

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

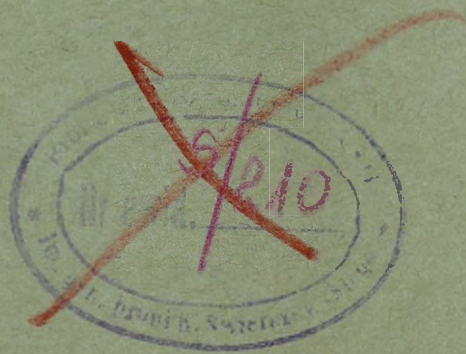
AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

6

kpt. POZNAŃSKI

KRÓTKOTRWAŁE ZWIĘKSZANIE SIŁY CIĄGU
W SILNIKU TURBOODRZUTOWYM

(Skrypt wykładu)



4279

KWIECIEŃ

1 9 5 8



kpt. POZNAŃSKI

KRÓTKOTRWAŁE ZWIĘKSZANIE SIŁY CIĄGU
W SILNIKU TURBOODRZUTOWYM

(Skrypt wykładu)



4279

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
in. gen. broni K. Świerczewskiego

"ZATWIERDZAM"

SZEF KATEDRY NR 33

KOZŁAŁSKI p. inż. - inż.

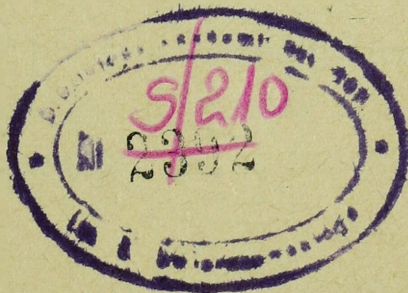
Kpt. - inż. POZNAŃSKI W.

PROTOKOŁY WNIOSZĄCE SIĘ W SIAŁCZ

WYKONANO W

Skrępt.

6



Krótkotrwałe zwiększenie siły ciągu w silniku
burboodrzutowym.

Sposoby:

- I. Dopalanie za turbiną.
- II. Wtrysk cieczy chłodzącej.
- III. Przerwanie sposobów zwiększenia ciągu.

Do zakończenia startu jak również do krótkotrwałego zwiększenia ciągu w specjalnych warunkach lotu /manewrowe, manewry podczas walki/ niezbędny jest chwilowe zwiększenie ciągu.

Możliwe to jest do osiągnięcia głównie przez:

1. dodatkowe spalanie paliwa za turbiną w drzewy wylotowej silnika;
2. wtrysk wody do silnika.

X. Dopalaanie

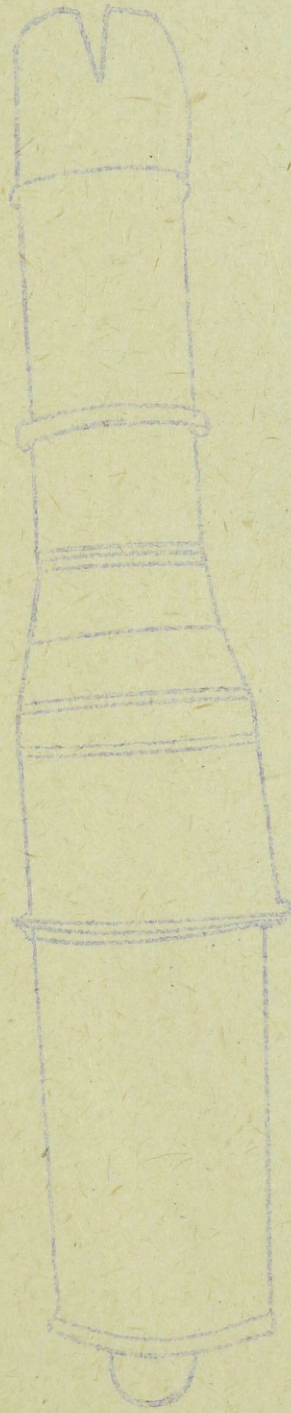
Pierwszy sposób krótkotrwałego zwiększenia ciągu polega na dodatkowym spalaniu paliwa za turbiną w komorze wydechowej wykorzystując nadmiar tlenu zawartego w spalinach. Wymaga to wydłużenia dyszy wylotowej i rozmieszczenia w niej pewnej liczby wtryskiwaczy, co znacznie zwiększa długość silnika.

Dopalacz - inaczej komora forsazowa - zazwyczaj składa się z dyfuzora, instalacji dozującej paliwo, układu stabilizacyjnego płomieni i regulowanej dyszy odrzutowej.

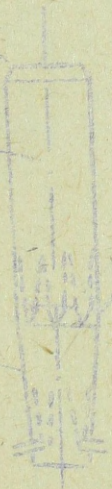
Dyfuzor służy do zmniejszenia prędkości gazów do 120 - 150 m/sek. Układ stabilizacyjny, jak sama nazwa mówi, stabilizuje długość płomienia, polepsza warunki spalania. Podczas pracy silnika bez włączenia dopalacza stabilizatory płomienia stwarzają dodatkowy opór na drodze przepływających gazów. Zwiększenie oporu zmniejsza siłę ciągu o około 2 %. /zwiększenie oporu stabilizatorów wywołuje również obecność wtryskiwaczy oraz sama długość dopalacza./

Rys. nr 1 przedstawia silnik turbodoładowy z dopalaczem. Zastosowanie dopalacza, jak widać z rysunku, powoduje wydłużenie silnika.

Zasilanie paliwem dopalacza odbywa się za pomocą oddzielnej instalacji paliwowej, która pracuje tylko przy włączeniu dopalacza. W dopalaczu znajduje się duża ilość wtryskiwaczy /około 25/. Mają one na celu dostarczenie paliwa i odpowiednie rozpylenie go wśród masy gazów wypływających z turbiny.



dy' uorstrefa spal. dysza

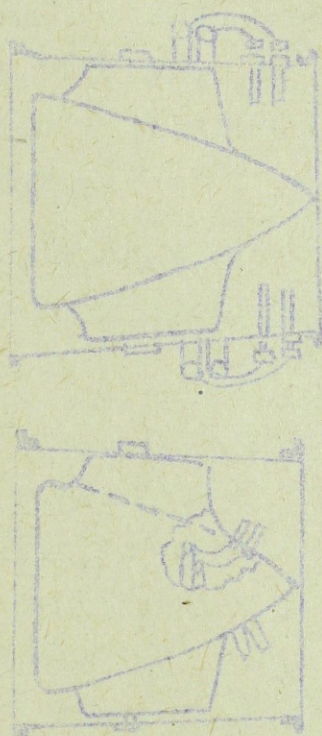


wtryskiwacz stabilizator płomienia

Silnik z dopożaniem zo turbina

Do zapalania paliwa w dopalaczu znajduje się świeca. Spalanie paliwa w tej okolicy jest możliwe ze względu na duży nadmiar wolnego tlenu w gazach wylatujących z turbiny.

Rysunek nr 2 pokazuje różne rozmieszczenie wtryskiwaczy przy dopalaniu.



W celu zmniejszenia strat ciepłych komora forsazowa posiada podwójne ścianki, między którymi umieszcza się izolację ciepłą /azbest, wata szklana, folia aluminiowa - warstwy są rozdzielone spiralami z drutu chromoniklowego.

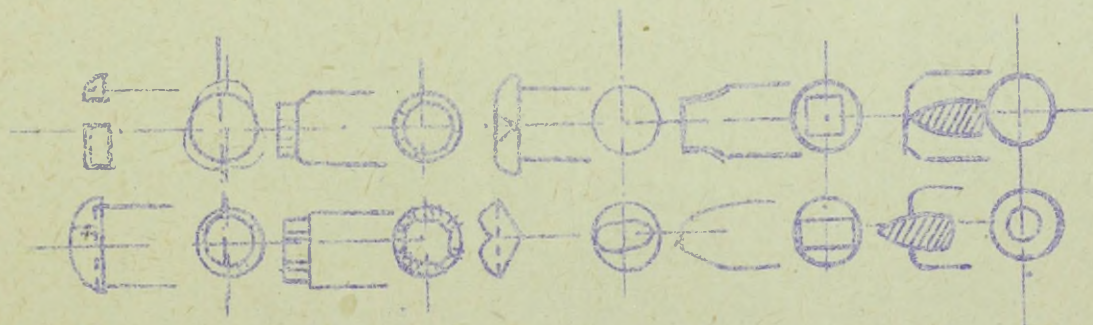
Ciepota komory forsazowej /całego dopalacza/ przypadająca na 1 kg. dodatkowej siły ciągu /z dopalacza/ $G_j = 0,2 - 40$ kg/kg.

Fakt stosowania dopalania za turbiną wymaga regulowania przekroju dyszy odrzutowej. Dysze regulowane, stosowane przy dopalaniu, mogą być dwu lub wielopołożeniowe. Położenie dyszy, odpowiadające najmniejszemu przekrojowi wylotowemu, jest oczywiście wtedy, gdy silnik pracuje bez forsazu, a największy przekrój - przy pracy z forsazem.

Regulowana dysza może okazać się pożyteczną i przy lądowaniu samolotu, gdy obniżenie siły ciągu można uzyskać przez zmianę przekroju dyszy. Wiadomo jest, że zrywność /czas przejścia z małego gazu na pąny/ silnika turbodrzutowego zależy od wymiarów i momentów bezwładności układu turbosprężarki.

Jeśli przy lądowaniu samolotu pilot dokonał pomyłki w obliczeniu, to wówczas występuje konieczność przejścia z drugiego kręgu.

Obecność regulowanej dyszy daje możliwość obniżenia lądowania samolotu w pewnych warunkach, nie zmieniając ilości obrotów silnika, a regulację siły ciągu przeprowadza się poprzez zmianę przekroju wylotowego dyszy. Oprócz tego obecność wielopołożeniowej, regulowanej dyszy może okazać się wygodną przy regulowaniu siły ciągu silników w wielosilnikowych samolotach w celu otrzymania ustalonych warunków lotu.



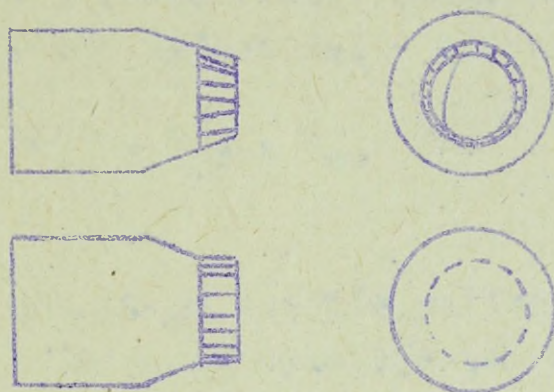
Na rys. 3 są pokazane możliwe schematy dysz regulowanych przy dopalaniu za turbiną. Górny rząd pokazuje położenia zamknięte, dolny - otwarte położenie dysz obrotowych, regulowanych.

Na rys. a jest pokazany sposób, przy którym regulowanie dyszy dokonuje się przemieszczaniem stożka. Przy wciąganiu stożka do wewnątrz przekrój wylotu powiększa się, przy wysuwaniu - zmniejsza się. Zaletą tego schematu jest dość dobra prostota i zachowanie przy regulowaniu zawsze okrągłego przekroju. Jednakże ażeby otrzymać duże zmiany płaszczynny przekroju dyszy, potrzebna jest duża dysza, posiadająca duży ciężar i duże przesunięcie stożka.

W dyszy regulowanej zasłonkami /rys. b/ o dość prostej konstrukcji, kształt przekroju wyjściowego jest kwadratowy lub prostokątny. Straty ciśnienia przy takim kształcie przekroju są większe niż przy okrągłym.

Dysze zasłonkowe wymagają dobrego uszczelnienia ścieżek pomiędzy zasłonkami. Zasłonki pracują w trudnych warunkach /duże obciążenie, wysoka temperatura/, są one ciężkie.

Ostatnio najszersze zastosowanie znajdują dysze regulowane w postaci wielozasłonkowej, dające przekrój wylotowy okrągły. Segmenty /zasłonki/ są związane ze sobą pierścieniami kulaczków i rolek. Rys. nr 4 pokazuje w stanie zamkniętym i otwartym dyszę o regulacji wielozasłonkowej /saluzyskiej/.



Przemieszczenie pierścienia, sterującego segmentami, wykonuje się przy pomocy dwóch, albo trzech tłoczków umieszczonych w cylindrach /wielagnik/. Do cylindrów podaje się pod ciśnieniem powietrze lub olej, który porusza tłok. Otwarcie segmentów w położeniu największego przekroju odbywa się za pomocą różnicy ciśnień /ciężenia gazów i ciśnienia obciążającego ośrodka/, natomiast powrót do najmniejszego przekroju przy pomocy działania tłoczków w cylindrach.

Komory forasadowe wykonywane są z blachy karodopornej o dużej własnościach wytrzymałościowych.

Rozpatrzmy teraz jednostkowe zużycie paliwa przy dodatkowym spalaniu paliwa w rurze wydechowej silnika.

Zużycie paliwa spalanego w ciągu godziny w komorach spalania, tj. przed turbiną wynosi:

$$Q_d = Q_p \cdot P / \frac{\text{kg}}{\text{godz.}}$$

gdzie:

Q_p -- jednostkowe zużycie paliwa przy normalnej pracy silnika.

P -- siła ciągu silnika.

Dodatkowe zużycie paliwa spalane go w ciągu godziny za turbiną /w nurze wylotowej - dopalaczu/ wynosi:

$$G_{df} = 3600 \cdot G_{df}' \cdot G_{sp}$$

gdzie:

G_{df}' - dodatkowe zużycie paliwa w odniesieniu do 1 kg gazów wylatujących z dyszy odrzutowej.

G_{sp} - ilość gazów przepływających przez silnik w ciągu jednej sekundy.

$$G_{sp} = \frac{P}{P_j} \quad \text{wobec tego po podstawieniu otrzymamy:}$$

$$G_{df} = 3600 \cdot G_{df}' \cdot \frac{P}{P_j}$$

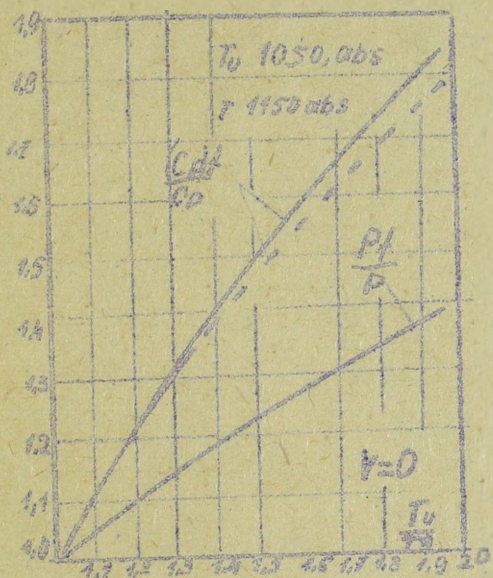
Dzieląc całkowite zużycie paliwa w ciągu godziny, tj.

$(G_h + G_{df})$ przez ciąg P_f znajdujemy jednostkowe zużycie paliwa przy zapotrzebowaniu dodatkowego spalania za turbiną:

$$G_{df}' = \frac{P}{P_f} \cdot (G_p + 3600 \frac{G_{df}}{P_j})$$

Powyższy wzór umożliwia w sposób wystarczająco dokładny wyznaczyć ciąg i jednostkowe zużycie paliwa silnika turbodołazowego podczas krótkotrwałego zwiększenia jego ciągu przez dodatkowe spalanie paliwa w dyszy wylotowej.

Krys. 5 przedstawia względny wzrost ciągu i jednostkowego zużycia paliwa silnika turbodołazowego w zależności od stopnia wzrostu temperatury spalin podczas dodatkowego spalania T_{4f} / T_4 .



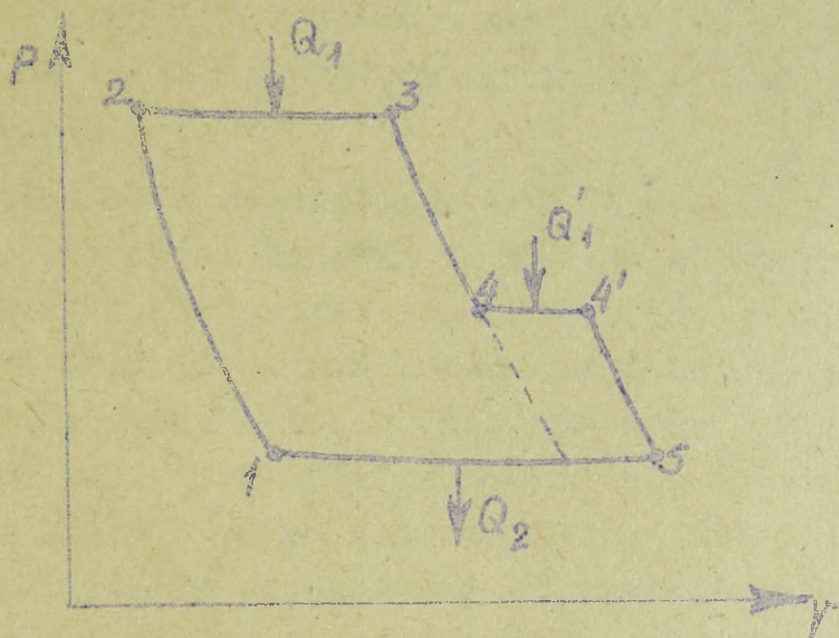
T_{4f} - temperatura przed dyszą odrzutową podczas dopalania.

T_4 - temperatury przed dyszą odrzutową bez włączenia dopalania.

Jak widać z wykresu, ze wzrostem temperatury spalin przed dyszą wylotową, jednostkowe zużycie paliwa przy $V = 0$, wzrasta znacznie szybciej niż ciąg silnika. Na przykład przy zwiększeniu ciągu o 30 % jednostkowe zużycie paliwa wzrasta o 65 - 70 %, a więc ekonomia silnika znacznie się pogarsza.

Jednakże ze wzrostem prędkości lotu - przy wszystkich innych jednakowych warunkach - ciąg silnika wzrasta znacznie szybciej niż przy $V = 0$, w związku z czym wzrost jednostkowego zużycia paliwa zachodzi znacznie wolniej. Niemniej jednak ten sposób zwiększenia ciągu jest wysoce nieskonomiczny. Chociażność to nie posiada jednak istotnego znaczenia wobec krótkotrwałego stosowania tego sposobu zwiększenia ciągu.

Rozpatrując dopalanie na turbina, od strony termodynamicznej widzimy, że pole pracy na wykresie $P - V$ zwiększa się w stosunku do pracy silnika bez dopalania / rys. nr 6/.



Rys Wykres pracy z dopalaniem

Dostarczenie paliwa Q_1' - ilość ciepła otrzymana ze spalania przy dodatkowym wtrysku za turbiną/ stwarza ona drugie pole, co w sumie powoduje zwiększenie siły ciągu silnika. Dopalenie za turbiną jest to jak gdyby dołączenie silnika strumieniowego do silnika turbodrzutowego. Silnik strumieniowy jest zawsze umieszczony za turbiną. Wzrost ciągu przy zastosowaniu dopalania dochodzi do 40 %, jednakże zużycie paliwa jest kilkakrotnie większe od normalnego. Wynika to z bardzo małej sprawności dopalania, gdyż cały proces przebiega przy bardzo niskim ciśnieniu. Temperatura gazów w dopalaczu przekracza 1000°C , w związku z czym jego zakres pracy na ziemi jest ograniczony do 2 - 3 min. Pomimo niskiej ekonomiczności tego rodzaju zwiększenia ciągu duża grupa współczesnych silników turbodrzutowych, szczególnie na samolotach myśliwskich jest zapotrzebowana w dopalac.

Nie stosując dopalania za turbiną jesteśmy w stanie zwiększyć moc silnika, a tym samym i ciąg przez zwiększenie temperatury spalin przed turbiną. Krótkotrwałe zwiększenie tej temperatury stanowi jednak poważną niebezpieczeństwo dla kopatek.

Ze wzrostem temperatury gazów przed turbiną, narasta moc turbiny, a więc i jej obroty, co może być niepożądane z uwagi na możliwość nadmiernego wzrostu naprężeń w łopatkach wirnika.

Celem uniknięcia szkodliwego wpływu wysokiej temperatury spalin na materiał łopatek i wirnika stosuje się czasem chłodzenia łopatek powietrzem lub wodą. Prowadzi to do znacznego skomplikowania konstrukcji turbiny. Jednakże doświadczeniowe próby w tej dziedzinie dały już wyniki tak pozytywne, że należy przypuszczać, iż wprowadzenie łopatek chłodzonych na szerszą skalę jest już tylko kwestią czasu. Chłodzenie to umożliwi zwiększenie sprawności silników turboodrzutowych, a w związku z tym obniżenie zużycia paliwa.

II. Wtrysk wody do silnika.

Wodę lub inną ciecz chłodzącą wtryskuje się zwykle do sprężarki lub komory spalania.

Rozpatrzmy wtrysk cieczy do sprężarki /wtrysk do powietrza wlatującego na sprężarkę/. Na skutek odparowania cieczy w sprężonym powietrzu zostaje od niego oddzielona ilość ciepła równoważna ciepłu parowania odpowiedniej ilości cieczy. Dzięki temu zmienia się wykładnik politropowy procesu sprężania. Wtrysk wody do sprężarki daje więc ten sam efekt co wielostopniowe sprężanie z międzystopniowym chłodzeniem. Wtrysk wody powoduje więc zmniejszenie pracy sprężania przypadającej na 1 kg powietrza. W związku z tym przy niezmienionych obrotach wirnika sprężarki, tj. przy tej samej dostarczonej jej mocy, wzrasta spręż. Poza tym z powodu zmniejszenia temperatury powietrza na wlocie do sprężarki wzrasta jej wydatek wagowy. W rezultacie, na skutek wzrostu ciśnienia powietrza na sprężarkę przy stałych obrotach i stałej temperaturze przed turbiną, wzrasta ciśnienie za turbiną, a tym samym i ciśnienie przed dyszą odrzutową oraz większa prędkość gazów. Ten wzrost ciśnienia razem ze zwiększonym wydatkiem

wagowym sprzętarki jest przyczyną wzrostu ciągu silnika.

W praktyce nie wtryskuje się czystej wody do sprzętarki, lecz mieszaninę wody i alkoholu metylowego, gdyż posiada ona korzystniejszą zależność prężności pary nasyconej od temperatury niż czysta woda. Mimo tym mieszanina ta maś marza przy niższych temperaturach niż woda, a ciepło spalania alkoholu kompensuje prawie zupełnie ciepło parowania tej ilości wody, która nie uległa odparowaniu w sprzętarce i przedostała się do komory spalania.

Na skutek zmniejszenia temperatury powietrza za sprzętarką zwiększa się ilość paliwa potrzebnego do podtrzymania stałej temperatury spalin przed turbiną, w związku z czym zwiększa się zużycie paliwa.

Wtrysk wody może być na ogół efektywnym sposobem zwiększenia ciągu. Należy jednakże pamiętać, że ilość cieczy, które odparuje jeszcze w sprzętarce, praktycznie jest ograniczona czasem przelotnym cieczy chłodzącej w sprzętarce. Gdy cząstkowe ciśnienie par danej cieczy osiąga wartość równą ciśnieniu jej pary nasyconej przy danej temperaturze sprężenia, to odparowanie cieczy w sprężonym powietrzu ustaje.

Jeśli chodzi o sposób wtrysku cieczy do sprzętarki, to istnieją w zasadzie dwa warianty. Jeden rozwiązany jest w ten sposób, że w płaszczyźnie sprzętarki znajduje się pompa odśrodkowa sprzężona bezpośrednio z wałem sprzętarki. Na obwodzie korpusu pompy znajduje się szereg małych otworków, do których pompa wtłacza ciecz pod ciśnieniem, wskutek czego przed wlotem do sprzętarki powstaje obłok równomiernie rozpylonej cieczy. Drugie rozwiązanie polega na tym, że ciecz jest rozpylana przy pomocy sprężonego powietrza pobieranego z ostatniego stopnia sprzętarki. Powietrze zostaje doprowadzone przewodem do specjalnej komory w płaszczyźnie. W komorze tej otrzymuje ruch wirowy i równocześnie się spręża. W miejscu gdzie jest największa prędkość powietrza doprowadza się ciecz, która wylatuje z komory w stanie rozpylonym.

Strumień powietrza wlewny do sprężarki porrywa za sobą sieć rozpyloną, która w ten sposób dostaje się do sprężarki.

Wtrysk cieczy chłodzącej może również odbywać się bezpośrednio do komór spalania. W tym przypadku należy do komór spalania dostarczyć większej ilości paliwa, aby skompensować utratę pewnej ilości ciepła, równoważnej ciepłu parowania odparowanej cieczy i utrzymać temperaturę spalin przed turbiną na odpowiedniej wysokości. Podczas wtrysku wody do komór spalania wytwarzająca się para powoduje zmniejszenie wydatku sprężarki. Jednakże spręż zwiększa się, gdyż praca dostarczona przez turbinę sprężarce pozostaje na ogół bez zmiany /przy $u = const$ /.

Zwiększa się również ciśnienie przed i za turbiną. Pomimo zmniejszenia wydatku sprężarki, zwiększa się nieco wydatek spalin, gdyż pary cieczy chłodzącej jak i dodatkowa ilość spalanej paliwa kompensują z nadmiarem niedobór powietrza w spalinach.

A więc w tym wypadku ciąg zwiększa się na skutek wzrostu masy wylatujących z silnika spalin i wzrostu ich ciśnienia przed dyszą wylotową /przy $u = const$ /.

Zużycie wody przy wtrysku do komory spalania, jest przy jednakowym zwiększeniu ciągu znacznie większe, niż przy wtrysku do sprężarki i wynosi około 5 KG wody na 1 KG paliwa. Ilość wtryskiwanej do komór spalania wody jest ograniczona możliwością przesunięcia się punktu pracy sprężarki do granicy pompowania. Zachodzi to z tego powodu, że w miarę zwiększenia ilości wtryskiwanej do komór spalania cieczy chłodzącej maleje wydatek sprężarki.

Zwiększenie ciągu poprzez wtrysk wody do sprężarki, czy to do komór spalania daje efekty, jednakże jest on niekorzystny z uwagi na zwiększenie ciężaru instalacji silnikowej oraz ciężaru wody. Tak, np. zużycie wody potrzebne dla zwiększenia ciągu silnika o 25 - 30 % przewyższa 2 - 2,5 razy zużycie paliwa przy wtrysku do sprężarki.

Również urządzenia do wtrysku cieplej chłodzącej posiadają pewien ciężar.

Na zakończenie poruszanych zagadnień dokonujemy zestawienia różnych metod zwiększenia ciągu silnika turbocentrifugowego.

III. Porównania sposobów zwiększenia ciągu.

Rozpatrzmy pokrótce możliwości tkwiące w każdym ze sposobów zwiększenia ciągu silnika. Rzecz jasna, że choć stopnia wzrostu ciągu i zużycia paliwa oraz ilości chłodzącej, ogromne znaczenie mają ciężar i gabaryty odpowiednich pomocniczych urządzeń.

Celem porównania efektywności rozmaitych sposobów zwiększenia ciągu załóżmy, że rozpytywany silnik pracuje na ziemi przy zwiększonym ciągu przez 45 sek.

Ciąg i zużycie paliwa podczas normalnej pracy silnika na ziemi przyjęto za 100 %.

Rysunek 7 przedstawia przy tych założeniach procentowy wzrost ciągu i zużycia paliwa przy zastosowaniu różnych metod zwiększenia ciągu.

Zwiększenie temperatury gazów przed turbiną od 750° do 900° C daje wzrost ciągu do 120 % /krzywa 1/, przy czym zużycie paliwa wzrasta do 130 %.

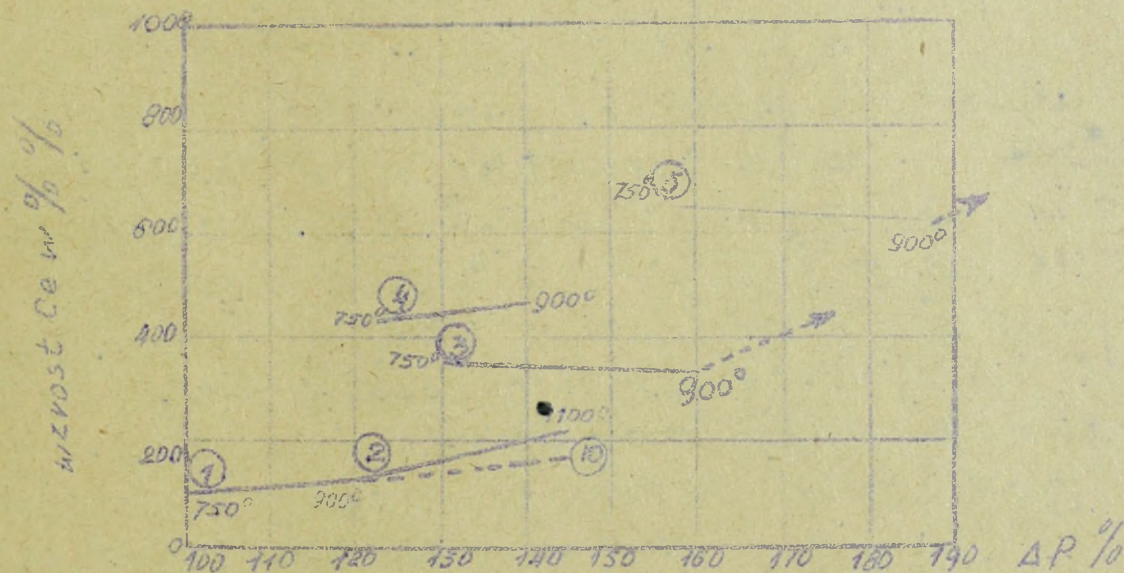
Gdyby temperatura gazów wzrosła do 1100° /krzywa 1a/, otrzymano by wzrost ciągu do 140 %, a zużycie paliwa do 160 %. Jednakże z uwagi na wytrzymałość materiału łopatek turbiny podobny wzrost temperatury bez równoczesnego zastosowania chłodzenia łopatek jest niedopuszczalny. W tym ostatnim wypadku, przy bardzo intensywnym chłodzeniu łopatek otrzymano by wzrost ciągu do 145 % i zużycie paliwa do 200 % /krzywa 2/. Ciężar dodatkowego urządzenia dla wtrysku wody do sprężarki wynosi około 15 kg. Krzywa 3 ilustruje zmienność omawianych parametrów silnika przy zastosowaniu dodatkowego spalania paliwa.

Temperatura spalin przed dyszą wylotową wynosi w tym wypadku 1500° , a przed turbiną $750 - 900^{\circ}$. Zużycie paliwa ze wzrostem temperatury nieco spada, ale osiąga około 300 % normalnego zużycia paliwa. Ciężar dodatkowej instalacji paliwowej jest dość duży i wynosi około 150 kg.

Linia kropkowana biegnąca lekko w górę do końca krzywej 3 przedstawia kombinację dodatkowego spalania paliwa za turbiną z wodnym chłodzeniem łopatek wirnika turbiny.

W tym przypadku ciąg wzrasta do 170 - 180 %, a zużycie paliwa do 400 % normalnej wartości.

Ciężar dodatkowej kombinowanej instalacji wtryskowej wynosi około 150 - 200 kg.



Rys. 7.

Porównawcze zestawienie wzrostu ciągu i zużycia paliwa przez silnik turbodrzutowy dla różnych sposobów zwiększenia ciągu w okresie 45 sek.

- 1- normalne zwiększenie temperatury spalin przed turbiną,
- 2- normalne zwiększenie temperatury spalin przed turbiną + chłodzenie łopatek turbiny,
- 3 - dodatkowe spalanie paliwa w rurze wydechowej,
- 4 - wtrysk wody do sprężarki,
- 5 - wtrysk wody do sprężarki + dodatkowe spalanie paliwa.

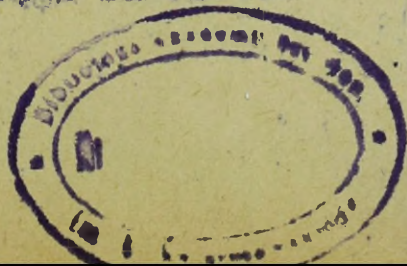
Przez zastosowanie wtrysku wody do sprężarki /krzywa 4/, przy temperaturze spalin przed turbiną $750 - 900^{\circ}$, można osiągnąć wzrost statycznego ciągu do 120 - 140 %. Zużycie paliwa wzrasta wtedy do 450 - 460 %. Wynika stąd, że efektywność metody wtrysku wody do sprężarki w porównaniu z innymi metodami zwiększenie ciągu silnika pozostaje znacznie w tyle. Jednakże z uwagi na mały ciężar dodatkowej instalacji wtryskowej /około 12 kg/ sposób ten może w pewnych okolicznościach mieć przewagę nad dodatkowym spalaniem paliwa za turbiną.

Rezultaty, jakie otrzymujemy przy równoczesnym wtrysku wody do sprężarki i dodatkowym spalaniu paliwa za turbiną, ilustruje krzywa 5. W tym przypadku można osiągnąć wzrost ciągu do 190 % przy wzroście zużycia paliwa do 530 - 650 % przy zachowaniu temperatury spalin przed turbiną $750 - 900^{\circ}$. Dla celów porównawczych pokazany jest na rys. 7 wzrost ciągu przy zastosowaniu rakiety startowej.

Zakończenie.

Z omówionych sposobów krótkotrwałego zwiększenia siły ciągu w silnikach turbodrzutowych obecnie w praktyce powszechnie stosowane jest dopalanie za turbiną. Przemawia na tym to, iż mamy do czynienia z jednym rodzajem paliwa /przy wtrysku wody - zbiorniki paliwa i wody/. Poza tym, żeby mieć ten sam efekt w postaci ciągu należy wody zabrać więcej, a więc zwiększa się ciężar samolotu. Wtrysk wody do sprężarki, w porównaniu do wtrysku do komory spalania posiada większe szanse zastosowania się w praktyce.

Największe szanse do zwiększenia siły ciągu posiada i stosowania chłodzonych łopatek turbin. Obecnie na ten temat są prowadzone daleknośne badania naukowe. Literatura naukowa podaje, że są już pozytywne wyniki w tym kierunku i że w najbliższym czasie temperatura gazów na łopatkach turbin wzrośnie o $200 - 300^{\circ}$ C. Realizacja tych osiągnięć pozwoli na znaczne zwiększenie siły ciągu, co z kolei wpłynie dodatnio na osiągi samolotu.



OPRACOWAŁ
kpt. inż. SZYMAŃSKI W.

