

ZAGROŻENIA OBLODZENIEM LOTNICZYCH SILNIKÓW TŁOKOWYCH

Ryszard Chachurski

Wojskowa Akademia Techniczna

Streszczenie

W artykule zaprezentowano podstawowe informacje związane z problematyką oblodzenia układów dolotowych lotniczych (i nie tylko) silników tłokowych będące wynikiem analiz i prac badawczych prowadzonych w ITL WAT. Opisano warunki sprzyjające oblodzeniu oraz procesy zachodzące wewnątrz kanału przepływowego gaźnika. Przedstawiono wpływ zasysania do wlotu wody, kondensacji pary wodnej oraz parowania paliwa w gaźniku na tworzenie się w nim osadów lodowych. Pokazano schematy układów zapobiegających oblodzeniu stosowane w lotniczych silnikach tłokowych poprzez ogrzewanie ścianek gaźników, podgrzewanie powietrza oraz możliwości bezwładnościowego usuwania kropel wody z powietrza zasysanego do wlotu. Sformułowano wskazówki dla pilotów pozwalające na możliwie wczesne zauważenie przez nich objawów oblodzenia.

Słowa kluczowe: układ dolotowy, gaźnik, oblodzenie

Lotnicze prognozy pogody nie zawierają zazwyczaj specjalnych ostrzeżeń dotyczących możliwości wystąpienia oblodzenia układów dolotowych silników tłokowych. Wymusza to konieczność wyposażenia załóg statków powietrznych w odpowiedni zasób wiedzy pozwalający na właściwą ocenę warunków atmosferycznych w celu uniknięcia niebezpieczeństwa pojawienia się tego rodzaju oblodzenia, które może wystąpić w szerokim zakresie temperatur. Najczęściej pojawia się w temperaturach od -10°C do $+25^{\circ}\text{C}$ przy wilgotności względnej 60% i wyższej.

Od roku 2005 badania procesów obladzania lotniczych silników tłokowych prowadzone są także w Polsce w ITL WAT.

WARUNKI SPRZYJAJĄCE OBLADZANIU SILNIKÓW TŁOKOWYCH

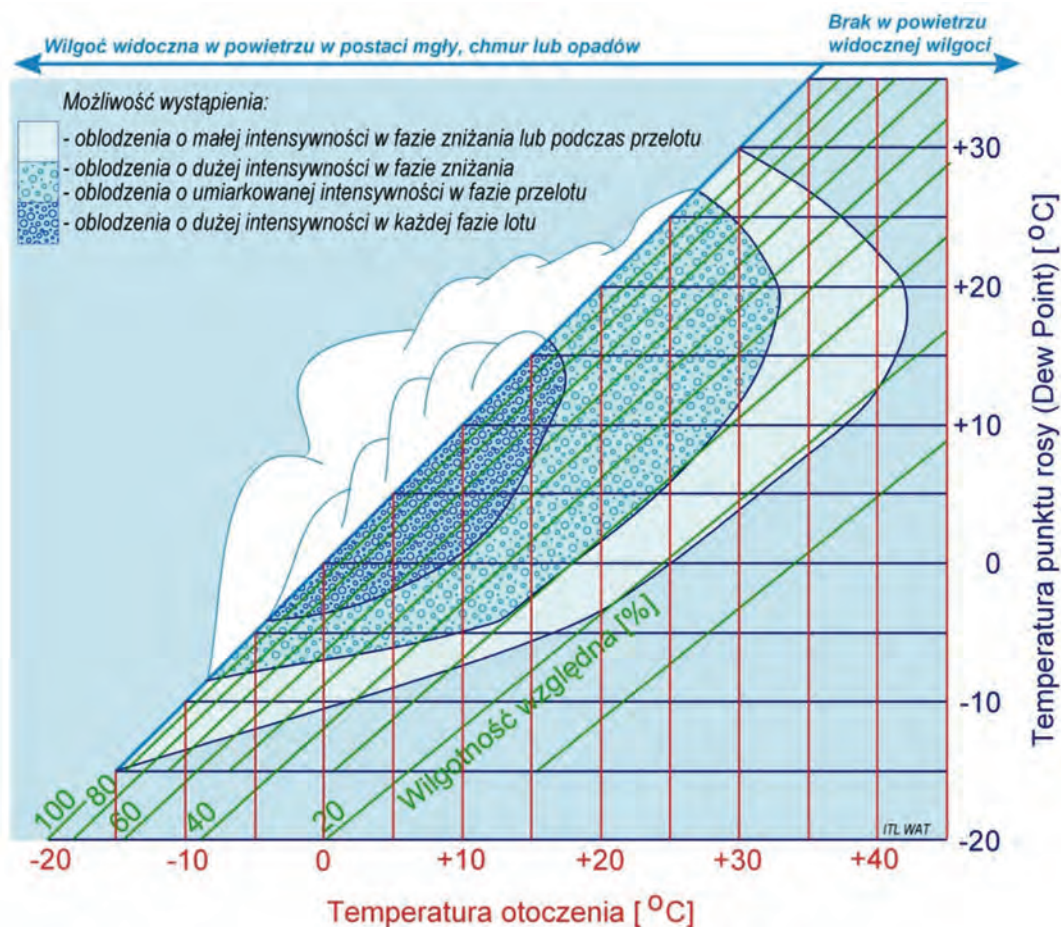
Podatność na oblodzenie lotniczych silników tłokowych jest znacznie zróżnicowana i zależy od wielu czynników, takich jak np. geometria układu dolotowego, rodzaj i budowa gaźnika, prędkości przepływu strumienia powietrza przez poszczególne przekroje kanału układu dolotowego itd. Na podstawie badań doświadczalnych ustalono, że podczas zniżania lotu przy częściowym otwarciu przepustnicy oblodzenie może zdarzać się w temperaturze ponad 38°C przy wilgotności względnej poniżej 30%. Zagrożenie oblodzeniem układów dolotowych jest zdecydowanie większe w ciepłe i wilgotne letnie dni niż w suche dni zimowe, ponieważ w te pierwsze dni powietrze zawiera więcej pary wodnej (paradoksalnie jeden z najnowszych diagramów służących do oceny zagrożenia oblodzeniem lotniczych silników tłokowych został opublikowany w roku 2000 w Australii). Widoczna woda w postaci opadów, chmur czy zamglenia nie jest warunkiem koniecznym do wystąpienia pewnych rodzajów oblodzenia układów dolotowych, jednak niebezpieczeństwo jednoczesnego pojawienia się wszystkich jego rodzajów rośnie przy obecności widocznych objawów obecności wody w powietrzu.

Na podstawie badań prowadzonych w wielu krajach głównie jeszcze przed II Wojną Światową oraz w trakcie jej trwania ustalono, że możliwość wystąpienia oblodzenia, jak i jego stopień, są w istotny sposób uzależnione od konfiguracji układu dolotowego, rodzaju zasilania i gaźnika itp. W rezultacie ówczesnych, a także późniejszych badań opracowano kilka różniących się nieco między sobą diagramów pozwalających na ocenę możliwości wystąpienia oblodzenia układów dolotowych lotniczych silników tłokowych. Diagramy dotyczą przede wszystkim silników z gaźnikami pływakowymi, gdyż zagrożenie oblodzeniem dla silników wyposażonych w większość typów gaźników przeponowych lub we wtryskowe układy zasilania jest znacznie mniejsze. Na diagramach najistotniejsze są pola wskazujące na występowanie warunków sprzyjających pojawianiu się silnego oblodzenia.

Na rys. 1 pokazano zbiorczy diagram przeznaczony do oceny możliwości wystąpienia oblodzenia układów dolotowych lotniczych silników tłokowych opracowany w ITL WAT m.in. na podstawie diagramów dostępnych w różnych źródłach. Na diagramie wydzielono 4 strefy odpowiadające różnym stopniom zagrożenia oblodzeniem, w których:

- zagrożenie oblodzeniem nie występuje,
- istnieje możliwość wystąpienia oblodzenia o małej intensywności w fazie zniżania lub podczas przelotu,
- może wystąpić oblodzenie o umiarkowanej intensywności w fazie przelotu lub o dużej intensywności podczas zniżania,
- oblodzenie o dużej intensywności może wystąpić w każdej fazie lotu.

Należy zwrócić uwagę, że diagram przedstawiony na rys. 1 dotyczy warunków, w których woda nie występuje w powietrzu w postaci widocznej, np. jako mgła, chmury, deszcz itp. Obecność w powietrzu wody w postaci widocznej zwiększa możliwość wystąpienia oblodzenia.



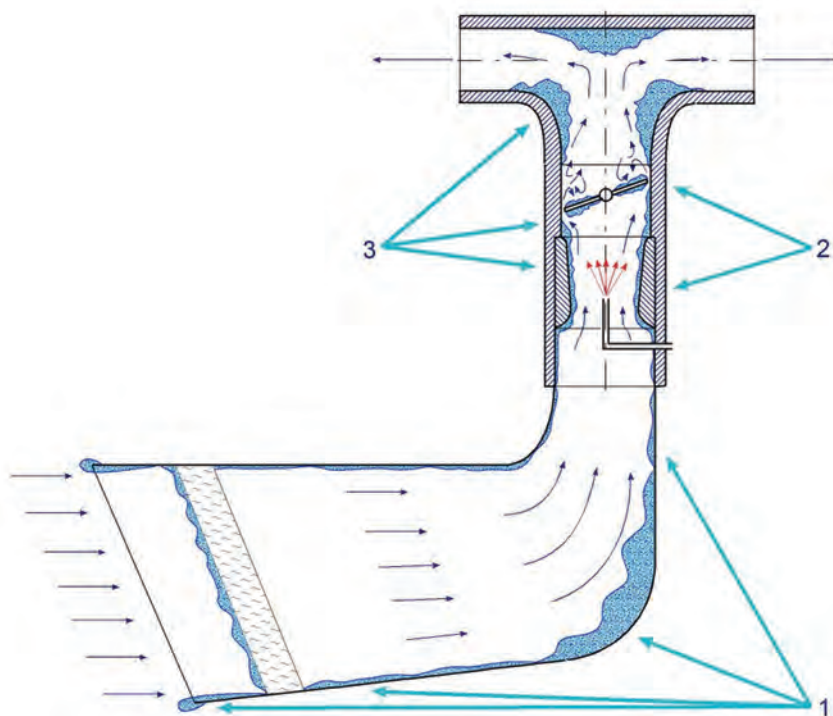
Rys.1. Diagram do określania możliwości wystąpienia oblodzenia elementów układu dolotowego lotniczego silnika tłokowego

Trzeba także pamiętać, że opracowane diagramy mają jedynie charakter pomocniczy, mający uświadomić załogom statków powietrznych możliwość wystąpienia zagrożenia oblodzeniem i wzmocnić ich czujność. Pomocniczy charakter diagramu wynika z różnorodności budowy układów dolotowych silników tłokowych, a także stosowanych w nich gaźników oraz wynikających z tego różnic w wartościach parametrów strumienia czynnika roboczego przepływającego przez te układy dolotowe. Z tego względu należy przede wszystkim bezwzględnie przestrzegać zaleceń zawartych w instrukcjach eksploatacji poszczególnych statków powietrznych i ich zespołów napędowych.

MECHANIZM OBLADZANIA SILNIKÓW TŁOKOWYCH

Literatura poświęcona opisywanej tematyce wyróżnia, na podstawie mechanizmów jego powstawania, trzy rodzaje źródeł oblodzenia układów dolotowych lotniczych silników tłokowych:

Woda zawarta w powietrzu – oblodzenie pojawia się w wyniku oddziaływania strumienia wilgotnego powietrza, jeśli temperatura otoczenia lub statku powietrznego wynosi od 0°C do +5°C lub jest niższa. Strumień wilgotnego powietrza uderzający w elementy układu dolotowego silnika tłokowego powoduje ich chłodzenie i zamarzanie na nich zawartych w powietrzu kropeł wody. Lód może tworzyć się na chwytach powietrza, ekranach zamontowanych we wlotach, ściankach układu dolotowego, filtrach powietrza, elementach zaworów powietrza doprowadzanego z chwytów dodatkowych (rys. 2) oraz na przegrodach wewnątrz kanałów dolotowych.

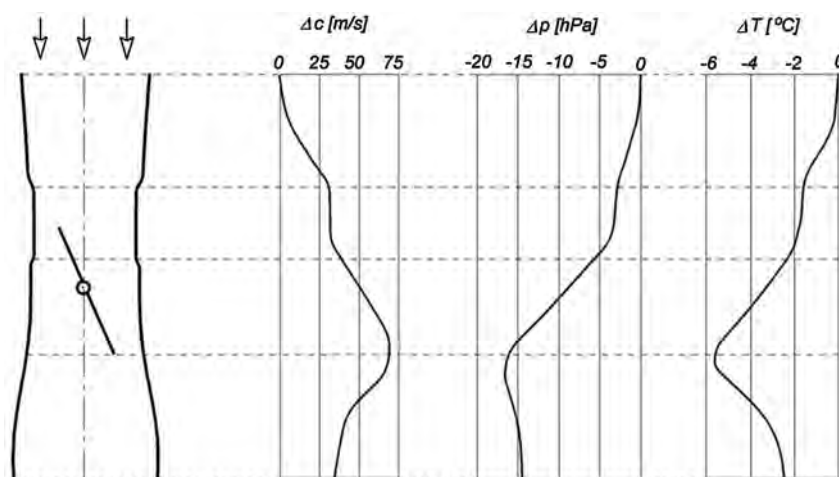


Rys. 2. Miejsca, w których źródłem oblodzenia jest woda zawarta w powietrzu (1), para wodna zawarta w powietrzu (2), parujące paliwo (3)

Szczególne zagrożenie tym rodzajem oblodzenia występuje podczas opadów śniegu, deszczu ze śniegiem, lotu w chmurach oraz podczas deszczu przy temperaturach otoczenia w granicach 0°C zwłaszcza, jeśli lód jest widoczny na szybach kabiny lub elementach płatowca. Największą prędkość narastania warstwy lodu obserwuje się w temperaturze około -4°C, w której przechłodzone krople wody w powietrzu znajdują się w stanie półpłynnym. Ten typ oblodzenia zazwyczaj nie stanowi zagrożenia przy bardzo niskich temperaturach otoczenia, ponieważ wilgotność względna powietrza jest wówczas zazwyczaj niewielka. W tych temperaturach woda zawarta w powietrzu może przyjmować postać kryształków lodu, które w przypadku braku filtrów mogą przedostawać się wraz z powietrzem przez kanał dolotowy silnika nie powodując zwykle za-

dnych zakłóceń w jego pracy. Ponieważ jednak układy dolotowe zwykle wyposażone są w filtry powietrza, kryształki lodu mogą osadzać się na filtrach, powodując ich oblodzenie i blokując dopływ powietrza do silnika. Oblodzenie, którego źródłem jest woda zawarta w powietrzu występuje we wszystkich rodzajach lotniczych silników tłokowych, zarówno gaźnikowych, jak i z wtryskiem niskociśnieniowym czy bezpośrednim.

Para wodna zawarta w powietrzu – oblodzenie może pojawiać się nawet przy stosunkowo wysokich temperaturach powietrza w warunkach częściowego otwarcia przepustnicy, typowego dla zakresów pracy silnika zbliżonych do biegu jałowego i dla małych otwarć przepustnicy odpowiadających podczas lotu fazie zniżania lub przelotu. Jest ono wynikiem kondensacji i zamarzania pary wodnej zawartej w powietrzu wskutek obniżania się temperatury w gardzieli gaźnika oraz przestrzeni między krawędziami przepustnicy a ściankami kanału przepływowego gaźnika. Lód pojawia się w gardzieli gaźnika i bezpośrednio za nią, a także bezpośrednio na przepustnicy i ściankach kanału dolotowego w jej pobliżu wskutek zwiększenia prędkości przepływu czynnika roboczego, spadku jego ciśnienia i temperatury (rys. 3). Prędkość narastania warstwy lodu zależy w tym przypadku od wilgotności powietrza i wielkości otwarcia przepustnicy, przy czym dłuższa praca silnika w takich warunkach grozi całkowitym złąwieniem przepływu powietrza i zgaśnięciem silnika. Do powstania oblodzenia, którego źródłem jest para wodna znajdująca się w powietrzu nie jest konieczne występowanie widocznej wilgoci w powietrzu (np. w postaci chmur, opadów itp.).



Rys. 3. Rozkład średnich wartości prędkości przepływu powietrza oraz jego temperatury i ciśnienia wzdłuż kanału przepływowego typowego gaźnika dla częściowego uchylenia przepustnicy

Oblodzenie to pojawia się we wszystkich typach silników tłokowych, zarówno z zasilaniem gaźnikowym, jak i z zasilaniem wtryskowym (na przepustnicach regulujących dopływ powietrza). Jest ono jednak zdecydowanie bardziej niebezpieczne dla silników gaźnikowych, w których rozpylacze paliwa znajdują się przed przepustnicą, ponieważ proces odparowywania paliwa w szczelinach między krawędziami przepustnicy a ściankami gaźnika znacznie zwiększa możliwość powstania lodu.

Parujące paliwo – oblodzenie jest wynikiem obniżania temperatury mieszanki paliwowo-powietrznej do temperatury zamarzania wody w wyniku pobierania ciepła koniecznego do odparowania paliwa od strumienia przepływającego powietrza i ścianek kanału przepływowego. W silnikach gaźnikowych pojawia się zwykle jednocześnie z oblodzeniem przepustnic. Lód osadza się na elementach gaźnika (np. na przepustnicy) i kolektora dolotowego znajdujących się za rozpylaczem paliwa. Możliwość znacznego obniżania się temperatury wewnątrz kanału dolotowego silników tłokowych na skutek odparowywania paliwa potwierdza szereg badań prowad-

zonych nie tylko dla silników lotniczych, ale i samochodowych czy motocyklowych. Zależności pozwalające na obliczenie parametrów parującego paliwa i mieszanki w gaźniku oraz długości drogi parowania kropli paliwa opracował w roku 1983 zespół pracowników Zakładu Napędów Lotniczych WAT. Wyniki obliczeń wskazują, że pełne odparowanie kropli paliwa, w zależności od jej średnicy, odbywa się na drodze kilku – kilkunastu centymetrów, przy czym w 80% odparowuje ona na długości 2...4 centymetrów. Paliwo, które jeszcze nie odparowało porusza się głównie w postaci drobnych kropeł w mieszance, a jego niewielka część (w nagrzanym silniku około 3...4% jego ogólnej ilości) tworzy ciekłą powłokę płynącą po ściankach kanału dolotowego.

Całkowite odparowanie benzyny w układzie dolotowym silnika pracującego na mieszance ubogiej obniża temperaturę mieszanki o ok. 17...20°C, natomiast dla mieszanki bogatej spadek jej temperatury w wyniku odparowania benzyny sięga nawet 30°C.

Instrukcje eksploatacji niektórych silników, głównie stosowanych do napędu amatorskich statków powietrznych, przewidują, że mogą one być zasilane zarówno benzyną lotniczą jak i samochodową. Z przeprowadzonych badań porównawczych wynika, że z powodu większej lotności i możliwej większej zawartości wody niebezpieczeństwo wystąpienia oblodzenia układów dolotowych jest większe dla silników eksploatowanych z wykorzystaniem benzyn samochodowych niż lotniczych.

W zależności od konfiguracji układu dolotowego, rodzaju i konstrukcji gaźnika, zagrożenie oblodzeniem może być różne. Oblodzenie będące wynikiem odparowania paliwa jest największym zagrożeniem w silnikach wyposażonych w gaźniki pływakowe, w których rozpylacze paliwa są z reguły usytuowane przed przepustnicą, a mniejszym w silnikach z gaźnikami przeponowymi, ponieważ w nich często rozpylacze paliwa umieszcza się za przepustnicą. W silnikach z wtryskiem bezpośrednim oraz z gaźnikiem umieszczonym za sprężarką doładowującą ten rodzaj oblodzenia nie występuje. Tradycyjnie w silnikach samolotów bojowych używanych podczas II Wojny Światowej w silnikach gwiazdowych gaźniki umieszczano przed sprężarką. W silnikach szeregowych (zwykle w układzie widlastym z cylindrami stojącymi lub wiszącymi) gaźniki przed sprężarkami znajdowały się w silnikach amerykańskich i brytyjskich, natomiast w silnikach rosyjskich były one zawsze usytuowane za sprężarkami. Niemcy natomiast w silnikach swoich samolotów bojowych stosowali wyłącznie bezpośredni wtrysk benzyny do cylindrów (pod ciśnieniem ok. 25 MPa). W silnikach z wtryskiem niskociśnieniowym, chociaż zwykle w punkcie kanału dolotowego, w którym jest on realizowany zachodzi ogrzewanie ścianek kanału w wyniku przejmowania ciepła od cylindrów silnika, ten rodzaj oblodzenia może pojawić podczas rozruchu wystudzonego silnika w warunkach zimowych.

Największe zagrożenie występuje w przypadku gaźników pływakowych, w których nakładają się efekty wszystkich źródeł oblodzenia.

Jednocześnie z oblodzeniem układów dolotowych silników tłokowych może wystąpić oblodzenie ich układów paliwowych. Związane jest ono z obecnością wody w paliwie (szczególnie alkohole zawsze zawierają pewną ilość wody). Woda ta może zamarzać w instalacji paliwowej, przede wszystkim w filtrach, ale także w zakolach przewodów paliwowych, powodując przetrwanie dopływu paliwa. Woda zawarta w paliwie dostaje się razem z nim do kanału dolotowego i może tam zamarzać w wyniku opisanych powyżej procesów.

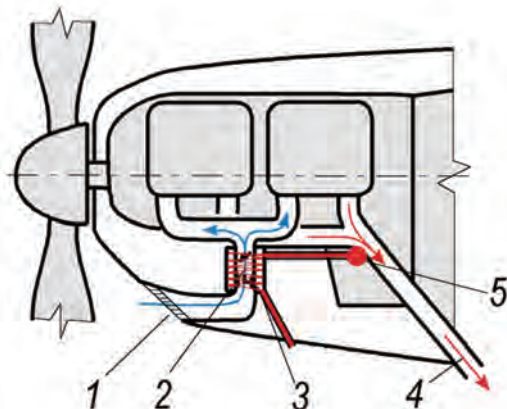
SPOSOBY PRZECIWDZIAŁANIA OBLODZENIU LOTNICZYCH SILNIKÓW TŁOKOWYCH

Oblodzeniu układów dolotowych silników tłokowych zapobiega się różnymi sposobami, w zależności od konstrukcji silnika, umiejscowienia na płatowcu, sposobu jego chłodzenia itp. W większości przypadków stosuje się ogrzewanie ich newralgicznych elementów takich jak gaźniki oraz kolektory dolotowe lub też doprowadza się do gaźnika powietrze o wyższej temperaturze.

Aktualnie obowiązujące przepisy certyfikacji statków powietrznych wyposażonych w silniki tłokowe (w tym z tłokami wirującymi) nakazują wyposażanie układów dolotowych silników

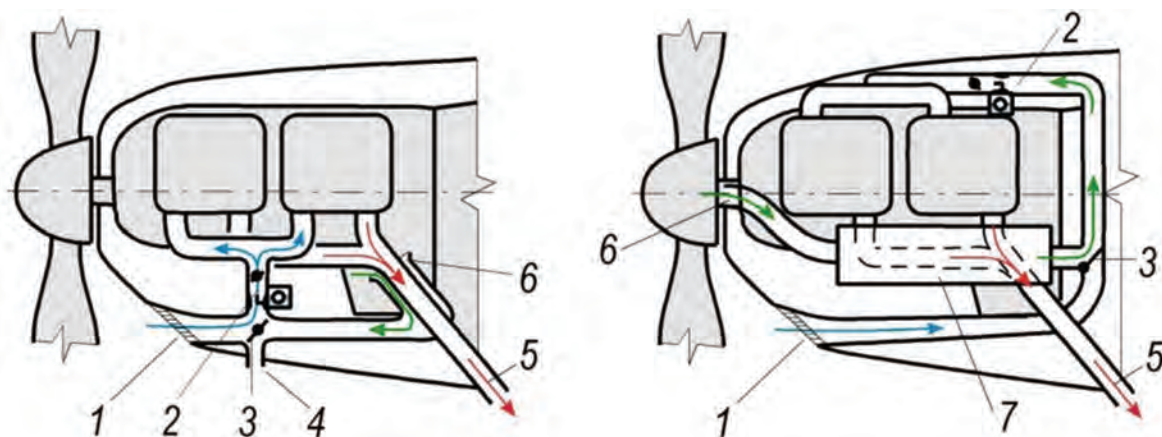
w systemy zapobiegające ich oblodzeniu i usuwające lód, który może się w nich utworzyć. Praca silników jest sprawdzana w warunkach, w których w powietrzu atmosferycznym o temperaturze -1°C nie jest widoczna woda w żadnej postaci (chmury, mgła, opady deszczu, śniegu itp.).

Zabezpieczanie układów dolotowych silników tłokowych przed oblodzeniem może być realizowane w różny sposób. Ogrzewanie gaźników lub kolektorów dolotowych może być realizowane poprzez umieszczenie ich wewnątrz nagrzewnicy, do której doprowadza się czynnik grzewczy. W przypadku silników o mniejszych mocach, stosowanych w samolotach sportowych i turystycznych czynnikiem podgrzewającym elementy układu dolotowego są często spaliny z kolektora wylotowego (rys. 4).



Rys.4. Schemat układu dolotowego silnika tłokowego z ogrzewaniem newralgicznych elementów układu przy wykorzystaniu spalin. 1 - wlot powietrza z filtrem, 2 - gaźnik, 3 - nagrzewnica, 4 - wylot spalin, 5 - zawór sterowania ogrzewaniem

W niektórych silnikach rolę czynnika grzewczego pełni gorący olej z instalacji olejenia silnika lub gorąca woda z układu chłodzenia¹. Bardziej skomplikowane rozwiązania, które były raczej stosowane w silnikach o średnich lub dużych mocach, to takie, w których olej z instalacji olejenia silnika (rzadziej spaliny lub woda) przepływały nie tylko kanałami wykonanymi w ściankach gaźnika w strefie gardzieli i za nią, ale również kanałami wewnątrz tarcz przepustnic. Odpowiednią temperaturę ogrzewanych elementów uzyskuje się poprzez właściwe ustawienie zaworu doprowadzającego czynnik grzewczy do nagrzewnicy.



Rys.5. Schematy układów dolotowych silników tłokowych z podgrzewaniem powietrza. 1 - główny wlot powietrza z filtrem, 2 - gaźnik, 3 - zawór powietrza ogrzanego, 4 - upust powietrza ogrzanego, 5 - wylot spalin, 6 - dodatkowy wlot powietrza, 7 - nagrzewnica

¹ Rozwiązanie wykorzystujące do podgrzewania układu dolotowego gorącą wodę z układu chłodzenia silnika jest współcześnie stosowane np. silnikach do napędu motolotni w produkowanych (na bazie silników motocyklowych Honda CBR 600F4/5) przez firmę P.P.U. Azymut.

Drugi często stosowany sposób zapobiegania oblodzeniu elementów układu dolotowego silników tłokowych polega na doprowadzaniu do gaźnika ogrzanego powietrza pobieranego przez wlot dodatkowy (rys. 5).

W warunkach sprzyjających oblodzeniu dopływ powietrza z wlotu głównego jest odcinany za pomocą zaworu sterowania podgrzewaniem układu dolotowego, a jednocześnie otwierany jest dopływ powietrza wlotu dodatkowego. Wlot dodatkowy umieszczany jest pod osłoną silnika w strefie ogrzewanej ciepłem od cylindrów silnika lub może znajdować się w bezpośredniej bliskości rury wydechowej. W związku z tym, że przepisy budowy statków powietrznych z silnikami tłokowymi wymagają dla niektórych silników wzrostu temperatury o 50...67°C, powietrze pobierane z wlotu dodatkowego przepływa często przewodem usytuowanym współśrodkowo wokół rury odprowadzającej spaliny z silnika. Inne rozwiązanie polega na pobieraniu powietrza przez wloty rozmieszczone w osłonie silnika i podgrzewaniu go w nagrzewnicy usytuowanej współśrodkowo wokół kolektora wylotowego (rys. 5). Pożądaną temperaturę powietrza w kanale dolotowym silnika uzyskuje się poprzez odpowiednie ustawienie zaworu regulującego dopływ powietrza z wlotu dodatkowego, przy czym zazwyczaj instrukcje eksploatacji nakazują włączanie podgrzewania na pełny zakres. Jedynie w przypadku niektórych silników wyposażonych w systemy do pomiaru ciśnienia i temperatury w układzie dolotowym instrukcje eksploatacji dopuszczają włączanie podgrzewania na zakres mniejszy od maksymalnego. Zastosowanie częściowego otwarcia zaworu przy temperaturach otoczenia poniżej 0°C może spowodować podniesienie temperatury wewnątrz kanału dolotowego silnika (wynoszącej w danej chwili np. – 10°C) do takiej, przy której dostające się do układu dolotowego kryształki lodu będą topnieć, a następnie ponownie zamarzać na przepustnicy powodując jej oblodzenie przy lokalnej wartości temperatury w granicach 0°C.

Instalacje zapobiegające oblodzeniu, niezależnie od ich typu, należy stosować wyłącznie w warunkach sprzyjających oblodzeniu. Włączenie podgrzewania lub pobór ogrzanego powietrza powoduje znaczące ograniczenie napełnienia cylindrów silnika masowym ładunkiem powietrza i zmniejszenie jego mocy. Oprócz tego wlot powietrza dodatkowego nie zawsze jest wyposażony w filtr, co może doprowadzić do uszkodzenia silnika z powodu zassania zanieczyszczeń i to w trudnej fazie – podczas startu samolotu.

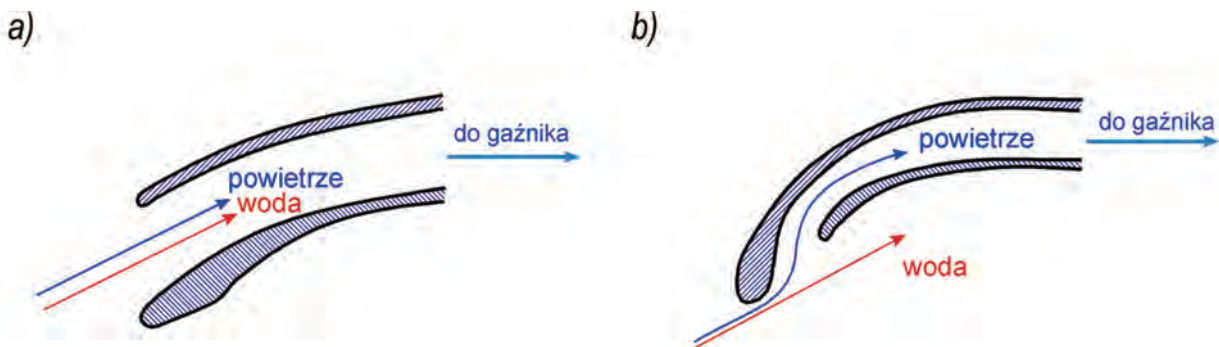
Po włączeniu podgrzewania gaźnika na zakresie przelotowym należy pamiętać o skorygowaniu składu mieszanki dla jej zubożenia (nie koryguje się składu mieszanki przy niskich prędkościach obrotowych wału korbowego).

Poszczególne silniki mają różną podatność na oblodzenie, przy czym może się to inaczej kształtować dla tego samego silnika w zależności od zabudowy na innym płatowcu, zastosowania innego chwytu powietrza itp. Przykładowo, przy większych prędkościach lotu, odpowiednie ukształtowanie chwytu powietrza może ułatwiać bezwładnościowe oddzielanie kropeł wody od strumienia powietrza zasysanego do silnika (rys. 6).

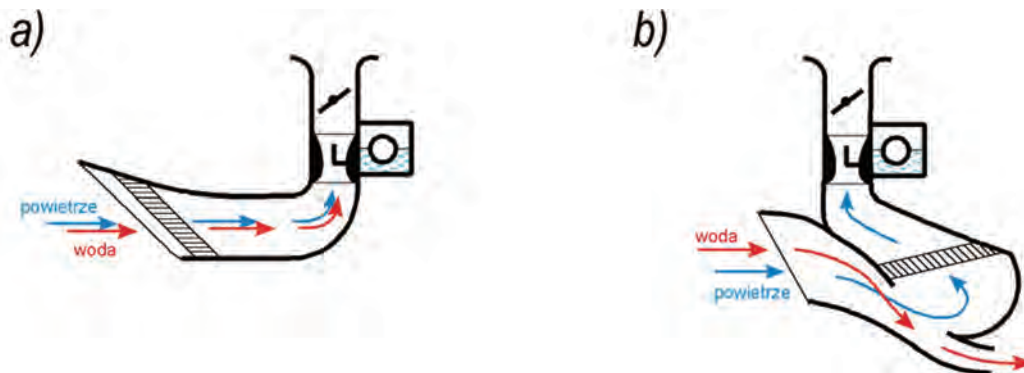
Zmniejszenie zagrożenia oblodzeniem można także uzyskać poprzez właściwe usytuowanie filtra powietrza (rys. 7). Skuteczność bezwładnościowych separatorów wody można zwiększyć poprzez zastosowanie ejektorów wykorzystujących prędkość spalin wypływających z rur wylotowych silnika do odsysania kropeł wody. Dla uniknięcia oblodzenia separatorów pożądane jest ich ogrzewanie, np. przy wykorzystaniu spalin z układu wylotowego.

W przypadku silników z doładowaniem usytuowanie gaźnika przed sprężarką polepsza jakość mieszanki, jednak zwiększa jego zagrożenie oblodzeniem z powodu obniżenia ciśnienia, a tym samym i temperatury, w gardzieli gaźnika. Umieszczenie gaźnika za sprężarką nie zwiększa tak bardzo jakości mieszanki, jednak zabezpiecza gaźnik przed oblodzeniem ze względu na wzrost temperatury za sprężarką.

²Wg schematu pokazanego na rys. 7b w używanych podczas II Wojny Światowej samolotach myśliwskich Jak-3 odseparowywano z powietrza duże ziarna zanieczyszczeń podczas startu z lotnisk trawiastych.



Rys. 6. Wpływ ukształtowania chwytu powietrza na możliwość separacji wody (a) nie sprzyjający separacji wody, (b) sprzyjający separacji wody



Rys. 7. Wpływ ukształtowania chwytu powietrza i umiejscowienia filtra powietrza na podatność oblodzeniową filtra (a) klasyczny, (b) o zmniejszonej podatności na oblodzenie filtra

Najmniej podatne na oblodzenie są silniki z bezpośrednim wtryskiem paliwa do cylindrów, gdyż eliminuje się w tym przypadku oblodzenie będące wynikiem parowania paliwa i obecności przewężenia kanału dolotowego (gardzieli gaźnika). Innym rodzajom oblodzenia można zapobiegać poprzez odpowiednie kształtowanie chwytu powietrza, ogrzewanie ścianek gaźnika i kanału dolotowego oraz właściwy kształt samego kanału lub kolektora dolotowego.

W celu unikania zamarzania w instalacji paliwowej (np. w filtrach) wody zawartej w paliwie stosuje się specjalne dodatki do paliwa. Innym, rzadziej stosowanym, sposobem jest podgrzewanie paliwa, przy czym układy takie muszą być szczególnie uważnie projektowane i używane, ponieważ zbyt duży wzrost temperatury paliwa może prowadzić do jego parowania i powstawania korków parowych uniemożliwiających przepływ paliwa.

Piloci wielu bardzo prostych obiektów latających, takich jak motolotnie lub parolotnie mają w nich zabudowane silniki, które nie są certyfikowane i zwykle ich podatność na oblodzenie nie jest znana, a ponadto najczęściej nie mają one żadnych zabezpieczeń przeciwoblodzeniowych. Powinni oni sobie zdawać sprawę z niebezpieczeństwa wykonywania lotów w warunkach sprzyjających oblodzeniu układów dolotowych silników.

OBJAWY OBLODZENIA UKŁADÓW DOLOTOWYCH LOTNICZYCH SILNIKÓW TŁOKOWYCH

Efektom oblodzenia układu dolotowego silnika tłokowego jest stopniowe zmniejszanie jego mocy. W zależności od intensywności oblodzenia proces zmniejszania mocy silnika może nastąpić bardzo szybko lub też może odbywać się powoli w dłuższym czasie aż do oblodzenia rozpylaczy paliwa w gaźniku.

W przypadku samolotów wyposażonych w śmigło o stałym skoku łopat proces oblodzenia układu dolotowego silnika można zaobserwować na obrotomierzu po ciągłym powolnym zmniejszaniu się prędkości obrotowej wału silnika. Jeśli pilot nie podejmuje żadnych działań obniżanie się mocy silnika wskutek oblodzenia będzie się wiązać ze stałym zmniejszaniem się wysokości lub prędkości lotu. Ponieważ jednak piloci zwykle korygują powolne zmniejszanie

się prędkości lub wysokości lotu poprzez niewielkie zwiększenie otwarcia przepustnicy, prowadzi to często do maskowania wczesnych objawów wystąpienia oblodzenia, tym bardziej, że małej utracie mocy przez silnik może nie towarzyszyć jego nierówna praca. Dopiero po nagromadzeniu się w układzie dolotowym odpowiednio dużej ilości lodu występują takie objawy jak nierówna praca silnika, drgania, większe spadki mocy, którym towarzyszy zmniejszenie wysokości i prędkości lotu. W szczególnym przypadku silnik może się nawet samoczynnie wyłączyć. W przypadku samolotów wyposażonych w śmigła o zmiennym skoku (stałej prędkości obrotowej) lub śmigłowców - podczas oblodzenia układu dolotowego nie następuje zmniejszanie się prędkości obrotowej, ale występują te same objawy dotyczące obniżania własności pilotażowych statku powietrznego.

Jeżeli silnik wyposażony jest w czujnik ciśnienia w kolektorze dolotowym lub czujnik temperatury powietrza w układzie dolotowym czy temperatury spalin, to proces obladzania układu dolotowego można rozpoznać na odpowiednich wskaźnikach po obniżaniu się tegoż ciśnienia lub temperatury. Zmniejszanie się tych wartości jest **bardzo istotną informacją dla pilota, ponieważ poprzedza (!) jakiegokolwiek zauważalne objawy pogorszenia się charakterystyk użytkowych silnika lub płatowca**. W przypadku zauważenia opisanych zmian pilot powinien podjąć natychmiastowe działania przeciwdziałające oblodzeniu układu dolotowego silnika. Zaniechanie odpowiednich przedsięwzięć prowadzi do postępowania procesu obladzania do chwili konieczności wprowadzenia korekty zmniejszonej wysokości lotu. W dalszej kolejności może wystąpić tzw. „strzelanie” w gaźnik, a następnie nierównomierność pracy silnika (tzw. „przerwywanie”). W tym stanie silnik może nie być w stanie dostarczyć mocy niezbędnej do kontynuowania lotu i może się zatrzymać, zwłaszcza po zbyt gwałtownym ruchu przepustnicy. W przypadku silników śmigłowców występują podobne objawy, jak w przypadku silników samolotów.

PODSUMOWANIE

Oblodzenie lotniczych zespołów napędowych jest jedną z najczęstszych przyczyn wypadków lotniczych związanych ze zjawiskami meteorologicznymi. Jest ono groźne zarówno dla tłokowych jak i turbinowych zespołów napędowych statków powietrznych. W USA według bazy danych Aircraft Owners and Pilots Association (AOPA) w latach 1983 – 2007 zanotowano 472 zdarzenia spowodowane oblodzeniem lotniczych silników tłokowych (118 w ciągu ostatnich 10 lat), co stanowi 70% wszystkich zdarzeń związanych z oblodzeniem. Znajomość zjawisk związanych z oblodzeniem lotniczych zespołów napędowych jest tym bardziej ważna, że wśród przyczyn poważnych zdarzeń lotniczych związanych z tym rodzajem oblodzenia istotną rolę odgrywa czynnik ludzki. Na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX. wieku w ciągu 5 lat zanotowano ponad 360 zdarzeń lotniczych związanych z tym zjawiskiem. W 47 zniszczonych i 313 uszkodzonych statkach powietrznych zginęło z tego powodu 40 osób, a 160 zostało rannych, w tym 40 ciężko. Także w Polsce powtarzają się wypadki spowodowane oblodzeniem układów dolotowych silników tłokowych.

Trzeba pamiętać, że oblodzenie silników tłokowych wyposażonych w zasilanie gaźnikowe jest wysoce prawdopodobne przy temperaturach otoczenia sięgających +18°C przy bezchmurnym niebie, a obserwowano je nawet w temperaturach znacznie przekraczających +30°C.

Analizy wypadków i katastrof spowodowanych oblodzeniem silników pokazują, że najczęściej jednak ich przyczyną były różnego rodzaju błędy popełnione przez ludzi, jak np. nieznanostwo lub nieprzestrzeżenie instrukcji użytkowania silnika w powietrzu, niewłączone podgrzewanie gaźnika, nieświadomość możliwości wystąpienia oblodzenia gaźnika w upalny i bezchmurny dzień itp.

LITERATURA

- [1] **Chachurski R.:** *Analysis of aircraft powerplants icing possibility*, Journal of KONES 2007, Vol. 14, Warszawa, 2007
- [2] **Chachurski R.:** *Oblodzenie lotniczych silników tłokowych*, załącznik do sprawozdania z realizacji pracy badawczej nr 4 T12D 017 29, WAT, Warszawa, 2009
- [3] **Chachurski R., Szcześniak J., Zduńczyk M.:** *Lodowate zaskoczenie*, Przegląd Lotniczy Aviation Revue, nr 5/2006, Warszawa, 2006
- [4] **Dzierżanowski P., Łyżwiński M., Szczeciński S.:** *Silniki tłokowe, Napędy Lotnicze* (red. Szczeciński S.), WKiŁ, Warszawa 1983
- [5] **Kordziński C., Środulski T.:** *Układy dolotowe silników spalinowych*, WKiŁ, Warszawa, 1968
- [6] **Książek A.:** *Analiza zagrożenia oblodzeniem napędu paralotni*, praca magisterska, WAT, Warszawa, 2007
- [7] *Lest We Forget – The Engine Will Not Run Without Air Induction Icing And Other Obstruction*, Lycoming Textron
- [8] *Podręcznik mechanika lotniczego. Wiadomości teoretyczne o silniku. Album rysunków*, Ministerstwo Spraw Wojskowych. Departament Lotnictwa, Warszawa, 1928
- [8] *Raport końcowy wypadek nr 181/03 samolot Maule MX-7-180; SP-KPD, 03.10.2003 r, Bielsko-Biała*, Ministerstwo Infrastruktury, Państwowa Komisja Badania Wypadków Lotniczych, Warszawa, 2007
- [9] *Raport końcowy wypadek nr 183/03 samolot Cessna 150L; SP-FOY, 17 października 2003 r, Niegowonice-Pasieki*, Ministerstwo Infrastruktury, Państwowa Komisja Badania Wypadków Lotniczych, Warszawa, 2004
- [10] *Wypadek lotniczy na samolocie Cessna 150L – październik 2003 r.*, Biuletyn Informacyjny BL nr 15/2004, Urząd Lotnictwa Cywilnego, Warszawa, 2004

Przedstawione wyniki uzyskano w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2005 – 2008 jako projekt badawczy nr 4 T12D 017 29.