

PORÓWNANIE PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH SAMOCHODOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH I DO SAMOLOTÓW ULTRALEKKICH

Streszczenie

Prognozowane jest zwiększenie udziału samolotów bardzo lekkich i ultralekkich w transporcie między aglomeracjami miejskimi, jako alternatywy dla ruchu drogowego. Do napędu tych samolotów używane są tłokowe silniki spalinowe. W artykule dokonano analizy parametrów eksploatacyjnych tych silników i jednostek napędowych samochodów osobowych, które mogą być adoptowane do użycia w samolotach. Przedstawiono także eksploatację obu środków transportu. Wykazano istotne różnice między obydwoma konstrukcjami.

WSTĘP

Ze względu na większy wzrost liczby pojazdów kołowych w stosunku do rozwoju sieci dróg, zmniejsza się prędkość oraz wydłuża czas przejazdu między miastami. Jako możliwą drogę rozwiązania problemu przedstawia się popularyzację prywatnego transportu lotniczego w postaci samolotów lekkich, bardzo lekkich i ultralekkich. Ich zaletą jest krótki czas podróży, opłacalność ekonomiczna oraz możliwość lądowania na lotniskach w pobliżu mniejszych miast, do których nie docierają duże samoloty komunikacyjne.

Źródłem napędu omawianych samolotów są silniki tłokowe. Ich konstrukcja zbliżona jest do jednostek samochodowych, jednak jest rozwijana na przestrzeni lat w dużo mniejszym stopniu. Z uwagi na uregulowania prawne, dla samolotów ultralekkich możliwa jest adaptacja silników od samochodów. W tym celu należy przeanalizować różnice w parametrach eksploatacyjnych, co zostanie przedstawione w niniejszym artykule.

Określenie eksploatacji środków transportu dotyczy zespołu działań organizacyjnych, technicznych i ekonomicznych ludzi z środkiem transportu oraz relacji pomiędzy nimi od chwili przejścia środka transportu do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem, aż do jego likwidacji. Czynności podejmowane w trakcie tego okresu obejmują: użytkowanie, obsługiwane, diagnozowanie, naprawianie oraz konserwację i przechowywanie.

1. EKSPLOATACJA SAMOLOTÓW ULTRALEKKICH

Samoloty ultralekkie (ULM) należą do kategorii ultralekkich statków powietrznych. Są to samoloty maksymalnie 2 miejscowe o maksymalnej masie startowej nie większej niż 450 kg (300 kg dla wersji jednomiejscowej) i prędkości przeciągnięcia lub minimalnej w locie ustalonym w konfiguracji do lądowania nieprzekraczającą 65 km/h. Muszą one być wyposażone w co najmniej jeden zespół napędowy. Samoloty ultralekkie w Polsce mogą być zakupione u zatwierdzonych producentów i wyposażone w certyfikowane silniki, lub budowane z zestawów we własnym zakresie przez właścicieli pod nadzorem Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego (ULC). W drugim przypadku możliwe jest zastosowanie jako jednostki napędowej silnika niecertyfikowanego lub modyfikowanej konstrukcji silnika samochodowego [1].

Eksploatacja samolotu ULM z uwagi na ryzyko, z jakim wiąże się podróżowanie tym środkiem transportu, jest ściśle określona przez instrukcje wydane przez producenta samolotu lub konstruktora i podlega nadzorowi i kontroli urzędu ULC. Instrukcja użytkowa-

nia w locie określa jakie są dopuszczalne i bezpieczne parametry eksploatacyjne samolotu w danej konfiguracji. Eksploatacja techniczna silnika ULM opiera się na instrukcji obsługi technicznej. Stosowana jest metoda obsługi według ściśle określonej okresowości (tzw. Resursu). Polega ona na ustalonych zakresach czynności do wykonania po przepracowaniu określonego czasu. Resurs ustala się, biorąc pod uwagę utrzymanie założonego poziomu niezawodności. Okresowość oraz zakres czynności może ulegać zmianie wraz ze zdobywaniem doświadczenia [2]. Od jakiegoś czasu pojawiają się propozycje zastąpienia używanej metody eksploatacji wg okresowości na metodę eksploatacji według stanu technicznego. Przy spełnieniu wymagań wyrażana jest zgoda urzędów na przedłużenie okresu między remontowego o 20% [3].

W zależności od tego, skąd pochodzi jednostka napędowa samolotu, instrukcja obsługi może być dostarczona przez producenta silnika i przedstawia procedury kontroli silnika co określony czas pracy, wyrażony w godzinach pracy. Ze względu na fakt, że przez część roku samoloty nie są używane, podawany jest także minimalny czas między inspekcjami po upływie określonego czasu, np. roku. Inspekcja obejmuje czynności: czyszczenia silnika; weryfikacji wizualnej elementów silnika; kontroli mocowania silnika i przekładni redukcyjnej śmigła; sprawdzenie poziomu i wymiana oleju; czyszczenie układu chłodzenia; sprawdzenie filtra powietrza; sprawdzenie elementów mocujących i gaźnika; kontrola napięcia paska napędowego, świec i przewodów zapłonowych oraz pomiar ciśnienia sprężania. Na koniec inspekcji odbywa się sprawdzenie silnika podczas pracy. Dla każdego typu silnika jest także określony okres między remontowy – po upływie którego konieczne jest przeprowadzenie generalnego remontu silnika [4]. Wszystkie inspekcje muszą być ewidencjonowane w książce samolotu (rys 1.).

typ		nr fabryczny									
X. CZYNNOŚCI OKRESOWE											
Lp.	Rodzaj czynności	Data wykonania			Poświadczenie						
		Dzień	miesiąc	rok	Pieczęćka i podpis						

Rys. 1. Tabela do ewidencji czynności okresowych [1]

Poza zaplanowanymi przeglądami, określone są także w instrukcji inspekcje nieplanowane. Ich konieczność wynika z nieprzewidzianych zdarzeń lub niezdatności silnika, w tym: uszkodzenia śmigła podczas pracy, nieregularnej pracy silnika, przekroczenia dopuszczalnej temperatury głowic i/lub oleju, zatrzymania silnika wskutek zatarcia, zanurzenie się silnika w wodzie, pracy silnika w ekstremalnych warunkach klimatycznych, przekroczenie maksymalnych obrotów silnika, zbyt niskiego ciśnienia oleju i innych. Dodatkowym obowiązkiem producenta silnika jest wydawanie w uzasadnionych przypadkach biuletynów serwisowych. Każdy użytkownik silnika jest zobowiązany do zastosowania się do procedur w nich opisanych [4].



Rys. 2. Pulpit sterowniczy z wskaźnikami analogowymi samolotu Morane MS 880 B



Rys. 3. Cyfrowy wskaźnik parametrów pracy silnika lotniczego JPI EDM-900 [5]

Podczas eksploatacji samolotu, poza obsługą przewidzianą w instrukcji, parametry silnika są monitorowane w czasie rzeczywistym (rys. 2). Następujące parametry eksploatacyjne są przedstawiane na wskaźnikach na pulpicie samolotu: ciśnienie i temperatura oleju, temperatury głowic i gazów wylotowych, prędkość obrotowa silnika, czas pracy w godzinach, ciśnienie w kolektorze dolotowym, ciśnienie i poziom paliwa oraz natężenie i napięcie prądu. Obserwowanie tych parametrów przez pilota pozwala na: prawidłowe przeprowadzenie procesu rozgrzewania silnika, optymalną eksploatację silnika, ocenę stanu technicznego silnika i ewentualne przewidzenie zbliżającej się awarii lub wykrycie nieprawidłowości w pracy silnika. Nowoczesne systemy monitoringu silnika (rys. 3) pozwalają ponadto na ustawienie wartości krytycznych, których

przekroczenie jest sygnalizowane alarmem. Wpływa to w istotny sposób na poprawę bezpieczeństwa lotu.

2. EKSPLOATACJA SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Silniki których wielkość i parametry są zbliżone do silników ULM, pochodzą od samochodów osobowych, dlatego omówiona zostanie tutaj eksploatacja takich środków transportu. Są to pojazdy samochodowe przeznaczone konstrukcyjnie do przewozu nie więcej niż 9 osób łącznie z kierowcą i bagażem. W odróżnieniu od samolotów w samochodach niezawodność nie jest priorytetowym wskaźnikiem pracy ale, z uwagi na duże ilości samochodów w ruchu (szczególnie miejskim) najważniejsze są ekologiczne wskaźniki pracy silników.

Każdy samochód osobowy podlega obowiązkowym badaniom technicznym ustalonym legislacyjnie. Ze względu na mniejsze niebezpieczeństwo w przypadku awarii jednostki napędowej niż w samolotach, jej kontrola obejmuje ograniczony zakres badań. Na badaniu okresowym sprawdzany jest stan techniczny układu wydechowego z możliwym pomiarem poziomu hałasu zewnętrznego podczas postoju oraz emisja zanieczyszczeń gazowych lub zadyminienia spalin, jeżeli pojazd jest napędzany silnikiem o spalaniu wewnętrznym. Stan techniczny silnika musi umożliwić przejście badania przez pojazd [6].

Eksploatacja techniczna silnika samochodowego jest określona w instrukcjach serwisowych przez producenta samochodu. Zakres czynności jest ustalony według harmonogramu uwzględniającego ilość przejechanych kilometrów lub czas w miesiącach (co nastąpi pierwsze). Przeglądy silnika nie są obowiązkowe – są tylko zalecane a ich wykonanie zależy od decyzji właściciela pojazdu. Inspekcja może obejmować czynności: kontroli błędów w sterowniku silnika; wymiany oleju silnikowego i filtra oleju; kontroli lub wymiany paska rozrządu; wymiany świec zapłonowych, kontroli lub wymiany paska urządzeń pomocniczych; kontroli układu zasilania paliwem; wymiany filtra paliwa i powietrza; kontroli układu chłodzenia i wymiany płynu chłodzącego oraz kontroli poziomu oleju przekładniowego w skrzyni biegów. Okresy między przeglądami mogą podlegać zmianie ze względu na różne niekorzystne warunki użytkowania pojazdu – krótkie trasy, poruszanie się po nieutwardzonych drogach, ekstremalne warunki klimatyczne, bliskość morza, wysoka wilgotność powietrza, częste ciągnięcie przyczep itp. [7].



Rys. 4. Wskaźniki współczesnego samochodu VW Transporter T5

Obecnie w samochodach panuje tendencja do zmniejszania ilości informacji o stanie silnika przekazywanych kierowcy (rys 4). Na desce rozdzielczej przedstawiona jest przeważnie prędkość obrotowa silnika i zużycie paliwa (średnie lub chwilowe). Pozostałe

parametry eksploatacyjne są kontrolowane przez sterownik silnika i przy przekroczeniu wartości dopuszczalnych, kierowca otrzymuje o tym komunikat.

3. PARAMETRY EKSPLOATACYJNE

Do głównych parametrów operacyjnych silników zalicza się: średnie ciśnienie indykowane i użyteczne, moc indykowana i użyteczna, moment obrotowy, zużycie paliwa, sprawność oraz objętościowy wskaźnik mocy. Wartości tych parametrów zmieniają się w zależności od prędkości obrotowej i obciążenia silnika, od parametrów otoczenia i dla samolotów od wysokości lotu. Graficzne przedstawienie tych współzależności nazywa się charakterystyką silnika [8]. Podczas eksploatacji badanie tych parametrów pozwala ocenić stan techniczny silnika.

W tabeli 1 przedstawiono parametry eksploatacyjne wybranych silników dedykowanych do samolotów ultralekkich. Wszystkie z nich mają układ cylindrów typu "bokser" i są 4 cylindrowe. Ich pojemność waha się od 1211 do 2592 cm³. Moc wynosi od 56 do 79 kW i jest osiągana przy obrotach około 3000 obr/min dla napędu

śmigła bezpośredniego z wału korbowego i przy wyższych obrotach dla napędu przez przekładnię redukcyjną. Podane wagi są orientacyjne, ponieważ każdy producent określa je w innej konfiguracji silnika. Średnie zużycie paliwa nie jest objęte normą i jest podane tylko w przypadku dwóch silników. Inni producenci podają często zużycie paliwa określone w jednostkach g/kWh dla maksymalnego i częściowego otwarcia przepustnicy (Limbach L2400 DFI/EFI) lub w l/h w postaci tabeli w zależności od mocy i prędkości obrotowej silnika (ULPower). Minimalna liczba oktanowa zależy od stopnia kompresji silnika i wynosi 98 dla wysokiej kompresji i 85-95 dla niskiej kompresji. Wszystkie silniki są dostosowane do zasilania benzyną bezołowiową samochodową, nie jest konieczne stosowanie benzyny wysokooktanowej lotniczej AVGas. Czas międzyremontowy mieści się w zakresie od 1000 do 2000 godzin pracy, przy czym część producentów zastrzega także ten czas w latach (co pojawi się pierwsze). Wskaźnik mocy jednostkowej mieści się w zakresie od 26,4 do 30,8 kW/dm³ dla silników z bezpośrednim napędem śmigła i od 49,2 do 54,4 dla silników z przekładnią redukcyjną. Różnica wynika z faktu, że w pierwszym wypadku silnik nie może przekraczać dopuszczalnej prędkości obrotowej śmigła, stąd

Tab. 1. Parametry eksploatacyjne wybranych silników do samolotów ultralekkich [9-13]

Silnik	Pojemność [cm ³]	Układ cylindrów	Ilość cyl.	Średnica tłoka [mm]	Skok tłoka [mm]	Stopień kompresji	Moc [kW]	Moc [KM]	Moc przy obrotach [1/min]	Moment obrotowy, [Nm]	Moment przy obrotach [1/min]	Waga orientacyjna [kg]	Średnie spalanie [l/godz.]	Paliwo - minimalna liczba oktanowa	TBO [godz. Pracy]	Wskaźnik mocy jednostkowej [kW/dm ³]	Cena [PLN]
Jabiru 2200	2200	bokser	4	97,5	74	8 do 1	60	85	3300	210	2500	62,8	b.d.	98	2000	27,3	57 660
Limbach L2400 DFI/EFI	2424	bokser	4	97	82	9,5 do 1	74	100	3000	190	3000	76,0	b.d.	98	1600	30,5	81 868
Limbach L2000 EB	1994	bokser	4	90	78,4	8,4 do 1	59	80	3400	b.d.	b.d.	76,5	12 l/h	98	1000	29,6	65 748
Limbach L2400 EB	2424	bokser	4	97	82	8,5 do 1	64	87	3200	b.d.	b.d.	82,0	14 l/h	98	1400	26,4	68 364
Rotax 912 UL	1211	bokser	4	79,5	61	b.d.	60	80	5800	103	4800	55,4	b.d.	85	2000	49,2	62 161
Rotax 912 ULS	1352	bokser	4	84	61	b.d.	74	100	5800	128	5100	56,6	b.d.	85	2000	54,4	72 306
Rotax 912 iS Sport	1352	bokser	4	84	61	b.d.	74	100	5800	121	5800	63,6	b.d.	85	2000	54,4	107 240
UL Power UL260i	2592	bokser	4	105,6	74	8,16 do 1	72	97	3300	218	2700	72,3	b.d.	95	1000	27,9	62 034
UL Power UL260iS	2592	bokser	4	105,6	74	9,1 do 1	80	107	3300	240	2800	72,3	b.d.	98	1000	30,8	66 676
Vaxell 80i	1900	bokser	4	b.d.	b.d.	b.d.	56	76	3100	208	1500	73,5	b.d.	95	b.d.	29,5	35 900
Vaxell 100i	2300	bokser	4	b.d.	b.d.	b.d.	66	90	3100	222	2200	74,9	b.d.	95	b.d.	28,7	39 990

Tab. 2. Parametry eksploatacyjne wybranych silników samochodowych [14]

Samochód	Silnik	Pojemność [cm ³]	Układ cylindrów	Ilość cyl.	Średnica tłoka [mm]	Skok tłoka [mm]	Stopień kompresji	Moc [kW]	Moc [KM]	Moc przy obrotach [1/min]	Moment obrotowy [Nm]	Moment przy obrotach [1/min]	Średnie spalanie [l/100km]	Wskaźnik mocy jednostkowej [kW/dm ³]
Fiat 500L Livign 1.4 16V 2013	843 A 1000	1368	rzędowy	4	72	84	10,8:1	70	95	6000	127	4500	6,2	51,2
Ford Fiesta 1.0 TI-VCT 2012	b.d.	999	rzędowy	3	71,9	82	12:1	59	80	6300	105	4100	4,6	59,1
Opel Adam 1.4 16V 2012	b.d.	1398	rzędowy	4	73,4	82,6	10,5:1	74	100	6000	130	4000	5,5	52,9
Renault Megane 1.6 16V 2012	b.d.	1598	rzędowy	4	79,5	80,5	9,8:1	74	100	5500	148	4250	6,8	46,3
Subaru Imperza 1.5i 2005r.	EJ15	1493	bokser	4	85	65,8	10:1	74	100	5200	142	4000	b.d.	49,6
Toyota Yaris 1.3 2014	1NR-FE	1329	rzędowy	4	72,5	80,5	11,5:1	73	99	6000	125	4000	4,9	54,9
VW 1302 S "Garbus" 1970	b.d.	1584	bokser	4	85,5	69	7,5:1	37	51	4000	106	2800	b.d.	23,4

są to niskooobrotowe silnik o dużej pojemności skokowej. W drugim przypadku przekładnia redukcyjna pozwala wykorzystać silnik wysokoobrotowy o mniejszej pojemności skokowej i podobnej mocy. Ceny silników podane są orientacyjnie i nie uwzględniają podatków ani kosztów transportu.

Wybrane silniki samochodowe o mocy zbliżonej do silników ULM przedstawiono w tabeli 2. Dodatkowo został przedstawiony silnik VW 1302 S, który jest podstawą dla silników lotniczych Vaxell. Większość spośród wybranych silników ma układ cylindrów rzędowy. Ich moc waha się od 59 do 74 kW i jest osiągana w zakresie obrotów od 5200 do 6300 obr/min (bez uwzględnienia silnika VW).. Wskaźnik mocy jednostkowej wynosi 23,36 dla silnika VW 1302 S i od 46,31 do 59,06 kW/dm³ dla pozostałych silników. Średnie zużycie paliwa podane jest w l/100km i sposób jego badania jest określony normą.

PODSUMOWANIE

Eksploatacja silników samolotów ultralekkich i samochodów różni się znacznie. Ze względu na bezpieczeństwo, w samolotach obsługa techniczna silnika podlega nadzorowi i kontroli ULC. Serwisowanie silnika jest ściśle określone przez jego producenta. W samochodach obowiązkowe przeglądy weryfikują stan techniczny silnika głównie w zakresie emisji hałasu i zanieczyszczeń, co w przypadku samolotów jest obecnie nie badane w ogóle. Utrzymanie zdolności jednostki napędowej samochodu jest zależne od decyzji właściciela.

Istotne jest monitorowanie parametrów operacyjnych podczas pracy silnika lotniczego. Ilość i rodzaj parametrów silnika mierzonych w czasie rzeczywistym jest znacznie większa niż w przypadku samochodu osobowego. Wynika to z wymogów bezpieczeństwa – pilot na podstawie tych wskaźników jest w stanie określić ewentualną awarię silnika i podjąć decyzję o przerwaniu lotu.

Porównania parametrów eksploatacyjnych samochodowych silników i do samolotów ultralekkich można dokonać tylko w odniesieniu do pojemności, stopnia sprężania, mocy, momentu obrotowego i wskaźnika mocy jednostkowej. Maksymalną moc silniki samochodowe uzyskują przy wyższych prędkościach obrotowych niż silniki lotnicze (z wyjątkiem Rotaxa). W związku z tym ich wskaźnik mocy jednostkowej jest także wyższy. Zużycie paliwa nie jest podawane w takich samych jednostkach dlatego nie można go porównać. Także waga silnika jest podawana przez producentów do samolotów ULM, natomiast przy silnikach samochodowych ten parametr nie jest istotny.

Przy konwersji silnika samochodowego do zastosowania w samolotach ultralekkich bardzo istotne jest sprawdzenie wszystkich elementów silnika. Przy używanych silnika w zasadzie można rozpocząć od remontu generalnego. Największą modyfikacją konstrukcji jest dostosowanie do napędu śmigłowego. Opracowaniu tej konstrukcji należy poświęcić szczególnie dużo uwagi i staranności, gdyż montaż śmigła zmienia w istoty sposób obciążenie wału korbowego. Ponadto należy przewidzieć miejsca montażu dodatkowych czujników parametrów takich jak: ciśnienie i temperatura oleju, temperatura głowic i gazów wylotowych.

BIBLIOGRAFIA

1. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki morskiej z dnia 26 marca 2013 r. W sprawie zastosowania niektórych przepisów ustawy - Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków (Dz.U. 2013 poz 440)

2. Danilecki S.: Eksploatowanie samolotów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004
3. Głowacki P., Łukasik B. Eksploatacja lotniczych silników tłokowych według stanu technicznego – propozycja. Combustion Engines. 2015, 162 (3), 52-63. ISSN 2300-9896
4. www.rotax-owner.com [dostęp 1.10.2015]
5. www.jp instruments.com [dostęp 1.10.2015]
6. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki morskiej z dnia 26 czerwca 2012 r. W sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach (Dz.U. 2012 poz 996)
7. Subaru Impreza 2002 factory service manual DVD
8. Rychter T., Teodorczyk A. Pojazdy samochodowe. Teoria silników tłokowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006
9. www.jabiru.net.au [dostęp 1.10.2015]
10. www.limflug.de [dostęp 1.10.2015]
11. www.flyrotax.com [dostęp 1.10.2015]
12. www.vaxell.com [dostęp 1.10.2015]
13. www.ulpower.com [dostęp 1.10.2015]
14. www.carfolio.com [dostęp 1.10.2015]

OPERATIONAL PARAMETERS COMPARISON OF AUTOMOTIVE AND ULTRALIGHT AIRCRAFTS ENGINES

Abstract

Forecasts predict increased usage of very light and microlight aircraft transportation between urban agglomerations, as an alternative to road traffic. These means of transport are driven by reciprocating internal combustion engines. This paper analyzes their operating parameters and automotive engines which can be modified for aircraft usage. The exploitation of both modes of transport is also described. Significant differences between the two constructions were shown.

Autor:

mgr inż. **Piotr Świątek** – Politechnika Poznańska – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu