

PROBLEMATYKA WYMIANY ŁADUNKU W CYLINDRACH LOTNICZEGO SILNIKA TŁOKOWEGO

W. Balicki, S. Szczeciński

Instytut Lotnictwa

J. Szczeciński

General Electric Poland

R. Chachurski, A. Kozakiewicz

Wojskowa Akademia Techniczna

Streszczenie

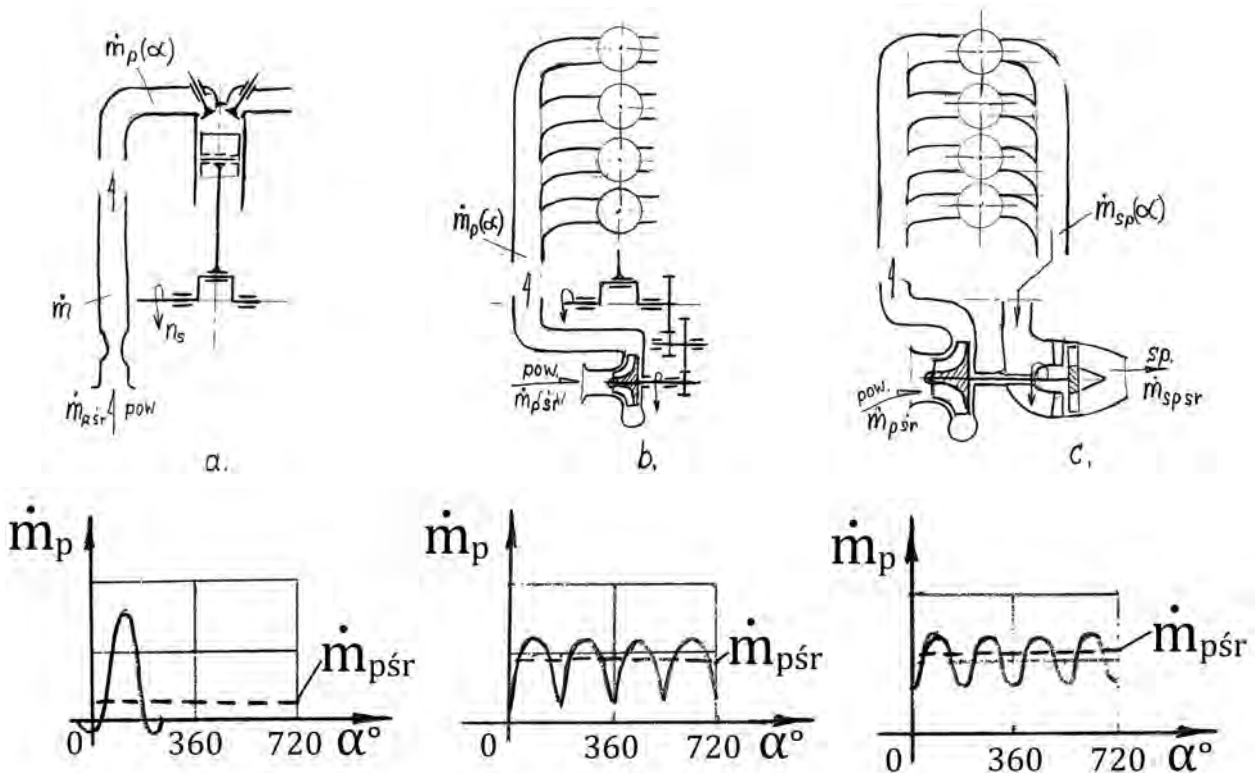
Użytkowane od ponad 100 lat w lotnictwie spalinowe silniki tłokowe swój najintensywniejszy rozwój przeszły w okresie I-ej wojny światowej, a doskonalenie jakościowe w okresie poprzedzającym II-ą Wojnę Światową. Wyparcie silników tłokowych przez turbinowe odrzutowe najpierw z lotnictwa bojowego a następnie dalekosiężnego lotnictwa pasażerskiego i towarowego – całkowicie zahamowało rozwój silników tłokowych ograniczając obszar wykorzystania w „małym” lotnictwie turystycznym, sportowym oraz rolniczym, policyjnym ... t.j. nie wymagającym dużych mocy, względnie tanim i łatwym w obsłudze. Obecnie jest potrzeba i szansa ich unowocześnienia (jak to już uczyniono w obszarze silników samochodowych) oraz wykorzystując „lotniczą wiedzę” o aerodynamice przepływów, polepszyć ich ogólną sprawność. W artykule przedstawiono sposoby poprawy napełnienia cylindrów silników, także doładowanych na drodze ograniczenia pulsacji przepływów przez sprężarki i turbosprężarki. Zwrócono uwagę na cechy dynamiczne silników tłokowych – stanowiących napęd lekkich i bardzo lekkich samolotów.

Słowa kluczowe: doładowanie, turbodoładowanie, przepływy pulsujące

Rozwój lotniczych silników tłokowych całkowicie ustał wraz zakończeniem II-ej wojny światowej. Pojedyncze próby rozwoju nie wytrzymały konkurencji z powstałymi silnikami turbino-wymi odrzutowymi i śmigłowymi. Natomiast rzeczywisty rozwój silników tłokowych nastąpił w motoryzacji, zwłaszcza po wynalezieniu sondy „lambda” i niskociśnieniowego (przedza-worowego) wtrysku paliwa, co radykalnie zmniejszyło zużycie paliwa oraz zawartość toksycznych składników w spalinach i wymusiło eliminację ołowiu w paliwach. Natomiast pozostała w za-pomnieniu aerodynamika przepływów w układach dolotowych i wylotowych, szczególnie przy-datna w silnikach turbodoładowanych.

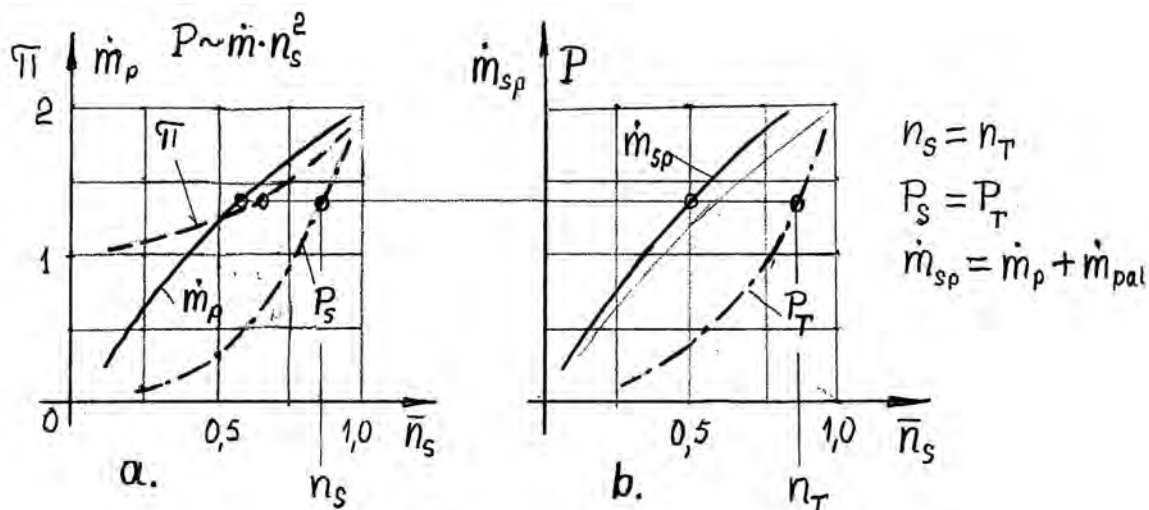
Należy tu dostrzec specyfikę współpracy silnika tłokowego, o pulsacyjnym przepływie i spalin (zależnym od liczby cylindrów), ze sprężarką i turbiną, o przepływie ciągłym (charakterysty-cznym dla maszyn wirnikowych). Na rys. 1 przedstawiono schematy charakterystycznych typów silników z zaznaczeniem pulsacji strumienia w kanałach dolotowych jedno- i czterocylindrowego oraz w kanale wylotowym silnika turbodoładowanego. We wszystkich przypadkach zaznaczono wartości średniego natężenia przepływu. Widoczna pulsacja przepływu za sprężarką podczas cyklicznego napełniania cylindrów oraz przed turbiną – podczas wydalania spalin z cylindrów nie sprzyja, ani efektywnemu napełnieniu cylindrów „świeżym” ładunkiem i ich opróżnianiu ze spalin, ani osiągnięciu sprawności sprężarki i turbiny – jak podczas przepływu ustalonego. Dla

przypomnienia na rys. 2 przytoczono charakterystyki obrotowe sprężarki i turbiny – pracujących jako zespół wirnikowy turbosprężarki – w warunkach przepływu ustalonego (pozbawionego pulsacji). W każdych warunkach pracy turbosprężarki musi zachodzić równowaga mocy P_S i P_T i prędkości n_S i n_T obu zespołów.



Rys. 1. Schemat silników (a) wolnoścącego jednocylindrowego, (b) doładowanego, cztero cylindrowego ze sprężarką mechanicznie napędzaną, (c) doładowanego cztero cylindrowego z turbosprężarką,

$\dot{m}_p(\alpha)$, $\dot{m}_{sp}(\alpha)$ – masowe chwilowe natężenie powietrza i spalin, α – kątowe położenie wykorbenia silnika.



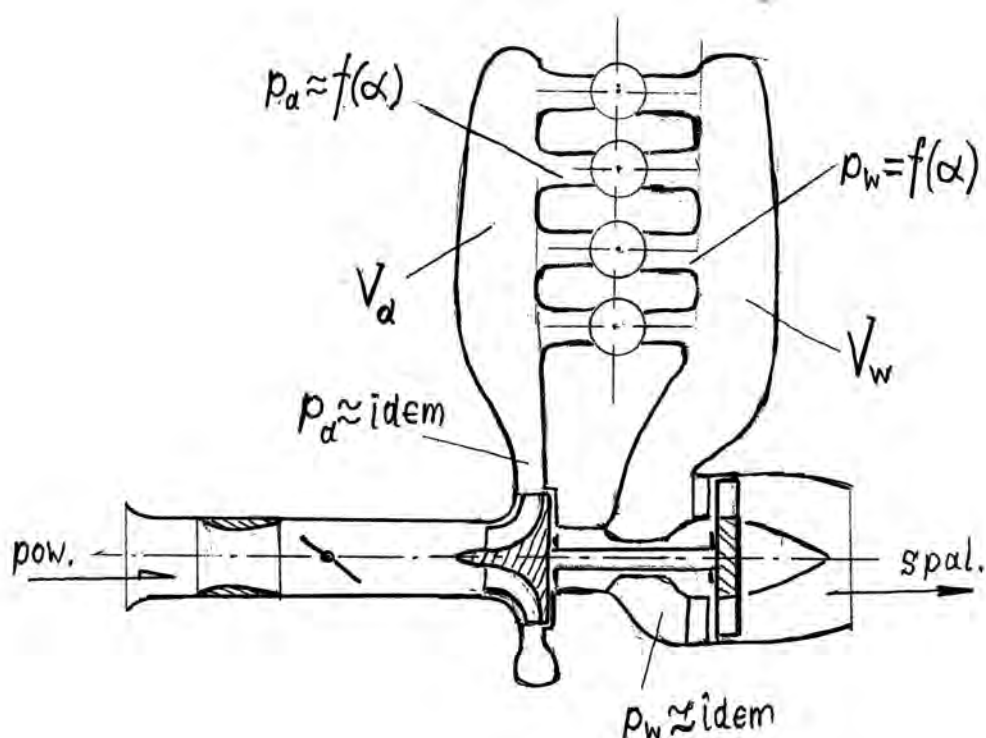
Rys. 2. Charakterystyki obrotowe sprężarki (a) i ją napędzającej turbiny (b);

\dot{m}_p , \dot{m}_{sp} , \dot{m}_{pal} – natężenia przepływu powietrza, spalin i paliwa, π – spręż sprężarki, n_S , n_T – prędkości obrotowe wirników sprężarki i turbiny,

P_S – moc niezbędna do napędu sprężarki, P_T – moc rozporządzalna turbiny

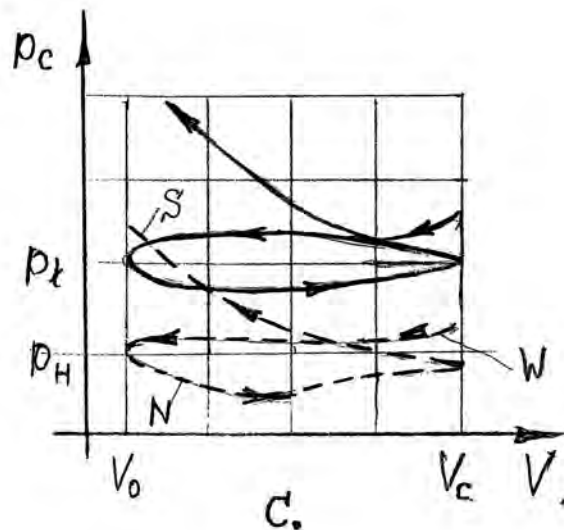
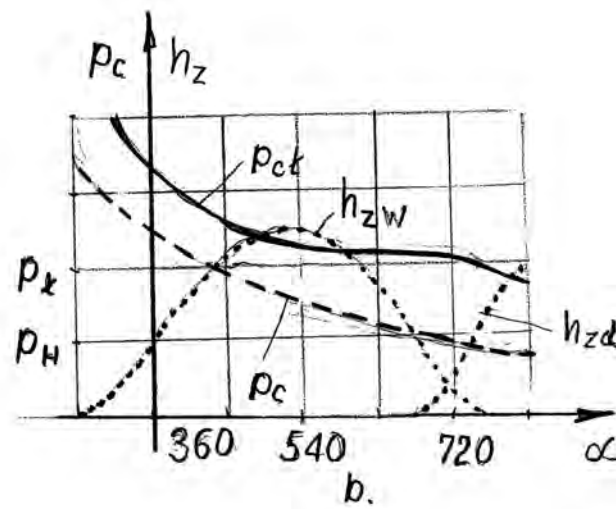
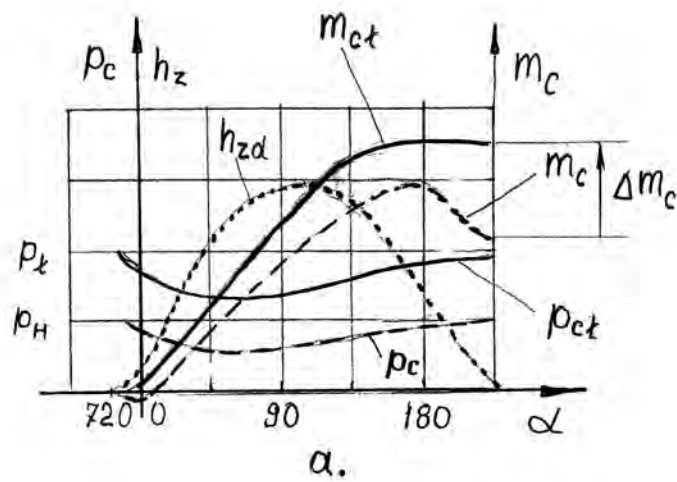
W silnikach doładowanych samolotów bojowych podczas II-ej wojny światowej sprężarki były napędzane mechanicznie (o przełożeniu przyspieszającym względem wału korbowego od ok. 7 do ok. 12) przy stopniu doładowania, przy ziemi π (1,5...2,0). Czas akceleracji jest dłuższy przy zastosowaniu turbosprężarki – przy której wykorzystuje się jednak energię wydalanych z cylindrów spalin, co wpływa na zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa. W okresie II-ej wojny światowej doładowanie zwiększyło moc silnika na wysokości znamionowej (2 000...4 000 m) od ok. 10 % do nawet 100%, przy ok. 10% mocy odbieranej od silnika do napędu sprężarki z jednoczesnym wzrostem jednostkowego zużycia o (10...15)%.

Dla poprawnej pracy przepływowej wirnikowych sprężarek i turbin, mimo pulsujących przepływów powietrza i spalin przez szczeliny zaworowe cylindrów silników, można zastosować zwiększenie objętości układu dolotowego V_d i wylotowego V_w zaznaczonych na rys. 3. Eksperymentalne badania przepływowe na prostym modelu dwucylindrowego silnika potwierdziły słuszność tej metody.

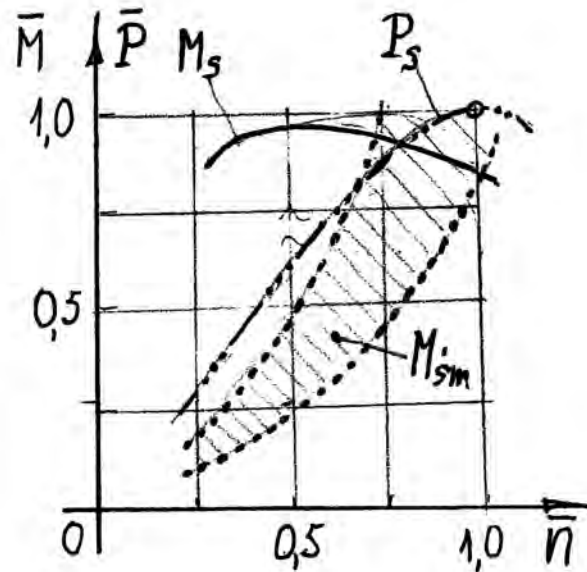


Rys. 3. Wpływ objętości V_d - układu dolotowego i wylotowego V_w na stopień wyrównania ciśnienia przed zaworami p_d i przed turbiną p_w

Doładowanie silników dość radykalnie zmienia proces napełniania cylindrów i pozwala na wzrost ilościowy ostatecznej porcji ładunku po zamknięciu zaworu dolotowego o wartość Δm_c zaznaczoną na rys. 4.a. Natomiast zastosowanie turbiny jako napędu sprężarki doładowującej wpływa na zwiększenie ilościowe resztek spalin pozostałych w cylindrach silnika po zamknięciu zaworów wylotowych (por. rys. 4.b.) w suwie opróżnienia. Dla pełniejszej oceny ilościowej zmian procesów wymiany ładunku w cylindrach na drodze doładowania (i turbodoładowania w odniesieniu do analogicznych procesów silnika wolnossącego pokazano na rys. 4.c fragment wykresu indykatorowego w suwie napełniania N , wydalania spalin W oraz sprężania S . Dodatkowa pojemność V_d układu dolotowego powinna być tak dobrana aby chwilowy pobór powietrza przez cylinder silnika nie przekraczał wartości średniego natężenia przepływu sprężarki. Oznacza to, że pojemność ta spełnia rolę zasobnika powietrza uzupełnionego ciągłym dopływem powietrza ze sprężarki, co oznacza, że jest ona także zależna od liczby zasilanych cylindrów (pulsacji przepływu powietrza pobieranego przez cylindry). Podobny skutek zmniejszania pulsacji wypływu spalin napływających do turbiny spełnia pojemność V_w w układzie wylotowym silnika.



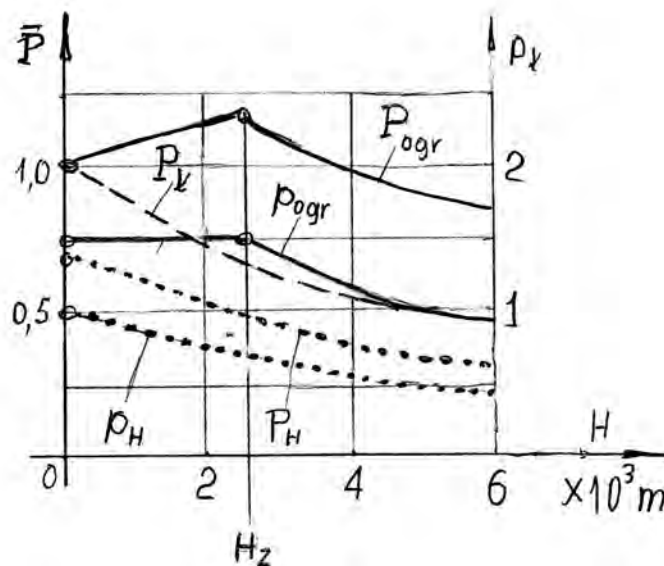
Rys. 4. Wpływ doładowania i turbodoładowania na stopień napełnienia m_c cylindrów oraz przebieg ciśnień w suwie ich napełnienia i opróżniania
 (a) - podczas suwu napełnienia, (b) - podczas suwu opróżniania, (c) - fragment wykresu indykatorowego silnika wolnossącego i doładowanego
 h_z - wznios zaworu, p_H, p_l - ciśnienie otoczenia i ładowania, p_c , m_c - ciśnienie i masa ładunku, α - położenie kątowe wykorbienia wału silnika



Rys. 5. Charakterystyka obrotowa silnika i śmigła

M_s, P_s - moment obrotowy i moc silnika, M_{sim} - obszar momentów obrotowych nastawnego śmigła

Specyfika silników lotniczych (a więc i tłokowych) jest ich praca w różnych warunkach zależnych od wysokości H i prędkości V lotu statku powietrznego oraz praca ciągła na zakresie prędkości obrotowej bliskiej jej wartości odpowiadającej maksymalnej mocy silnika. Sprzyja to pracy w takich warunkach zastosowanie śmigła o nastawnym skoku łopat, co uwidoczniło na charakterystyce obrotowej silnika z takim śmigłem (rys. 5).



Rys. 6. Charakterystyki wysokościowe lotniczych silników tłokowych mocy P i ciśnienia napędzania p
 P_H, p_H - wolnossącego, P_l, p_l - doładowanego, P_{ogr}, p_{ogr} - doładowanego z ogranicznikiem ciśnienia ładowania

Natomiast przebiegi charakterystyk wysokościowych silników przedstawiono na rys. 6. Widoczny jest ciągły spadek mocy P_H i ciśnienia p_H silnika wolnossącego i doładowanego P_l bez ograniczenia ciśnienia ładowania. Działanie ogranicznika ciśnienia ładowania (p_{ogr}) powoduje wzrost mocy P_{ogr} do znamionowej wysokości H_z , co spowodowane jest spadkiem ciśnienia w karterze silnika (pod tłokami), a następnie spadek mocy proporcjonalnie do spadku ciśnienia p_H powietrza otaczającego.

Przedstawione tu „drobne” kroki usprawniające pracę spalinowych tłokowych silników lotniczych są w „zasięgu ręki” konstruktorów i technologów zwłaszcza, że silniki o takim zastosowaniu pracują w bardzo wąskim zakresie prędkości obrotowych - zwłaszcza przy użyciu śmigieł o nastawnym skoku.

LITERATURA

- [1] **Biezeno C., Grammel R.:** *Technische Dynamik*. Berlin, 1953.
- [2] **Bohne C.:** *Der Flugmotor*. Berlin, 1943.
- [3] **Dzierżyński P., Łyżwiński M., Szczeciński S.:** *Napędy lotnicze. Silniki tłokowe*. WKiŁ, Warszawa, 1981.
- [4] **Kordziński C., Srodulski T.:** *Układy dolotowe silników spalinowych*. WKiŁ, Warszawa, 1968.
- [5] **Maslennikow M., Rppiort M.:** *Awiacjonnyje porszniewyje dwigatieli*. Oborongiz, Moskwa, 1951.
- [6] **Szczeciński S.:** *Lotnicze silniki tłokowe*. Wyd. MON, Warszawa, 1969.