenia lód zacznie odkładać się na powierzchni wirującego cylindra. Gdy warstwa lodu odkładająca się na cylindrze osiągnie grubość 0,5 mm zacznie być ścinana przez nieruchome ostrze [2]. Co spowoduje wzrost momentu obrotowego od silnika. Obudowa silnika elektrycznego posiada sprężyste zamocowanie w wyniku wzrostu momentu obudowa ulegnie niewielkiemu obrotowi zwierając stykniki sondy.



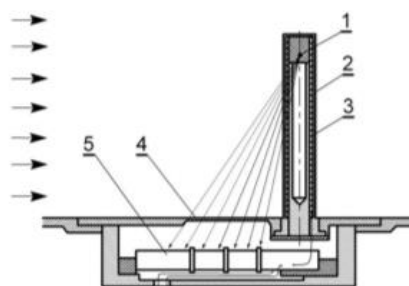
Rys. 5. Schemat elektrycznego czujnika oblodzenia: 1 – nóż, 2 – obracający się cylinder, 3 – przekładnia, 4 – wirnik silnika elektrycznego, 5 – kadłub silnika elektrycznego, 6 – watek tylny z dźwigni, 7 – stykownik, 8 – kadłub czujnika, 9 – lampka sygnalizacyjna [2]

Detektor lodu typu Rosemount jest czujnikiem wibracyjnym (rys. 6). Elementem wprowadzanym w drgania z częstotliwością oscylacji około 35 kHz jest obudowa cylindrycznego pręta wystawionego na działanie strug powietrza [2]. Odkładanie się lodu na pręcie powoduje zwiększenie jego masy i zmniejszenie częstotliwości drgań. Zmiana częstotliwości drgań poniżej zakresu dopuszczalnego powoduje wysłanie sygnału o oblodzeniu statku powietrznego.



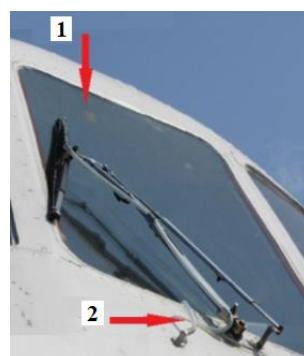
Rys. 6. Schemat wibracyjnego czujnika oblodzenia typu Rosemount: 1 – element czuły, 2 – grzałka, 3 – cewka sprzężenia zwrotnego, 4 – magnes, 5 – cewka wzbudząca, 6 – oscylator, 7 – przekaźnik [2]

Izotopowe czujniki oblodzenia automatycznie po wykryciu oblodzenia włączają systemy przeciwooblodzeniowe statku powietrznego. Detektor zbudowany jest ze źródła promieniowania radioaktywnego i podgrzewacza (rys. 7). Podczas oblodzenia zwiększa się rezystancja licznika. Gdy warstwa lodu osiągnie grubość 0,4 mm blok sterujący uruchamia ogrzewanie [2]. Po stopieniu warstwy lodu ogrzewanie zostaje wyłączone.



Rys. 7. Schemat izotopowego czujnika oblodzenia: 1 – materiał izotopowy, 2 – osłona cylindryczna, 3 – grzejnik, 4 – okno, 5 – licznik impulsów [2]

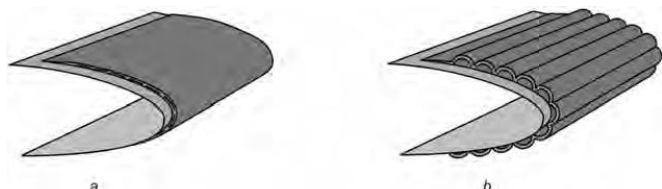
Jedną z metod czynnej ochrony konstrukcji płatowca jest metoda polegająca na stosowaniu urządzeń natrysku płynów odladzających na powierzchni obladzane. Jako płyny odladzające wykorzystuje się płyny na bazie glikolu (alkohol etylowy 98%), a metoda ta najczęściej wykorzystywana jest do ochrony powierzchni zewnętrznych oszkleń kabiny pilotów (rys. 8).



Rys. 8. Urządzenie przeciwooblodzeniowe wykorzystujące metodę natrysku płynów odladzających, lewa strona kabiny śmigłowca Mi-14 PS.: 1 – oszkleń kabiny pilotów, 2 – instalacja podawania płynu przeciwooblodzeniowego [3]

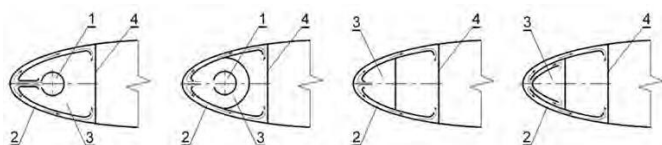
Instalacja natrysku płynu na bazie glikolu wykorzystywana jest również do ochrony krawędzi natarcia skrzydeł samolotu Cirrus SR22 znane pod nazwą płaczące skrzydło. Natryski cieczy przeciwo-blodzeniowej wykorzystywane są również do ochrony śmigieł małych samolotów General Aviation [9].

Jako mechaniczne metody ochrony przed oblodzeniem statków powietrznych wykorzystywane są urządzenia pneumatyczne (rys. 9). Instalacje te montowane są na krawędziach natarcia skrzydeł oraz usterzenia pionowego i poziomego. Przez kanały wewnętrzne tych instalacji cyklicznie przepływa powietrze pobierane z silnika statku powietrznego, a zmiana kształtu kanałów powoduje kruszenie i odpadanie lodu z ich powierzchni zewnętrznej.



Rys. 9. Urządzenia pneumatyczne mechanicznego usuwania lodu z krawędzi natarcia skrzydeł: a – układ pneumatyczny przed napełnieniem, b – układ po napełnieniu [1]

Termogazowe instalacje przeciwo-blodzeniowe stosowane są powszechnie dla statków powietrznych napędzanych silnikami turbiniowymi z powodu korzystnie dużej wartości parametru masowego natężenia przepływu powietrza. Gorące powietrze pobierane jest ze sprężarki silnika płynąc wydrążeniami i rurami wzdłuż krawędzi profili może ogrzewać krawędzie natarcia skrzydeł, stateczników pionowych i poziomych (rys. 10), oraz oszklenie kabiny pilotów. U uruchomienie termogazowej instalacji przeciwo-blodzeniowej wiąże się ze spadkiem siły ciągu silnika, gdyż do przepływu przez instalacje pobierane jest powietrze ze sprężarki w ilości 1% do 1,5% masowego natężenia przepływu powietrza silnika [1].



Rys. 10. Konstrukcyjne rozwiązania przepływu gorącego powietrza w termogazowych instalacjach przeciwo-blodzeniowych skrzydeł i usterzeń: 1 – kanał dystrybucji gorącego powietrza ze sprężarki silnika, 2 – kanały przepływowe w nosku profilu, 3 – komora mieszania, 4 – ścianka dźwigara [1]

Rezystancyjne metody ochrony przed oblodzeniem polegają na wykorzystaniu przepływu prądu przez elementy grzewcze w postaci metalowych taśm o wysokiej temperaturze topnienia (nichromu, konstantanu, fechry), wokół których stosuje się warstwy izolacyjne. Instalacje te charakteryzują się dużym zapotrzebowaniem w energię elektryczną (30kW÷150kW), stąd też stosowane są na stosunkowo niewielkie powierzchnie statku powietrznego lub uruchamiane cyklicznie [1]. Metodę tą wykorzystuje się do ogrzewania mierników ciśnień statków powietrznych, topat wirników śmigłowców i oszklenia kabiny załogi statku powietrznego.



Rys. 11. Kolektor elektryczny śmigłowca BLACK HAWK SH-60B [3]

W praktyce najczęściej stosowane są łączone metody przeciwo-działania oblodzeniu statków powietrznych. Ochrona taka polega na stosowaniu urządzeń wykorzystujących różne metody i środki ochrony przeciwo-blodzeniowej.

PODSUMOWANIE

Zdecydowana większość współczesnych urządzeń przeciwo-blodzeniowych wykorzystuje energię pobieraną z silnika statku powietrznego (instalacje elektryczne, termogazowe, mechaniczne). Sytuacja taka wiąże się ze zmniejszeniem mocy silników w trybie aktywnej pracy urządzeń przeciwo-blodzeniowych. Podczas procedury startu statku powietrznego konieczne jest stosowanie metod mniej energochłonnych, takich jak natryski płynów przeciwo-blodzeniowych, które posiadają ograniczenia w czasie stosowania wynikające z pojemności zbiorników na płyn. Najskuteczniejszą metodą ochrony konstrukcji płatowca statku powietrznego jest stosowanie metody łączonej ochrony. Tak dobierając instalacje, aby niwelować wady jednej metody inną. Przykładem takiej ochrony jest samolot Cirrus SF50, którego skrzydła chronione są za pomocą pneumatycznych instalacji odladzających. Natomiast na dziobie samolotu znajdują się dysze rozpryskujące ciecz odladzającą na kadłub i oszklenie kabiny. Rozwiązanie takie pozwala na decyzje wyboru metody ochrony zależnie od obecnych warunków lotu statku powietrznego, a aktywny tryb pracy wszystkich instalacji nie zmniejsza wyraźnie mocy układu napędowego. Istotne dla wydajnego i bezpiecznego usunięcia warstwy lodu z powierzchni płatowca jest włączenie instalacji przeciwo-blodzeniowych we właściwym momencie jeszcze przed wejściem statku powietrznego w strefę oblodzenia. Instalacje elektryczne i termogazowe posiadają pewne opóźnienie (bezwładność), zadziałania. Jest to czas potrzebny do nagrzania chronionych powierzchni. W przypadku włączenia urządzeń już w strefie oblodzenia maleje sprawność procesu nagrzewania się powierzchni płatowca. Rozwój technologii ochrony i procesów identyfikacji zjawiska oblodzenia wynika z potrzeby wykonywania lotów nawet w trudnych warunkach. Dowodzi temu coraz powszechniejsze stosowanie tych systemów i urządzeń w samolotach małych.

BIBLIOGRAFIA

1. Chachurski R., Waślicki P., *Instalacje przeciwo-blodzeniowe i odladzające statków powietrznych*, Prace Instytutu Lotnictwa 213, Warszawa 2011,
2. Chachurski R., Waślicki P., *Wykrywanie i sygnalizacja oblodzenia statków powietrznych*, Prace Instytutu Lotnictwa 213, Warszawa 2011.
3. Gębura A., Janusiak K., Paradowski M., *Oblodzenie statku powietrznego – przyczyny, skutki, przeciwdziałanie*, Journal of KONBiN 4(32)2014, ISSN 1895-8281, DOI 10.2478

4. Lewitowicz J., Żyluk A., *Podstawy eksploatacji statków powietrznych, TOM 5*, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2006
5. Milkiewicz A., Stepaniuk R., *Praktyczna aerodynamika i mechanika lotu samolotu odrzutowego, w tym wysokomanewrowego*, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2009
6. Szewczak P., *Meteorologia dla pilota samolotowego (PPL, CPL, ATPL, IR), Seria szkoleniowa „AVIA-TEST”*, Poznań 2007.
7. Szutowski L., *Poradnik pilota samolotowego, Seria szkoleniowa „AVIA-TEST”*, Poznań 2007
8. Wróbel M., *Zjawisko i rodzaje oblodzenia profili łopaty oraz struktury śmigłowca*, PZL Świdnik S. A., 2008
9. <http://cirrusaircraft.pl/fiki/> (dostęp: 23.10.2017)
10. <http://www.samoloty.pl/artykuly-lotnicze/6774-niebezpieczenstwa-w-locie-oblodzenie-patowca-cz-2>

Anti-icing systems used in aircraft construction

Global climate change is the cause of the ever-increasing number of violent, undesirable atmospheric phenomena. In aviation, bad weather is one of the causes of accidents in which the icing on the aircraft is at the head of the classification. The icing of the airframe affects the deterioration of the aircraft's properties, and extreme ice concentrations can reach up to 2 cm/min. This situation requires the use of anti-icing systems on aircraft. Information on ice-friendly conditions, icing aircraft surfaces, and aircraft anti-icing systems can be found in this article.

Autorzy:

mgr inż. **Damian Olejniczak** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, email: damian.a.olejniczak@doctorate.put.poznan.pl

mgr inż. **Marcin Nowacki** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, email: marcin.ro.nowacki@doctorate.put.poznan.pl

dr hab. inż. **Jarosław Markowski**, profesor nadzwyczajny – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, email: jaroslaw.markowski@put.poznan.pl