

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

5

kpt POZNAŃSKI

Charakterystyka silników lotniczych



4306

LIPIEC 1956



kpt POZNAŃSKI

Charakterystyka silników lotniczych



4306

AKADEMIA SZTAPU GENERAŁOWEGO
Im. gen. broni K. Świerczewskiego

* Ż A T W E R D Z A M *
KOMENDANT FAKULTETU NR. 5

Wojtowicz
WOJTOWICZ 3906 86
ppik.

5

kpt. P O Z N A N S K I
=====

CHARAKTERYSTYKA SILNIKÓW ŁĄTOWICZYCH



REMBERTOW

CZERWIEC

1956 r.

większość charakterystyk ma jako zmienne zależne właśnie te parametry silnika. Jako zmienną niezależną w charakterystykach określających właściwości eksploatacyjne silnika wybiera się zazwyczaj jeden z parametrów, zmieniających się podczas procesu eksploatacji silnika. Takim czynnikiem może być na przykład ilość obrotów, wysokość lotu, prędkość lotu i inne.

Charakterystyki mogą być podane w postaci wzorów lub wykresów na podstawie danych teoretycznych i doświadczalnych. Najczęściej charakterystyki podaje się w postaci wykresu, bo jeśli się nawet posiada dla nich zależności teoretyczne, to są one zazwyczaj tak skomplikowane, że nie dają poglądowo i szybko pojęcia o zmianie interesującego nas parametru.

1. Charakterystyki silników tłokowych.

a/ Charakterystyka zewnętrzna silnika.

Charakterystyką zewnętrzną silnika nazywa się zależność mocy i odpowiedniego zużycia jednostkowego paliwa od ilości obrotów przy pewnym całkowitym otwarciu przepustnicy.

Ilość obrotów silnika przy pracy w/g charakterystyki zewnętrznej zmienia się przez zmianę zewnętrznego obciążenia wału silnika.

Jeśli silnik posiada śmigło o zmiennym skoku, to ilość obrotów można zmieniać przez powiększenie albo zmniejszenie kąta ustawienia łopaty śmigła. Ze wzrostem kąta natarcia łopaty śmigła zmniejsza się ilość obrotów.

Zewnętrzna charakterystyka silnika /rys. 1/ określa wartości największych mocy, które może dać silnik przy różnych ilościach obrotów. Z wykresu widać, że moc efektywna osiąga maksymalną wartość przy określonej ilości obrotów /punkt 3/.

szając przepustnicy. Najwyższy punkt /punkt 3/ na krzywej odpowiada śmigłu przy którym z silnika uzyskujemy największą moc. Idąc w lewo od punktu 3 zwiększamy kąty ustawienia łopaty, natomiast idąc w prawo od punktu 3 zmniejszamy kąty ustawienia /śmigło staje się lżejszym/.

Ze wzrostem ilości obrotów według charakterystyki zewnętrznej, jednostkowe efektywne zużycie paliwa zwiększa się ponieważ skład mieszanki przy stałe otwartej przepustnicy jest stały $\alpha = \text{const}$, a współczynnik sprawności mechanicznej zmniejsza się /jednostkowe zużycie paliwa jest odwrotnie proporcjonalne do współczynnika sprawności mechanicznej/.

Na zakończenie należy powiedzieć, że charakterystykę zewnętrzną wykonuje się po to, aby dobrać odpowiednie śmigło dla danego silnika. Omówiony rysunek dotyczy silnika nienowsokrotowego. Zewnętrzną charakterystykę silnika ze sprężarką sporządza się nieco inaczej, gdyż w tym wypadku w zupełnego otwarcia przepustnicy na ziemi nie stosuje się. Charakterystykę sporządza się przy stałym dopuszczalnym ciśnieniu w rurze wyciecz, które utrzymuje się przy pracy silnika na ziemi. Dlatego, aby przy zmianie obrotów /obciążeniu/ utrzymać stałe ciśnienie, należy zmieniać położenie przepustnicy.

6/ Charakterystyka dławiona

Charakterystyką dławioną nazywa się krzywa pokazująca zmianę mocy silnika i jednostkowego zużycia paliwa w zależności od ilości obrotów przy stałym zewnętrznym obciążeniu /śmigło stałe/. Zmianę obrotów uzyskujemy przy tej charakterystyce dzięki poruszaniu przepustnicą.

W charakterystyce zewnętrznej przepustnica była stała, a obciążenie śmigłem zmienialiśmy. W tej charakterystyce /dławionej/ jest na odwrót. Przepustnicą kierujemy za pomocą dławigni gazu. Zwiększeniu otwarcia przepustnicy towarzyszy

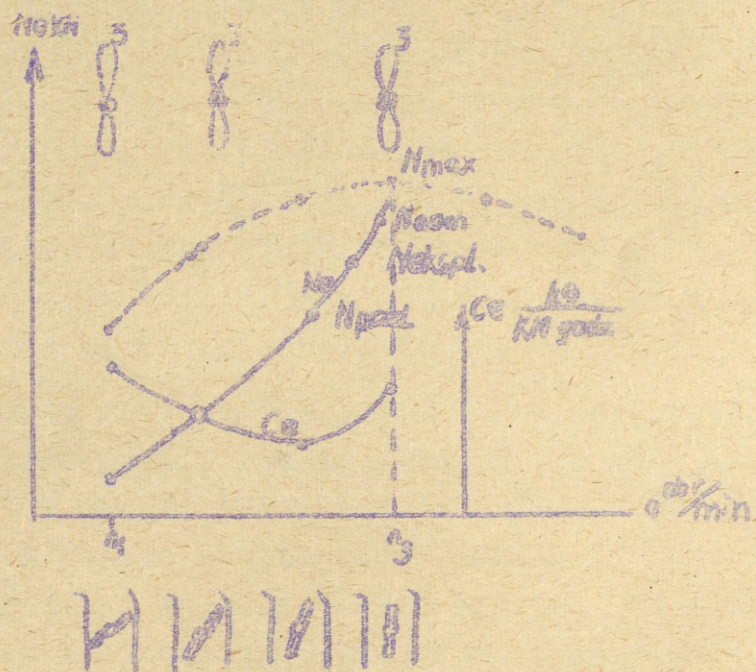
wartość obrotów silnika. Zależność mocy od obrotów przedstawia wzór.

$$N = A \cdot n^3 \quad /EW/$$

gdzie: A - stała współczynnika proporcjonalności.

Jak widać ze wzoru moc w charakterystyce dławionej zmienia się proporcjonalnie do ilości obrotów w trzeciej potęgę.

Poniższy rysunek przedstawia charakterystykę dławioną /linia ciągła/ i charakterystykę symetryczną /linia przerywana.



Res 2. charakterystyka dławiona

Wzrost mocy silnika jest spowodowany wzrostem ładunku wagowego mieszanki, na skutek czego przy spalaniu wydziela się większa ilość ciepła. Tak jest oczywiście, gdy otrzymany coraz więcej przepustalność. Natomiast równocześnie z przamykaniem przepustalności następuje spadek mocy. Charakter zmiany zużycia paliwa przy charakterystyce dławionej jest przedstawiony za pomocą krzywej /ce / na wykresie.

o/ Charakterystyka wysokościowa.

Charakterystyką wysokościową nazywamy krzywą pokazującą zmiany mocy silnika i jednostkowego zużycia paliwa w zależności od wysokości. W miarę wznośnienia się zmieniają się warunki atmosferyczne, temperatura i ciśnienie powietrza spada.

Ciężar właściwy powietrza dzięki spadkowi temperatury wzrasta a na skutek spadku ciśnienia - maleje; ogólnie biorąc ciężar właściwy powietrza zmniejsza się wskutek znacniejszego spadku ciśnienia niż temperatury. W związku z tym moc silnika niewysokościowego będzie spadać ze wzrostem wysokości, ponieważ ładunek wagony mieszanki wchodzący do cylindra w czasie suwu ssania również będzie mniejszy.

Szybki spadek mocy silników bez sprężarek przy wzroście wysokości czynił je mało przydatnymi dla lotnictwa, wskutek wybitnego pogarszania się danych lotno-taktycznych samolotów już na wysokości rzędu 2000 m. Zmusiło to do zastanowienia się nad możliwością stworzenia silników wysokościowych. Do chwili zastosowania do silników sprężarek stworzono silniki wysokościowe bez sprężarek.

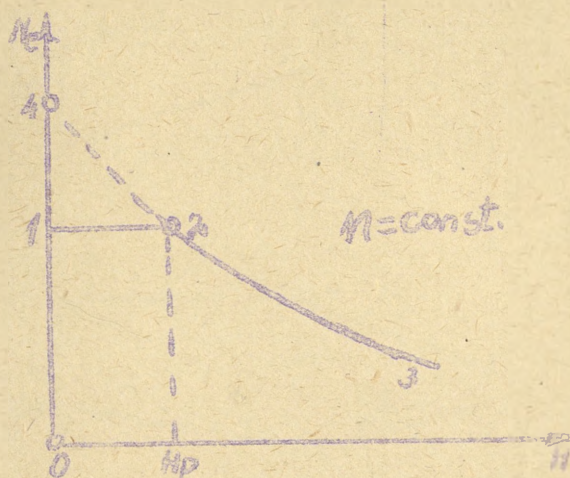
Wysokościowość silników bez sprężarek uzyskiwano za pomocą 2-ech metod. W pierwszym przypadku stopień sprężania silników doprowadzono do takiej wysokości, że w normalnych warunkach na ziemi silnik nie mógł pracować bez detonacji przy całkowicie otwartej przepustnicy. W ten sposób maksymalną moc takiego silnika na ziemi można było uzyskać tylko przy przynajmniej częściowo otwartej przepustnicy.

W drugim wypadku objętość roboczą silnika dobierano dla takiej mocy, której ze względów wytrzymałościowych nie mógłby on rozwijać. A więc na ziemi moc maksymalną można było uzyskać również tylko przy ograniczonym otwarciu przepustnicy.

Pierwszy typ silników wysokościowych otrzymał nazwę silników z przesprężeniem, typ drugi - silników przewymiarowych. Niektóre silniki łączą w sobie obie metody uzyskiwania wysokościowości, to zn. były jednocześnie silnikami z przesprężeniem i przewymiarowaniem.

Przy wznoszeniu się przepustnicy takich silników otwierało się, wobec czego ich moc nie ulegała zmianie. Wysokość, na której przepustnicę można było całkowicie otworzyć, była wysokością nominalną.

Poniższy rysunek przedstawia charakterystykę wysokościową silnika wysokościowego bez sprężarki.



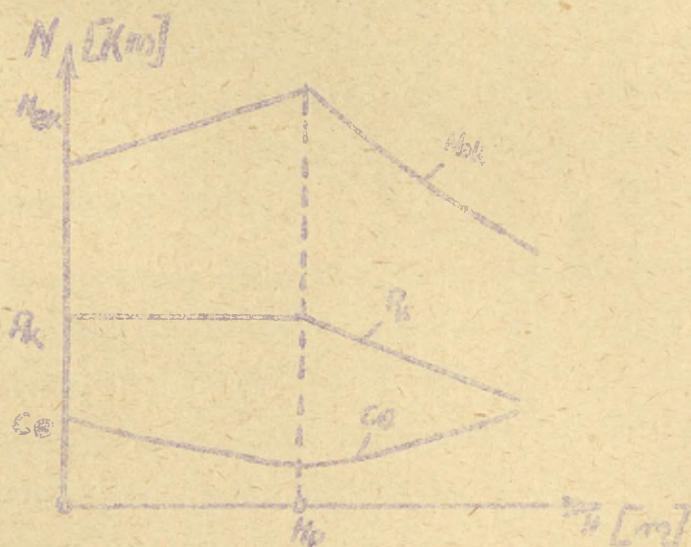
Rys. 3. Charakterystyka wysokościowa silnika wysokościowego bez sprężarki.

Krzywa 1-2-3 przedstawia charakterystykę wysokościową. Na odcinka 1-2 moc jest stała, na odcinka 2-3 zmniejsza się jak w zwykłym silniku niewysokościowym. Odcinek 2-4 wskazuje jak zmieniłaby się moc silnika przy pełnym otwarciu przepustnicy.

Silniki wysokościowe bez sprężarek były ciężkie i nie mogły osiągnąć dużych wysokości. Z tych powodów produkację ich szybko przzerwano, jak tylko pojawiły się sprężarki. Silniki ze sprężarkami zwiększają obciążenie maszyn w porównaniu z ciśnieniem atmosferycznym i utrzymują to ciśnienie na stałym poziomie do pełnej wysokości.

Charakterystyką wysokościową silnika z doładowaniem nazywa się zależność mocy efektywnej i odpowiedniego efektywnego zużycia jednostkowego paliwa od wysokości przy stałej ilości obrotów, współczynnika maszynowego i do wysokości nominalnej stałym ciśnieniu doładowania.

Rys. 4 przedstawia charakterystykę wysokościową silnika z jednobiegową sprężarką.



Rys. 4. Charakterystyka wysokościowa silnika z doładowaniem.

Praca silnika ze sprężarką znacznie różni się od pracy silnika bez sprężarki, gdyż pojawia się szereg dodatkowych czynników wpływających na moc efektywną i ekonomizację silnika.

W rezultacie wpływu tych szeregu dodatkowych czynników charakterystyki wysokościowe ze sprężarką mają swoje właściwości.

i znacznie różnią się od charakterystyk niewysokościowych.

Wysokościowe charakterystyki silników wskazują, że do wysokości określonej moc silnika rośnie, a ściśnięcie wręcz tej wysokości zaczyna spadać jak u silnika niewysokościowego. Rozpatrując moc silnika w zależności od obciążenia ładowania widzimy, że im większe obciążenie ładowania, tym większa moc silnika. Aby otrzymać silnik zdolny do pracy na większej wysokości, konieczne jest zachowanie stałego ciśnienia ładowania większej wysokości. Im większa wysokość, do której sprężarka może dać stałe ciśnienie ładowania i im większe ciśnienie P_K , tym więcej mocy trzeba zużyć na napęd sprężarki i tym trudniej otrzymać wzrost mocy silnika przy pomocy ciśnienia ładowania. To zjawisko jest szczególnie niepożądane przy pracy silnika na ziemi, gdzie ciśnienie otaczającego ośrodka jest normalne. W celu zmniejszenia mocy zużywanej na napęd sprężarki na ziemi i na niewielkich wysokościach, buduje się sprężarki, które można wyłączać /na ziemi nie pracują, a włącza się je na pewnej wysokości/ albo posiadające zmienną ilość obrotów. Wirnik pracuje na ziemi z mniejszą ilością obrotów niż na wysokości.

Rozpatrzmy konkretne przyczyny, które powodują wzrost mocy silnika zapotrzebnego w sprężarkę w miarę wzniesienia się od ziemi aż do wysokości nominalnej.

Po pierwsze następuje obniżenie się temperatury T_K powietrza przy wyjściu ze sprężarki. T_K zależy od ogrzania się powietrza w sprężarce i od temperatury otaczającego powietrza.

Przy stałej ilości obrotów silnika przyrost temperatury Δt w sprężarce nie zmienia się. Obniżenie temperatury T_K podwyższa ładunek wagowy mieszanki, a następnie moc.

Po drugie, podwyższenie mocy tłumaczy się większym sprężeniem pozostałych gazów w komorze spalania przy końcu wydecha, co zwiększa objętość zajmowaną przez mieszankę i lepszym oczyszczeniu cylindrów z gazów spalinowych. Komora

spalania jest zapełniona resztkami gazów, które mają ciśnienie w przybliżeniu równe otaczającemu p_a . Ze wzrostem wysokości ciśnienie atmosferyczne spada, co sprzyja lepszemu oczyszczeniu cylindrów z gazów spalinyowych. Przy napełnianiu cylindra świeżą mieszanką, ciśnienie jej w przybliżeniu jest równe ciśnieniu p_1 przy wyjściu ze sprężarki. Ponieważ $p_1 > p_a$ więc w komorze spalania zachodzi sprężenie resztek gazów spalinyowych. Wskutek tego w komorze spalania zwalnia się pewną objętość ΔV , która może być niósł świeżą mieszanką. W miarę wznoszenia się ciśnienie otaczające p_a będzie się zmniejszało przy zachowaniu stałego ciśnienia p_1 w rurach ssących. Ze wzrostem wysokości przyrost ΔV będzie również się zwiększał powodując wzrost bezczwistego ładunku wagowego mieszanki, a tym samym i mocy indukowanej silnika.

Wskutek wpływu przyrostu ΔV przyrost mocy silnika na wysokości nominalnej wynosi 5-8%. Przyrost mocy spowodowany wyżej podanymi przyczynami trwa tylko do wysokości określonej, powyżej której moc silnika spada jak w silniku niewysokociowym.

Zużycie jednostkowe paliwa w silnikach ze sprężarką jest większe niż w silnikach bez sprężarki, gdyż część energii paliwa, a następnie i mocy zużywa się na napęd sprężarki. Poza tym konieczność wzbogacenia mieszanki celem obniżenia temperatury silnika powoduje wzrost zużycia paliwa. Bogata mieszanka odbiera pewną część ciepła od części silnika, która zużywa na parowanie, przez co obniża się temperatura silnika. Silniki ze sprężarkami pracują w gorszych warunkach cieplnych

Ze wzrostem wysokości do wysokości nominalnej /rys. 4/ Zużycie jednostkowe maleje. Spadek zużycia paliwa jest uwarunkowany wzrostem mocy efektywnej, co widzimy z poniższego wzoru:

$$N_e = N_i - N_r$$

rośnie
rośnie
stałe

W celu uzyskania wyższych wysokości, do silników są montowane sprężarki dwubiegowe. Charakterystyka wysokościowa silnika z dwubiegową sprężarką jest przedstawiona na rys. 5



Rys. 5. Charakterystyka wysokościowa silnika ze sprężarką dwubiegową.

W punkcie P /na charakterystyce/ przełączamy sprężarkę z pierwszego biegu na drugi bieg. Wysokość odpowiadająca punktowi P nazywa się wysokością przełączeniową. Jak widać z rysunku dzięki istnieniu drugiej ilości obrotów wirnika zwiększa się wysokość nominalna dla danego silnika.

2. Charakterystyka silników odrzutowych.

Praca silnika turbodrzutowego, jego siła ciągu, zużycie paliwa i inne parametry zależą od prędkości i wysokości lotu, warunków atmosferycznych, reżimu /obrotów silnika, jakości mieszanki itd/.

Graficzne przedstawienie zmiany siły ciągu i jednoczesnego zużycia paliwa w zależności od prędkości lotu nazywamy charakterystyką prędkościową; w zależności od wysokości lotu

charakterystykę wysokościową i na koniec w zależności od obrotów charakterystykę dławioną.

a/ Charakterystyka dławiona.

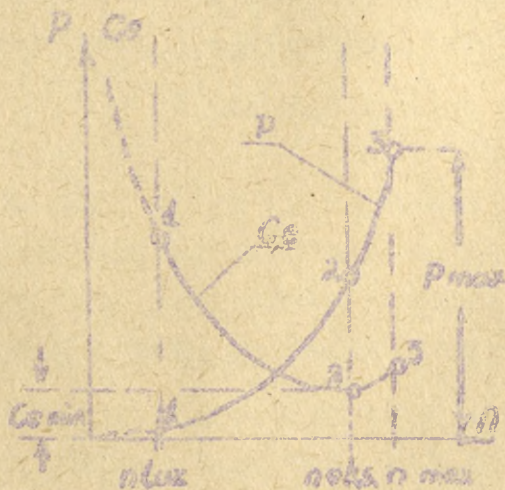
Charakterystykę dławioną wykonuje się na hamowni, na sieni. Regulację obrotów uzyskujemy przy pomocy dławienia paliwa. Przy wzroście podania paliwa, temperatura gazów przed turbiną zwiększa się, co z kolei powoduje wzrost mocy turbiny i obrotów. Ponieważ przy tym wzrasta stopień sprężania w sprężarce, a następnie ciśnienie i temperatura gazów przed turbiną i w dyszy odrzutowej to siła ciągu w silniku także wzrasta. Przy zmniejszeniu ilości podawanego paliwa siła ciągu spada.

Badania silnikowe wskazują, że siła ciągu silnika przy dławieniu paliwa zmienia się w przybliżeniu proporcjonalnie do 3-ej potęgi obrotów.

$$P = A \cdot n^3$$

gdzie A - const dla danego silnika.

Poniższy rysunek przedstawia charakterystykę dławioną silnika turboodrzutowego.



Rys. 6. Charakterystyka dławiona.

Na osi pionowej naniesione są wielkości siły ciągu $/F/$ i zużycie jednostkowego paliwa $/C_e/$. Czołki kreskowane pokazują zmianę siły ciągu i zużycia paliwa podczas rozruchu silnika /rozruch przy pomocy dodatkowego źródła energii/.

Punkt 1 oznacza wielkość siły ciągu i zużycia paliwa na zakresie małych obrotów, punkt 2 - zakres eksploatacyjny, punkt 3 - zakres maksymalnych obrotów. Zużycie jednostkowe paliwa na małych obrotach jest bardzo wysokie, praca silnika na tym zakresie jest nieskmonomiczna. Najmniejsze zużycie paliwa odpowiada zakresowi eksploatacyjnemu.

b/ Charakterystyka wysokościowa.

Zmiana siły ciągu i zużycia jednostkowego paliwa w zależności od wysokości nazywamy charakterystyką wysokościową silnika. Przy wykonywaniu charakterystyki wysokościowej zakładamy, że obroty silnika $/n/$, prędkość lotu $/V/$ i temperatura przed turbiną $/T_3/$ są stałe, współczynnik sprawności turbiny i sprężarki też stały.

$$T = \text{const}$$

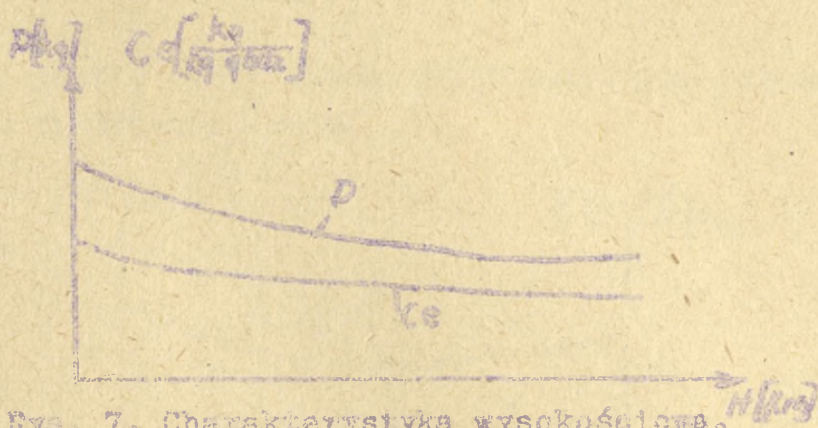
$$\eta = \text{const}$$

Ze wzrostem wysokości sekundowy wydatek powietrza przez silnik zmniejsza się, dzięki zmniejszeniu gęstości otaczającego ośrodka. Różnica $W-V$ w małym stopniu wzrasta, ponieważ spadek temperatury otaczającego ośrodka $/T_1/$ zwiększa stosunek temperatur $/\lambda = \frac{T_3}{T_1}/$ pociągająca za sobą wzrost prędkości wylotowej W .

W ten sposób siła ciągu ze wzrostem wysokości zmniejsza się lecz zmniejsza się wolniej niż spada gęstość powietrza. Powyżej 11 km temperatura jest stała i wobec tego siła ciągu spada tylko wskutek spadku gęstości powietrza.

Jak widzimy silnik turboodrzutowy jest silnikiem niewysokościowym, jednakże siła ciągu tego silnika spada ze wzrostem wysokości znacznie wolniej, niż w silniku tłokowym niewysokościowym.

Poniżej jest przedstawiona charakterystyka wysokościowa silnika turboodrzutowego.



Rys. 7. Charakterystyka wysokościowa.

Należy nadmienić, że ze wzrostem wysokości charakterystyka wysokościowa wyrównuje się i na dużych wysokościach przechodzi prawie że w prostą.

Ze wzrostem wysokości zużycie jednostkowe paliwa spada wobec tego eksploatacja silnika na wysokości jest bardziej ekonomiczna niż przy ziemi.

e/ Charakterystyka prędkościowa.

Krzywa pokazująca zależność siły ciągu od prędkości lotu nazywa się charakterystyką prędkościową silnika. Charakterystyką prędkościową wykonujemy przy stałej wysokości.

Ze wzrostem prędkości lotu wagony wydatek powietrza w niezmiernym stopniu warasta dzięki ciśnieniu dynamicznemu.

Przyrost prędkości wewnątrz silnika $/W-V/$ mniejsza się, ponieważ prędkość wypływu gazów rośnie znacznie wolniej, niż prędkość lotu.

Na podstawie wzoru na ciąg.

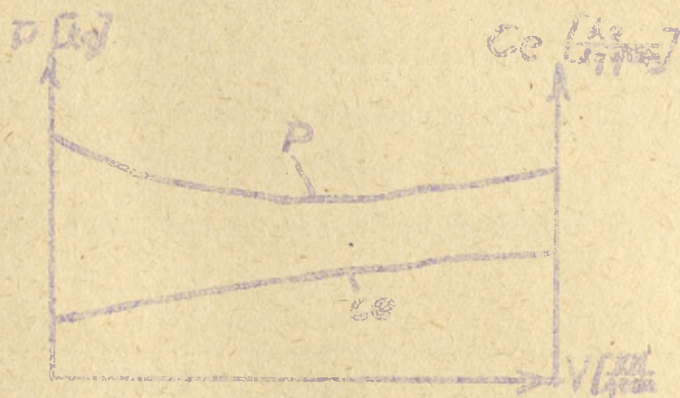
$$P = \frac{G}{g} \cdot /W-V/$$

widzimy, że siła ciągu posiada maksymalną wartość przy pracy silnika na mniejszą $/V=0/$.

$$P = -\frac{G}{g} \cdot V$$

Ze wzrostu prędkości lotu siła ciągu zmniejsza się stopniowo. W zakresie prędkości 400-600 km/godz ciąg pozostaje w przybliżeniu stały, natomiast przy dalszym zwiększeniu V , zaczyna warastać. Objawia się to wzrostem ciśnienia dynamicznego przy dużych prędkościach.

Poniżej jest przedstawiona charakterystyka prędkościowa silnika turboodrzutowego.



Rys. 8. Charakterystyka prędkościowa.

Z charakterystyki odczytujemy oprócz zmiany siły ciągu zużycie jednostkowe paliwa, które jak widać z rysunku wzrasta wraz ze wzrostem prędkości lotu.

3. Porównanie zasadniczych wielkości silnika tłokowego i odrzutowego.

Obecnie w lotnictwie wojskowym czy też cywilnym są stosowane dwa rodzaje silników a mianowicie tłokowy i turboodrzutowy. (do rakiet dalekiego zasięgu są stosowane silniki rakietowe). W tym zagadnieniu zostanie przeprowadzone porównanie silnika tłokowego z turboodrzutowym na obecnym etapie rozwoju, pod względem mocy, ciężaru jednostkowego, ekonomiczności i oporu czołowego przypadającego na $1 m^2$ powierzchni przekroju.

a) Porównanie pod względem mocy.

Dla silnika turboodrzutowego określamy zawsze tylko siłę ciągu. Celem obliczenia mocy tegoż silnika posłużymy się następującym wzorem.

$$N = \frac{P \cdot V}{75} \text{ [kW]}$$

gdzie:

P = siła ciągu

V = prędkość lotu

N = moc silnika.

Jak ze wzoru widać moc zależy od siły ciągu i prędkości lotu.

Jeżeli $\frac{V}{35}$ oznaczymy dowolną literą np. A to wówczas otrzymamy, że

$$N = A \cdot P$$

Podstawiając za V różne wartości będziemy otrzymywali odpowiednie wielkości współczynnika A. Należy pamiętać, że V musi być wyrażone w m/sek.

Poniższa tabela podaje współczynniki A dla niektórych prędkości lotu.

V Km/godz.	600	700	800	900	1000
$\frac{V}{35} = A$	2,22	2,59	2,56	2,53	2,7

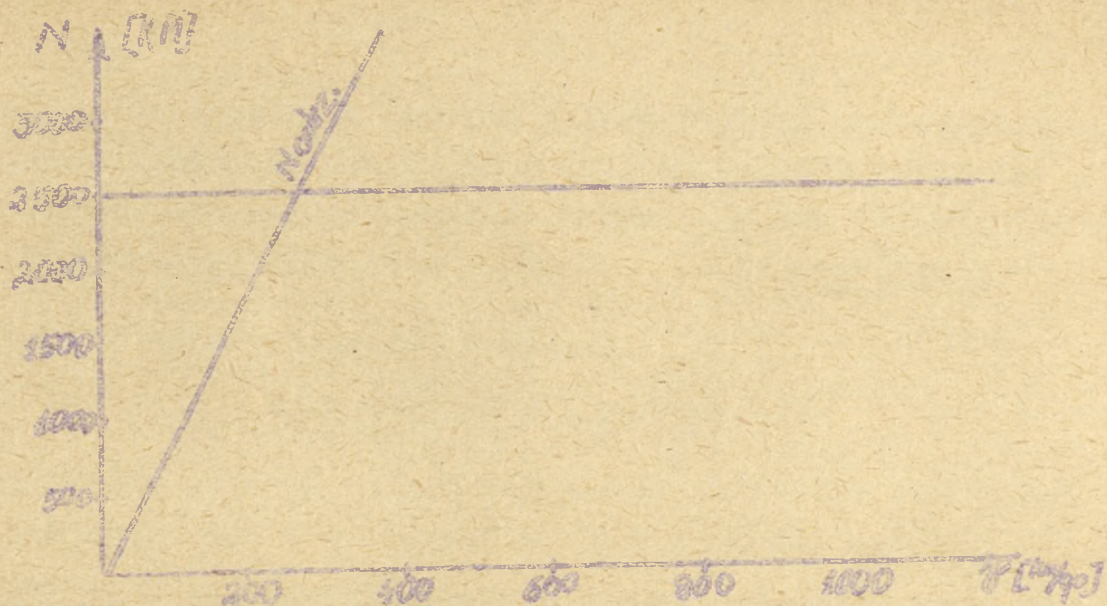
Srednia wielkość siły ciągu u współczesnych silników turbodrzutowych waha się około 3000 kg.

Jeżeli założymy, że obliczamy moc silnika przy prędkości 900 km/godz, to otrzymamy

$$N = 2,3 \cdot 3000 = 10\ 000 \text{ KM}$$

Srednia wielkość mocy współczesnych silników tłokowych wyraża się cyfrą około 2500 KM.

Z tego porównania widzimy, że w obecnej chwili silniki turbodrzutowe pod względem mocy osiągają wielkość w przybliżeniu 4 razy większą niż tłokowe. Na rys. 9 pokazana jest zmiana mocy silnika tłokowego i turbodrzutowego w zależności od prędkości lotu.



Rys. 9. Zależność mocy od prędkości lotu.

b. Porównanie pod względem ekonomiczności.

Azeby móc dokonać porównania zużycia paliwa silników tłokowych i turbodrzutowych należy wyrazić zużycie paliwa silnika turbodrzutowego w odniesieniu do KM, a nie kilograma siły ciągu. Wobec tego wzór na zużycie jednostkowe paliwa silnika turbodrzutowego przedstawia się następująco:

$$C_e = \frac{C_h}{N} = \frac{C_h}{3,3P}$$

po dalszym przekształceniu mamy

$$C_e = \frac{C_p}{3,3} \quad \frac{\text{kg}}{\text{KM godz.}}$$

gdzie:

C_e = jednostkowe zużycie paliwa silnika turbodrzutowego, posiadające miano:

$$\frac{\text{kg}}{\text{KM godz.}}$$

$C_h = C_p \cdot P$ = zużycie godzinowe paliwa

C_p = jednostkowe zużycie paliwa silnika turbodrzutowego posiadające miano

$$\frac{\text{kg}}{\text{kg ciągu godz.}}$$

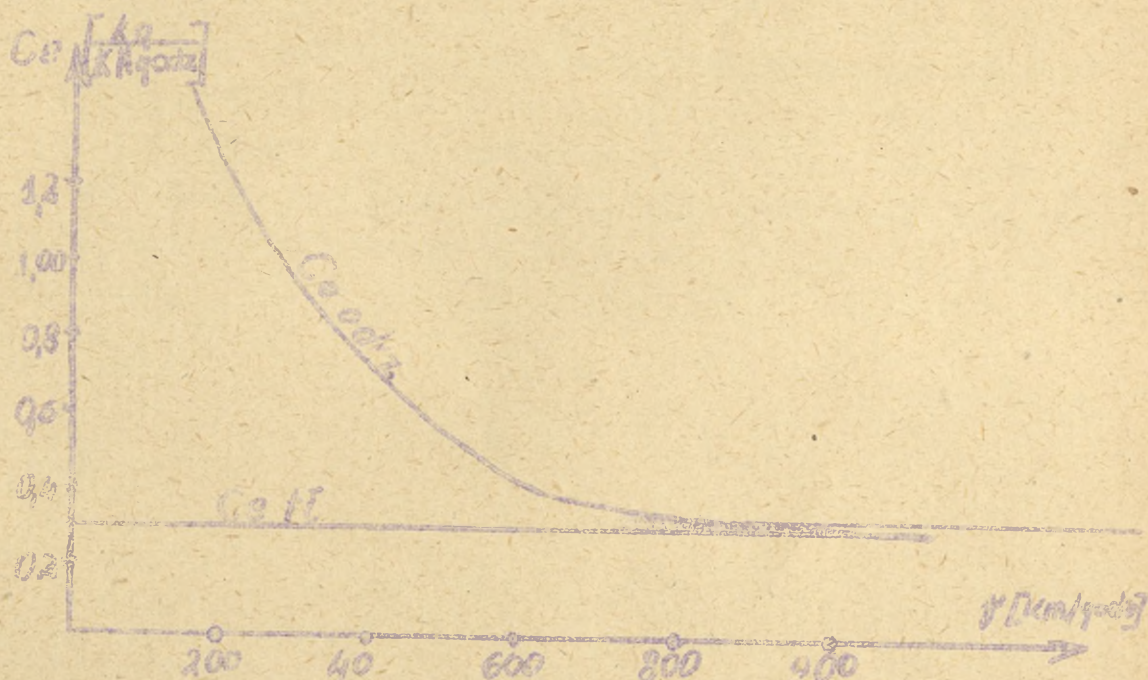
Mając ostatni wzór na zużycie paliwa silnika turboodrzutowego wyrażone w odniesieniu do KM podstawmy do niego konkretne wielkości. Średnie jednostkowe zużycie paliwa dla silników turboodrzutowych waha się około $C_p = 1,05 \frac{\text{kg}}{\text{KM} \cdot \text{godz}}$.

Biorąc do wzoru wielkość, otrzymany

$$C_p = \frac{1,05}{3,3} = 0,31 \frac{\text{kg}}{\text{KM} \cdot \text{godz}}$$

Jednostkowe zużycie paliwa w lepszych silnikach lotniczych tłokowych wyraża się wielkością $C_p = 0,27-0,3 \frac{\text{kg}}{\text{KM} \cdot \text{godz}}$.

Mając przeliczone w silnikach turboodrzutowych zużycie paliwa na KM i zużycie paliwa w silnikach tłokowych możemy powiedzieć, że pod względem ekonomicznym silniki turboodrzutowe i tłokowe są sobie równe. Porównanie nastąpiło przy prędkości lotu $V = 900 \text{ km/godz}$. Na prędkościach lotu poniżej 900 km/godz ekonomiczność silników turboodrzutowych będzie się pogarszała i na małych prędkościach jest ona bardzo niska. Poniższy rysunek pokazuje zależność zużycia paliwa od prędkości lotu.



Rys. 10. Zależność jednostkowego zużycia paliwa od prędkości lotu.

3. Porównanie pod względem ciężaru jednostkowego.

Ciężar jednostkowym silnika nazywany ciężar przypadający na jednostkę mocy. W silnikach turbodrzutowych należy przełożyć siłę ciągu na moc. W dalszym ciągu będziemy się posługiwali współczynnikiem przeniesienia $\lambda = 3,3$. Wzór na ciężar jednostkowy jest następujący:

$$G_j = \frac{G}{P} = \frac{K_2}{\lambda M}$$

gdzie:

G_j - ciężar jednostkowy silnika

G - ciężar wałkowy silnika

P - moc silnika.

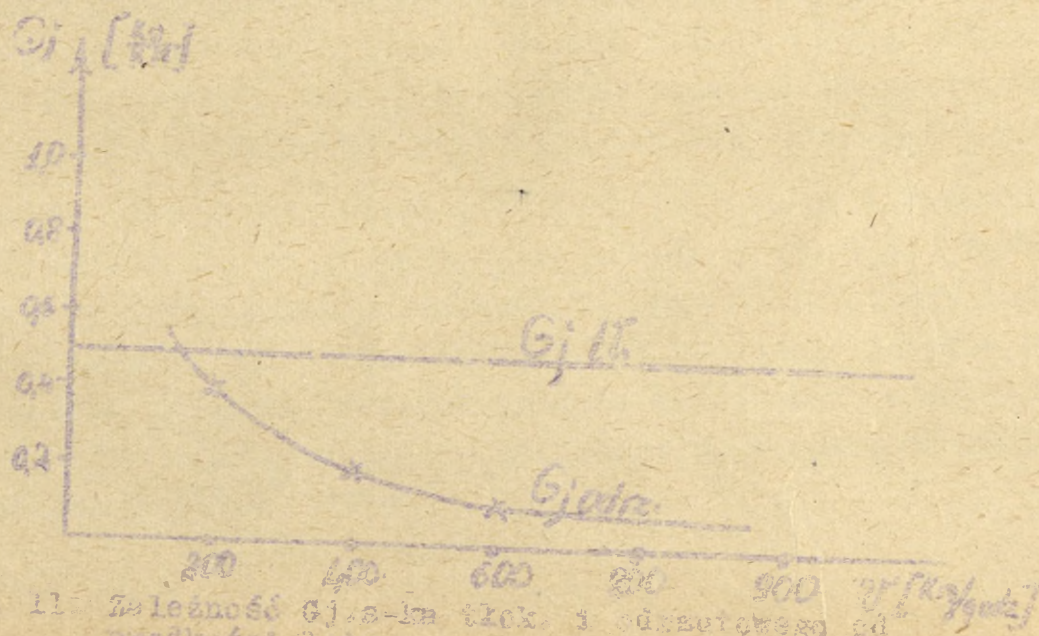
Obliczenie ciężaru jednostkowego silnika turbodrzutowego jest przedstawione poniżej:

$$G_j = \frac{G}{\lambda P}$$

Przyjmując średnią wielkość siły ciągu $P = 3000$ kg i odpowiadający temu ciężar $G = 900$ kg, otrzymamy

$$G_j = \frac{900}{3,3 \cdot 3000} = \frac{900}{9900} = 0,0909 \frac{\text{kg}}{\text{KM}}$$

Ciężar jednostkowy silników lotniczych tłokowych waha się w granicach 0,35-0,55 kg/KM. Z tego porównania widzimy, że ciężar jednostkowy silników turbodrzutowych jest 4-6 razy mniejszy od ciężaru jednostkowego silników tłokowych. Rys. 11 przedstawia zależność ciężaru jednostkowego silnika od prędkości lotu.



Rys. 11 Zależność G_j siln. tłok. i odrzutowego od prędkości lotu.

d/ Porównanie pod względem mocy przypadającej na jednostkę powierzchni oporu czołowego.

Powierzchnią oporu czołowego nazywamy powierzchnię największego przekroju poprzecznego silnika. Za jednostkę powierzchni oporu czołowego przyjmujemy 1 m^2 .

Wzór określający moc silnika przypadającą na jednostkę powierzchni jest następujący:

$$N_j = \frac{P}{F} = \frac{1,3 \cdot P}{\pi \frac{D^2}{4}}$$

Srednia wielkość średnicy silnika turbodrzutowego ze sprężarką odśrodkową wynosi około $1,2 \text{ m}$. Powierzchnia przy tej średnicy największego przekroju poprzecznego silnika wynosi:

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 1,1 \text{ m}^2$$

Podstawiamy do poprzedniego wzoru:

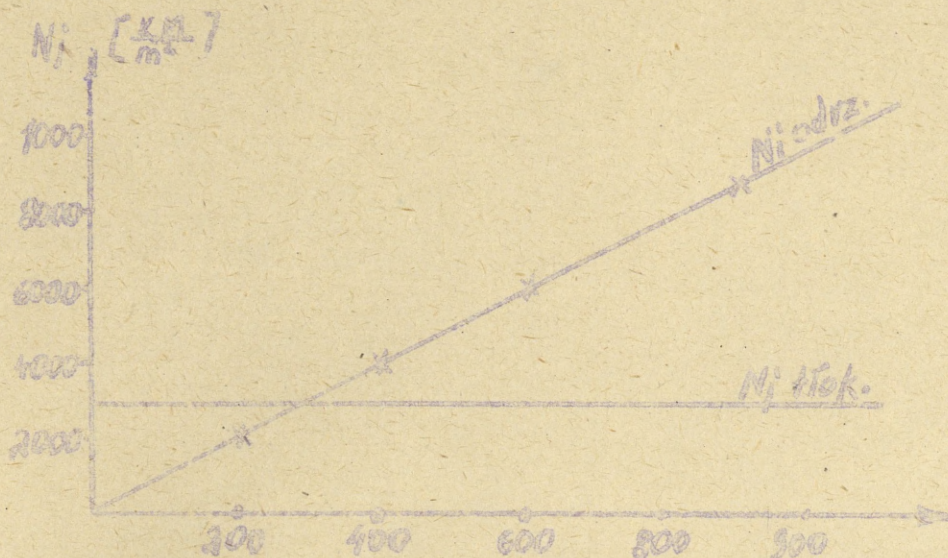
$$N_j = \frac{2,3 \cdot 3000}{1,1} = \frac{6900}{1,1} = 6000 \frac{\text{KM}}{\text{m}^2}$$

Powierzchnia największego przekroju poprzecznego silnika tłokowego o mocy 2500 KM /jeden z większych silników/ wynosi $F = 1,4 \text{ m}^2$. Wzór dla tegoż silnika tłokowego równa się:

$$N_j = \frac{2500}{1,4} = 1785 \frac{\text{KM}}{\text{m}^2}$$

Jak widzimy z tych wyliczeń moc przypadająca na jednostkę powierzchni oporu czołowego silnika turbodrzutowego ze sprężarką odśrodkową jest przeszło 3 razy większa niż w silniku tłokowym. Należy dodać, że obecnie jest tendencja konstruowania silników turbodrzutowych ze sprężarkami osiowymi.

W tego rodzaju silnikach powierzchnia przekroju zmniejsza się w bardzo znaczącym stopniu, a porównania z silnikami turbodrzutowymi ze sprężarkami odśrodkowymi. Przy takim stanie rzeczy, moc przypadająca na jednostkę oporu czołowego jeszcze bardziej wzrośnie. Ponieważ rysunek pozwala na wyrobienie sobie ogólnego poglądu na zmianę wielkości N_j w odniesieniu do różnych prędkości lotu.



Rys. 12. Zależność N_j tlok i N_j edrz. od prędkości lotu.

Omówiono w zagadnieniu trzecim parametry silnikowe mają zasadniczy wpływ na osiągi i dane taktyczno-techniczne samolotów. Według tych wielkości określony przydatność silnika do samolotu. Znając sposób porównania siły ciągu z mocą silnika możemy dokonywać zestawień silników tłokowych z turbodwusobowymi. Przeliczając siłę ciągu na moc należy zawsze mieć na uwadze prędkość lotu, gdyż od niej zależy współczynnik porównania

OPRACOWAŁ:

POZNANSKI
kpt.

GEN. KATEDRY Nr. 53

KOWALSKI - ppłk.



