

## WYKRYWANIE I SYGNALIZACJA OBLODZENIA STATKÓW POWIETRZNYCH

RYSZARD CHACHURSKI, PIOTR WAŚLICKI

Wojskowa Akademia Techniczna

### Streszczenie

*Możliwość niezauważonego wystąpienia oblodzenia statku powietrznego stanowi istotny problem dla bezpieczeństwa latania. W przypadku szybkiego wzrastania grubości powłoki lodowej na powierzchniach nośnych może dojść do gwałtownego pogorszenia się własności lotnych statku powietrznego. Z tego względu bardzo istotne jest możliwie wcześnie wykrycie oblodzenia pozwalające na włączenie w odpowiednim czasie instalacji przeciwoblodzeniowej lub wyjście ze strefy oblodzenia. W artykule przedstawiono typowe rozwiązania konstrukcyjne wizualnych sygnalizatorów oblodzenia oraz czujników automatycznych zabudowywanych na samolotach i śmigłowcach.*

*Słowa kluczowe: statek powietrzny, oblodzenie, sygnalizacja oblodzenia, czujnik oblodzenia, zapobieganie oblodzeniu, oblodzenie wlotów do silników*

Oblodzenie elementów konstrukcyjnych statku powietrznego jest zjawiskiem powodującym zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie zagrożenie bezpieczeństwa lotów. Do grupy zagrożeń bezpośrednich zaliczyć można głównie zmiany charakterystyk aerodynamicznych i wzrost masy statku powietrznego, natomiast zagrożenie pośrednie powodowane przez oblodzenie powstaje np. wskutek utraty orientacji przestrzennej czy utratę kontroli nad parametrami lotu przez załogę. Jest to wynikiem tego, że oblodzeniu mogą ulegać następujące grupy elementów konstrukcyjnych statku powietrznego:

- elementy płatowca, np. krawędzie natarcia i powierzchnie skrzydeł i stateczników;
- elementy zespołu napędowego, np. wloty silnikowe, wlotowe stopnie sprężarek, śmigła, łopaty wirników nośnych śmigłowców oraz wloty i łopaty wentylatorów silników dwuprzepływowych;
- zewnętrzne elementy innych systemów, np. czujniki, anteny, elementy podwozia.

Proces obladzania może przebiegać z różną intensywnością. Przypadek, gdy grubość warstwy lodu w ciągu minuty wzrasta nie więcej niż o 0,5 mm traktowany jest jako oblodzenie o słabej intensywności, jeśli grubość warstwy lodu rośnie o 0,5...1 mm, wówczas oznacza to intensywność średnią, natomiast powyżej 1 mm/min to intensywność duża, przy czym w historii lotnictwa obserwowano przyrosty grubości warstwy lodu na powierzchniach nośnych rzędu 5...7 mm/min, a nawet większe (do 25 mm/min).

Ze względu na fakt, że nie zawsze możliwe jest wykonanie lotu poza rejonem warunków atmosferycznych sprzyjających występowaniu procesu oblodzenia elementów konstrukcyjnych, a w szczególności dotyczy to lotnictwa wojskowego oraz transportowego, naturalny był intensywny rozwój systemów zabezpieczających statki powietrzne przed oblodzeniem.

Dla zwiększenia bezpieczeństwa lotów samoloty i śmigłowce wyposaża się w różnego rodzaju sygnalizatory i czujniki oblodzenia. Pozwalają one określić początek i koniec procesu oblodzenia oraz poza sygnalizacją w kabinie pilota „oblodzenie” umożliwiają automatyczne sterownie pokładowymi systemami odladzającymi. Jest to istotne, ponieważ załogi, szczególnie wykonujące loty w trudnych warunkach atmosferycznych, a zwłaszcza w nocy, nie zawsze są w stanie odkryć pierwsze objawy oblodzenia, które w bardzo krótkim czasie może spowodować poważne zagrożenie. Z drugiej strony, systemy przeciwooblodzeniowe są używane wyłącznie w warunkach oblodzenia, a nie mogą być one włączone podczas każdego lotu przez cały czas jego trwania ze względu na duże zapotrzebowanie energii do ich zasilania, a także obniżanie osiąągów silników w przypadku najczęściej stosowanych instalacji cieplnych.

Sygnalizatory i czujniki oblodzenia usytuowane są zwykle na kadłubie lub skrzydłach statku powietrznego (tab. 1), co powoduje, że wskazują one pojawienie się lodu na płatowcu, a nie w kanałach przepływowych silników. Z tego powodu instalacje przeciwooblodzeniowe silników, zgodnie z zapisami instrukcji eksploatacji, należy włączać ręcznie z odpowiednim wyprzedzeniem<sup>1</sup>.

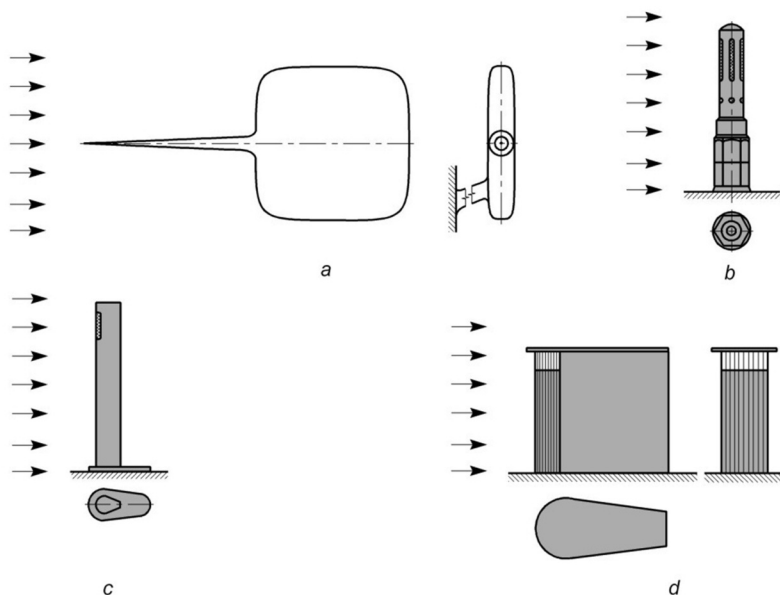
Tab. 1. Rozmieszczenie czujników instalacji przeciwooblodzeniowej na różnych rodzajach statków powietrznych

L.p.	Statek powietrzny	Rozmieszczenie czujników instalacji przeciwooblodzeniowej
1.	Airbus A310	- pod spodem przedniej części kadłuba
2.	Airbus A320, A330, A340	- na ramie między szybami kabiny załogi (wskaźnik wizualny)
3.	ATR 42	- krawędź natarcia lewego skrzydła - lewa strona kabiny pilotów (opcjonalny wskaźnik wizualny)
4.	ATR 72	- krawędź natarcia lewego skrzydła - prawa strona kabiny pilotów (wskaźnik wizualny)
5.	BAe JetStream 4100	- lewa strona przedniej części kadłuba
6.	Boeing 737	- lewa strona przedniej części kadłuba (opcjonalnie)
7.	Embraer Legacy	- prawa i lewa strona przedniej części kadłuba - górna powierzchnia prawego i lewego skrzydła
8.	MD-80	- na górnej powierzchni lewego i prawego skrzydła
9.	MD-11	- wlot do lewego i prawego silnika
10.	Mi-8	- wlot do wentylatora przekładni głównej - na zewnątrz po lewej stronie kabiny pilotów (wskaźnik wizualny)
11.	Piaggio Avanti II	- prawa strona przedniej części kadłuba

<sup>1</sup>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. WIZUALNE WSKAŹNIKI OBLODZENIA

Najprostszym, a jednocześnie niezawodnym, sygnalizatorem oblodzenia jest tzw. wizualny wskaźnik oblodzenia umieszczany na zewnątrz w zasięgu wzroku załogi, którego kształt lub sposób wykończenia powierzchni powoduje, że już w początkowej fazie oblodzenia statku powietrznego jest na nim widoczny lód narastający na elementach płatu. W większości statków powietrznych sygnalizatory takie montowane są na bocznej części ramy oszklenia kabiny załogi powyżej jej dolnej krawędzi, ale np. w samolotach pasażerskich Airbus montowane są na środkowym słupku oszklenia kabiny załogi, aby tworzący się na nich lód był widoczny z foteli zarówno pierwszego, jak i drugiego pilota. Przykłady wizualnych wskaźników oblodzenia pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Przykłady wizualnych wskaźników oblodzenia stosowanych na różnych statkach powietrznych, np. śmigłowcach Mi-2, Mi-8, samolotach Ił-18 (a), samolotach Airbus A319, A320, A321, A330 i A340 (b), Alenia C-27J Spartan (c) oraz ATR 42 i ATR 72(d)  
[strzałkami zaznaczono kierunek napływu strug powietrza]

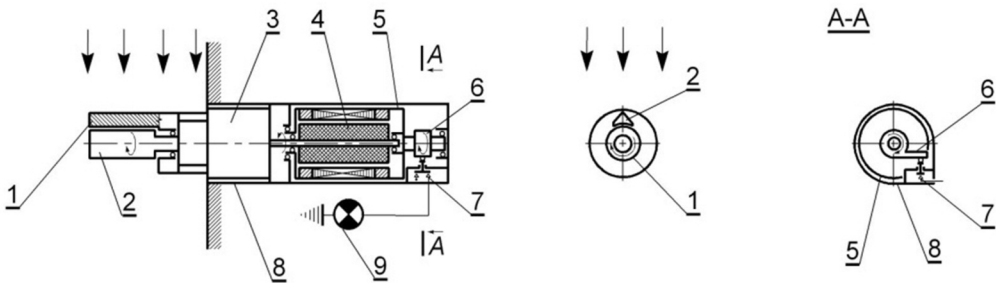
Wizualny wskaźnik oblodzenia pokazany na rys. 1a ma zwykle kolor naturalnego metalu, przy czym w niektórych przypadkach na jego trzonie nanoszone są w określonych odstępach czarne lub czerwone obwódki ułatwiające ocenę szybkości narastania lodu. Sygnalizatory przedstawione na rys. 1b, c, d mają kolor czarny dla ułatwienia zauważenia tworzącego się lodu, a ponadto są wyposażone w system wewnętrzного podświetlenia (źródłem światła w pierwszych dwu przypadkach jest dioda w kolorze zielonym, natomiast w trzecim wykorzystuje się żarówkę), co poprawia warunki ich obserwacji w porze nocnej. Ponadto niektóre z nich, np. wskaźnik pokazany na rys. 1c, mają włączany przez pilota system elektrycznego podgrzewania, który umożliwia stopienie (w ciągu 1 minuty) osadzonego na nich lodu dla sprawdzenia, czy statek powietrzny jeszcze znajduje się w strefie oblodzenia (lód utworzy się ponownie), czy też ją opuścił (lód nie utworzy się). W niektórych samolotach śmigłowych rolę swoistych sygnalizatorów oblodzenia pełnią kołpaki śmigieł, których obserwacja w warunkach sprzyjających oblodzeniu jest nakazana w instrukcjach eksploatacji.

## 2. AUTOMATYCZNE CZUJNIKI OBLODZENIA

Od wielu lat na statkach powietrznych montowane są różnego rodzaju automatyczne sygnalizatory oblodzenia, które potrafią bez absorbowania uwagi załogi wykryć proces obladzania elementów statku powietrznego i bez potrzeby ingerencji załogi włączyć układy wykonawcze instalacji przeciwobladzeniowej. Czujniki te pozwalają wykryć początkowe stadium oblodzenia płatowca (**nie silników!**) oraz umożliwiają ocenę intensywności procesu obladzania.

Przykładowe schematy konstrukcji różnego rodzaju czujników oblodzenia pokazano na rys. 2...5.

Czujnik mechaniczny przedstawiony na rys. 2 zamontowany jest w płatowcu w taki sposób, że na zewnątrz wystaje wirujący cylinder napędzany poprzez przekładnię za pomocą silnika elektrycznego oraz nieruchomy nóż osadzony w kadłubie czujnika. Między ścianką cylindra a nożem pozostawiona jest szczelina o szerokości ok. 0,1 mm, co powoduje, że do obracania cylindra wystarcza bardzo mały moment obrotowy, proporcjonalny do oporów toczenia w łożyskach, w których osadzony jest wałek silnika elektrycznego, cylindra oraz elementy przekładni. Podczas oblodzenia lód tworzący się na cylindrze wypełnia szczelinę i zaczyna być ścinany przez nóż, co wywołuje znaczny wzrost momentu obrotowego niezbędnego do napędu cylindra. Jednocześnie powstaje moment reakcyjny na kadłubie silnika elektrycznego ułożyskowanego w kadłubie czujnika, który powoduje nacisk na stykownik dźwigni osadzonej na wałku związanym z tylną ścianką kadłuba silnika. Po zwarciu styków w kabine załogi włącza się lampka sygnalizująca oblodzenie.



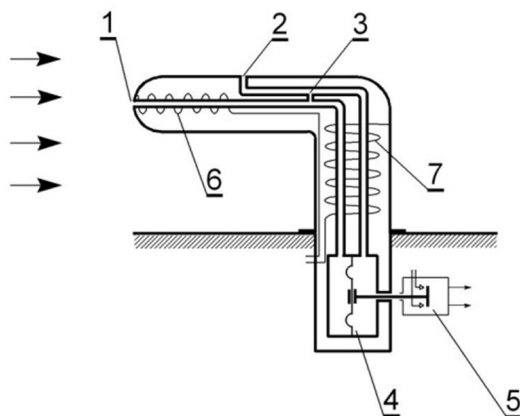
Rys. 2. Schemat mechanicznego czujnika oblodzenia:

- 1 – nóż, 2 – obracający się cylinder, 3 – przekładnia, 4 – wirnik silnika elektrycznego,  
5 – kadłub silnika elektrycznego, 6 – wałek tylny z dźwignią, 7 – stykownik, 8 – kadłub czujnika,  
9 – lampka sygnalizacyjna

Zaletą tego rodzaju czujnika jest duża prostota, w tym także brak konieczności ogrzewania jego elementów, i niezawodność działania.

Na rys. rys. 3 pokazano czujnik pneumatyczny, w którym – podobnie jak w prędkościomierzu – wykorzystywana jest różnica ciśnienia całkowitego (spiętrzenia) i statycznego napływającego powietrza. Podczas lotu w zwykłych warunkach atmosferycznych różnica między ciśnieniem całkowitym powietrza napływającego przez otwór usytuowany w przedniej części sondy, a ciśnieniem statycznym powietrza dopływającego przez otwór na bocznej powierzchni powoduje ugięcie membrany i rozwarście styków przekaźnika obwodu elektrycznego układu sterującego włączaniem lampki sygnalizacyjnej w kabine załogi oraz automatycznym włączaniem instalacji przeciwobladzeniowej. Jeżeli natomiast statek powietrzny znajdzie się w strefie oblodzenia, wówczas tworząca się na czujniku powłoka lodowa spowoduje niedrożność kanału ciśnienia cał-

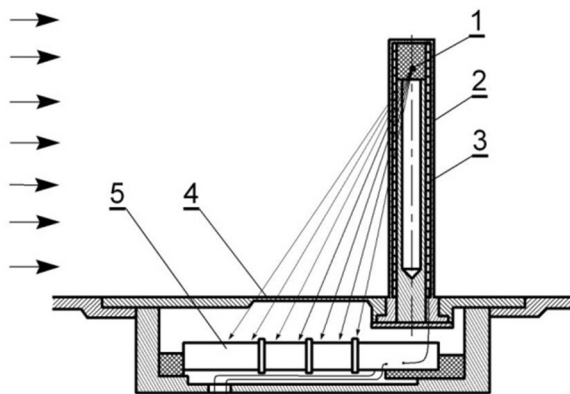
kowitego, a w konsekwencji wyrównanie poprzez dławik ciśnienia w komorach znajdujących się po obu stronach przepony i zwarcie styków przekaźnika, co spowoduje włączenie sygnalizacji ostrzegającej o oblodzeniu oraz uruchomienie instalacji przeciwołodziowej. Temperaturę osłony czujnika uniemożliwiającej jego oblodzenie oraz możliwość odlodzenia kanału ciśnienia całkowitego zapewniają grzałki elektryczne.



Rys. 3. Schemat pneumatycznego czujnika oblodzenia:

1 – wlot kanału ciśnienia całkowitego, 2 – wlot kanału ciśnienia statycznego, 3 – dławik, 4 – przepona, 5 – przekaźnik, 6, 7 – grzałki

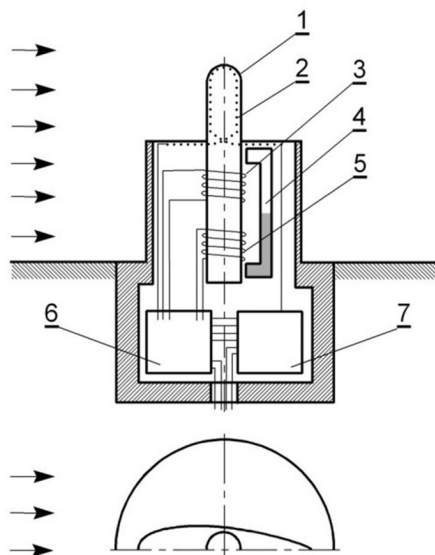
Kolejnym przykładem sygnalizatora czujnika oblodzenia jest pokazany na rys. 4 czujnik typu izotopowego. Jego zasada działania oparta jest na pomiarze radioaktywnego promieniowania  $\beta$  emitowanego przez materiał radioaktywny (stront 90 lub itr 90) umieszczony w końcowej części trzpienia czujnika w cylindrycznej osłonie. Promieniowanie to pada na okno o grubości ścianki ok. 0,2 mm znajdujące się w kadłubie czujnika i jest mierzone przez umieszczony pod nim licznik impulsów. W przypadku oblodzenia trzpienia sygnalizatora następuje spadek intensywności promieniowania  $\beta$  i układ elektroniczny włącza automatycznie system przeciwołodziowy, który jest wyłączany po ustąpieniu oblodzenia.



Rys. 4. Schemat izotopowego czujnika oblodzenia:

1 – materiał izotopowy, 2 – osłona cylindryczna, 3 – grzejnik, 4 – okno, 5 – licznik impulsów

Na rys. 5 pokazano sygnalizator wibracyjny, w którym element czuły pobudzany jest do drgań ze stałą częstotliwością z zakresu 20...40 Hz. W przypadku osadzania się na nim lodu częstotliwość drgań elementu czułego ulega zmianie (np. w czujniku stosowanym w samolotach Gulfstream G550 dla powłoki o grubości 0,5 mm częstotliwość obniża się o 133 Hz) wskutek wzrostu jego masy oraz sztywności i po osiągnięciu określonej wartości częstotliwości następuje włączenie sygnalizacji oraz instalacji przeciwooblodzeniowej. Element czuły jest cyklicznie ogrzewany od wewnątrz dla umożliwienia sprawdzenia czy statek powietrzny opuścił strefę oblodzenia i musi on być wykonany z materiału, którego właściwości w niewielkim stopniu zmieniają się wraz ze zmianą temperatury.



Rys. 5. Schemat wibracyjnego czujnika oblodzenia :  
 1 – element czuły, 2 – grzałka, 3 – cewka sprzężenia zwrotnego, 4 – magnes,  
 5 – cewka wzbudzająca, 6 – oscylator, 7 – przełącznik

Stosowane bywają również inne rodzaje czujników, np. rezystancyjne, w których lód tworzący się między dwoma oddalonymi od siebie pierścieniami powoduje przepływ prądu elektrycznego i sygnalizację w kabinie załogi.

## PODSUMOWANIE

Wskutek oblodzenia płatowców w latach 1982-2000 tylko w USA miały miejsce 583 katastrofy, w których zginęło ponad 800 osób, zarówno na pokładach niewielkich samolotów turystycznych, jak i dużych samolotów pasażerskich, natomiast ponad 750 osób zginęło w ciągu 36 lat (do roku 2004) w 22 katastrofach, które zdarzyły się podczas startu.

Bardzo ważna jest znajomość przez załogę zasad działania i ograniczeń czujników wykrywających oblodzenia, gdyż brak takiej wiedzy może mieć bardzo poważne konsekwencje. Przykładowo, czujnik montowany w skrzydłach samolotów ATR-72 przeznaczony do sygnalizacji procesu narastania powłoki lodowej powoduje włączenie odpowiedniej lampki w kabinie załogi, a jej zgaśnięcie jest jedynie oznaką ustania tego procesu (tworzenia się lodu), ale nie oznacza, że lodu na powierzchniach nośnych samolotu nie ma. Dla stwierdzenia tego faktu konieczne jest sprawdzenie wizualne.

Należy także pamiętać, że chwila, w której czujniki oblodzenia zasygnalizują utworzenie się lodu na płatowcu lub załoga sama zauważy ten fakt na wskaźnikach wizualnych, jest zbyt późna na włączenie instalacji przeciwooblodzeniowej silników. Z tego powodu dla uniknięcia oblodzenia zespołów napędowych należy **kategorycznie** przestrzegać zapisanych w instrukcjach eksploatacji warunków ręcznego włączania ich instalacji przeciwooblodzeniowych (zwykle są to temperatury  $+10^{\circ}\text{C}$  i nieco niższe oraz występowanie w powietrzu wody w postaci opadów deszczu, śniegu, mżawki, mgły, chmur itp.).

Na przestrzeni lat podejmowane były próby montażu czujników we wlotach silników, np. we wlotach samolotów i śmigłowców radzieckich zakładano czujniki pneumatyczne lub izotopowe, jednak w późniejszym czasie z nich zrezygnowano, prawdopodobnie z powodu ich zawodności. Problemu tego nie udało się również dotychczas rozwiązać konstruktorom czołowych amerykańskich i europejskich firm lotniczych. Mechaniczny czujnik oblodzenia montowany był także we wlotach polskich silników K15 przeznaczonych do samolotów I-22 Iryda<sup>2</sup>. Ze względu na już zbyt krótki czas użytkowania tego typu samolotów w polskim lotnictwie wojskowym trudno ocenić skuteczność jego działania.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Banel T., Rutkowski K., *Wyposażenie hydropneumatyczne samolotów i śmigłowców*, WAT, Warszawa, 1990
- [2] Blair W. E., Moore D. W., *Ice detectors*, United States Patent Office, 1959
- [3] 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
- [4] Chachurski R., *Zagrożenia oblodzeniem silników turbinowych*, Prace Instytutu Lotnictwa nr 199, Wydawnictwa Naukowe Instytutu Lotnictwa, Warszawa, 2009
- [5] Floyd C., Petty K., *A Statistical Review of Aviation Airframe Icing Accidents in the U.S.*, 11<sup>th</sup> Conference on Aviation, Range, and Aerospace, Hyannis, 2004
- [6] Францев В.К., Шерлыгин Н.А., *Силовая установка самолетов Як-40 и М-15, Транспорт, Москва, 1981*
- [7] Grindheim E. A., Werner F. D., *Ice detector*, United States Patent Office, 1967
- [8] *Gulfstream G550 Operating Manual*, Gulfstream Aerospace Corporation, 2003
- [9] Hughes J. F., Regis B., *Ice detectors*, United State Office, 1970
- [10] *Lighted Icing Indicators P/N 741-001*, Madelec Aero, Rambouillet, 2000
- [11] *Lighted Icing Indicators P/N 864-001*, Madelec Aero, Rambouillet, 2000
- [12] Panas A. J., Waślicki P., *Analiza wymiany ciepła odbiornika ciśnień Pwd-4 w warunkach oblodzeniowych*, Mechanika w Lotnictwie, 2002
- [13] Szczeciński S. (red.), *Ilustrowany leksykon lotniczy. Osprzęt i radioelektronika*, WKiŁ, Warszawa, 1990
- [14] *Target on Ground Icing*. Directorate of Flight Safety, Canada's Air Force, Ottawa, 2008
- [15] *Visual Lighted Icing Detector P/N 888-001*, Madelec Aero, Rambouillet, 2000

---

<sup>2</sup>Mechaniczny czujnik oblodzenia zachował się we wlocie znajdującego się w pracowni Napędów Lotniczych WAT silnika K15 ze zmodyfikowanym na potrzeby prób zastosowania go w samolotach TS-11 Iskra.

