

DOŚWIADCZENIA EKSPLOATACJI ZESPOŁÓW NAPĘDOWYCH BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH O MASIE POWYŻEJ 50 KG

RYSZARD CHACHURSKI

Wojskowa Akademia Techniczna

Streszczenie

Coraz powszechniejsze wykorzystywanie bezzałogowych statków powietrznych (BSP) do wykonywania zadań zarówno wojskowych, jak i cywilnych stwarza konieczność rozwiązywania wielu nowych problemów natury nie tylko konstrukcyjnej, ale i eksploatacyjnej. Specyfika użytkowania BSP wyraża się m.in. brakiem „czucia” przez operatora reakcji pilotowanego przez niego samolotu lub śmigłowca na różnego rodzaju oddziaływania, w tym na mogące się pojawiać w trakcie lotu zakłócenia w pracy zespołu napędowego. W związku z tym istotne jest możliwie szerokie poznanie szczególnych warunków eksploatacji tego rodzaju obiektów latających oraz problemów pojawiających się w jej trakcie. W artykule zebrano doświadczenia z eksploatacji zespołów napędowych różnych typów bezzałogowych statków powietrznych o masie powyżej 50 kg.

Słowa kluczowe: bezzałogowy statek powietrzny, zespół napędowy, silnik lotniczy, eksploatacja

Co prawda w Polsce nie produkuje się bezzałogowych statków powietrznych o masie powyżej 50 kg, jednak w związku z burzliwym rozwojem tego rodzaju samolotów i śmigłowców należy się spodziewać, że mogą one być nie tylko kupowane za granicą, ale także wytwarzane w kraju. Nawet zakładając, że w kraju nie zostanie podjęta produkcja silników tłokowych do tego rodzaju bezzałogowych statków powietrznych, to z pewnością będzie można prowadzić prace związane z doskonaleniem zespołów napędowych lub przystosowywaniem ich do konkretnych warunków, w jakich będą one użytkowane. Prace takie mogą być prowadzone samodzielnie lub w kooperacji np. w Wojskowej Akademii Technicznej, w Instytucie Lotnictwa, czy Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych i in.

W związku z tym, że w Polsce w zasadzie nie ma żadnych doświadczeń związanych z eksploatacją tego typu BSP i ich zespołów napędowych, celowym wydaje się określenie niezawodności tychże zespołów napędowych oraz problemów, jakie pojawiały się podczas ich eksploatacji w armiach państw obcych, w tym głównie USA oraz Izraela, jako krajów mających największe doświadczenie w tym zakresie. Pozwoli to wskazać, jakie rodzaje zespołów napędowych są najbardziej pożądane do stosowania w bezzałogowych statkach powietrznych, czym powinny się charakteryzować i jakie są najpilniejsze kierunki ich doskonalenia.

W artykule rozpatrzono zespoły napędowe statków powietrznych wielokrotnego użycia wykonujących zadania rozpoznania powietrznego, walki elektronicznej itd., natomiast pominięto jednorazowe BSP o charakterze celów powietrznych lub pocisków manewrujących (w skład ich zespołów napędowych wchodzi silniki tłokowe lub turbinowe). Do analizy wybrano BSP o masie powyżej 50 kg, ponieważ lżejsze napędzane są zazwyczaj śmigłowymi zespołami napędowymi z silnikami elektrycznymi lub standardowymi dwu- lub czterosuwowymi tłokowymi silnikami modelarskimi.

1. ZESPOŁY NAPĘDOWE BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH O MASIE POWYŻEJ 50 KG

Do napędu bezzałogowych statków powietrznych o masie powyżej 50 kg stosowane są głównie śmigłowe zespoły napędowe z dwu- lub czterosuwowymi silnikami tłokowymi. Charakterystyczne jest to, że o ile w BSP o masie pomiędzy 50 kg a 100 kg stosowane są silniki różnych producentów (często adaptowane z pojazdów motocyklowych), o tyle w przedziale mas 100 kg – 500 kg dominują silniki z tłokiem wirującym produkowane przez brytyjską firmę UAV Engines Ltd., natomiast w BSP o masie powyżej 500 kg chętnie stosowane są silniki firmy Rotax, a zwłaszcza model 914. Wykorzystanie silników Rotax, które są powszechnie stosowane do napędu załogowych ultralekkich statków powietrznych podyktowane jest ich dużą niezawodnością, stosunkowo długimi okresami międzyremontowymi (rzędu kilkuset godzin), dostępnością części zamiennych oraz stosunkowo niskimi cenami, które są co najmniej kilkukrotnie niższe od cen silników produkowanych wyłącznie do bezzałogowych statków powietrznych. Jeszcze niższe ceny, a zwłaszcza przewidywane wyjątkowo duże okresy międzyremontowe rzędu 5000 godzin zachęcają do prób wykorzystania do napędu BSP lotniczych wersji silników samochodowych, np. Subaru EA-82T o mocy 123kW przy 3000 obr/min, które również znajdują zastosowanie do napędu amatorskich załogowych statków powietrznych.

Zarówno silnik Rotax 914, jak i Subaru EA-82T zbudowane są jako 4. cylindrowe dwurzędowe silniki przeciwobrotowe w układzie płaskim (tzw. bokser). Układ taki zapewnia bardzo dobre wyrównoważenie sił występujących w układzie korbowym, co ma szczególne znaczenie w przypadku bezzałogowych statków powietrznych, gdyż pozwala na minimalizację drgań przenoszonych się od silnika przez konstrukcję płatowca na aparaturę znajdującą się na ich pokładzie. Budowane są przede wszystkim silniki chłodzone powietrzem, ale także chłodzone cieczą lub z chłodzeniem mieszanym. W silnikach takich stosuje się głównie zasilanie gaźnikowe, chociaż coraz bardziej popularne stają się układy zasilania z wtryskiem niskociśnieniowym. Silniki z zasilaniem wtryskowym zapewniają lepsze dostosowanie jakości i składu mieszanki do zmiennych warunków lotu i umożliwiają niższe zużycie paliwa. Ponadto należy wziąć pod uwagę, że silniki tłokowe z zasilaniem gaźnikowym są zagrożone oblodzeniem układów dolotowych w temperaturach otoczenia powyżej +20°C (nawet do 38°C) przy wilgotności względnej nawet poniżej 30%, podczas, gdy dla silników tłokowych z zasilaniem wtryskowym zagrożenie to rzadko występuje w temperaturach wyższych niż +5°C.

W wielu firmach prowadzi się również prace nad lotniczymi silnikami o zapłonie samoczynnym (wysokoprężnymi) o małych mocach.

Zespoły napędowe bezzałogowych statków powietrznych wyposaża się głównie w śmigła o stałym skoku. Jedynie w strategicznych BSP latających na dużych wysokościach stosowane są śmigła o zmiennym skoku. Co prawda śmigło o zmiennym skoku pozwala na lepsze wykorzystanie silnika w zmiennych warunkach lotu, ale komplikuje konstrukcję zespołu napędowego i zwiększa jego masę. Śmigła napędzane są najczęściej bezpośrednio od wału korbowego silnika, ale w niektórych przypadkach, zwłaszcza w dużych BSP, konieczne jest stosowanie przekładni redukcyjnych.

2. ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH ZESPOŁÓW NAPĘDOWYCH BSP O MASIE POWYŻEJ 50 KG ORAZ ZAGROŻEŃ WYSTĘPUJĄCYCH PODCZAS ICH EKSPLOATACJI

Doświadczenia zebrane podczas pokojowej eksploatacji i bojowego użycia bezzałogowych statków powietrznych o masie powyżej 50 kg pokazują, że niezawodność ich zespołów napędowych stanowi bardzo poważny problem.

W lutym 2003 w Departamencie Obrony USA opracowano raport dotyczący niezawodności bezzałogowych statków powietrznych wykorzystywanych przez siły zbrojne tego państwa. W raporcie tym wydzielono następujące grupy źródeł niesprawności:

1. zespół napędowy i źródła energii - silnik, śmigło, układ przekazania napędu, układ zasilania, generator i inne związane z pracą silnika podsystemy BSP;
2. sterowanie - systemy zapewniające stabilność lotu i sterowanie, takie jak awionika, serwomechanizmy, systemy zbierania i przetwarzania danych na potrzeby układu sterowania, powierzchnie sterowe i ich napędy, oprogramowanie, wyposażenie nawigacyjne i inne podobne podsystemy BSP, a także czynniki aerodynamiczne;
3. komunikacja - systemy przekazywania danych między BSP a naziemnymi stacjami kontroli lotu;
4. czynnik ludzki i naziemna stacja kontroli - niesprawności wynikające z błędów popełnianych przez personel naziemny oraz problemów eksploatacyjnych związanych ze sprzętem i oprogramowaniem naziemnym;
5. inne źródła - różne czynniki nie związane z techniką.

Dla poszczególnych bezzałogowych statków powietrznych wyniki badań wykazały następujący rozkład przyczyn niesprawności związanych z grupą 1:

RQ-1 Predator - analiza danych z eksploatacji BSP Predator w wersjach RQ-1A i RQ-1B wykazuje, że dla wersji RQ-1A przyczyny grupy 1. spowodowały 23% niesprawności, a dla wersji RQ-1B 53% niesprawności, co stanowi ponad dwukrotny wzrost. Podstawowa różnica pomiędzy obiema wersjami BSP polegała na wymianie silnika z Rotax 912 w wersji RQ-1A na silnik Rotax 914 w wersji RQ-1B mająca na celu zwiększenie prędkości BSP. Ponadto RQ-1B wyposażono w śmigło o zmiennym skoku. Spośród 53% procent niesprawności z grupy 1. dla RQ-1B 10% wywołanych było problemami ze śmigłem, a prawie 70% problemami z silnikiem. Przy czym procentowy wzrost niesprawności wywołanych przez czynniki grupy 1. nie wynika jednoznacznie ze wzrostu niesprawności zespołu napędowego, ale jest też spowodowany obniżeniem się ilości niesprawności powodowanych przez czynniki zaliczone do innych grup. Dla zwiększenia niezawodności zespołu napędowego od wersji MQ-1 Block 30 zastosowano silnik wyposażony we wtryskowy układ zasilania oraz dwa alternatory.

RQ-2 Pioneer - analiza danych z eksploatacji BSP Pioneer w wersjach RQ-1A i RQ-1B pokazuje, że odpowiednio dla wersji RQ-2A i RQ-2B przyczyny grupy 1. stanowiły 29% i 51%. W trakcie eksploatacji BSP Pioneer wprowadzano wiele modyfikacji mających na celu zwiększenie niezawodności zespołu napędowego, m. in. poprawiano kształt osłon silnika aby polepszyć jego chłodzenie i przeniesiono serwomechanizm przepustnicy silnika w inne miejsce, co miało zapobiegać wyłączeniu się silnika w locie. Rozważano także zastosowanie bardziej niezawodnego silnika, albowiem okazało się, że zaadaptowany z pojazdów motocyklowych silnik Sachs SF2-350 ma zbyt małą moc i często bywa przeciążany. Do roku 2002 nie wprowadzono jednak przewidywanej w roku 1997 wymiany silnika na bardziej niezawodny (Qattra). Podobnie jak w przypadku RQ-1 Predator, w wersji RQ-2B Pioneer zmniejszył się procentowy udział niesprawności spowodowanych przez systemy sterowania, natomiast znacznie zwiększył się udział czynników z grupy 1. Podczas operacji Iraqi Freedom I problemy z zespołem napędo-

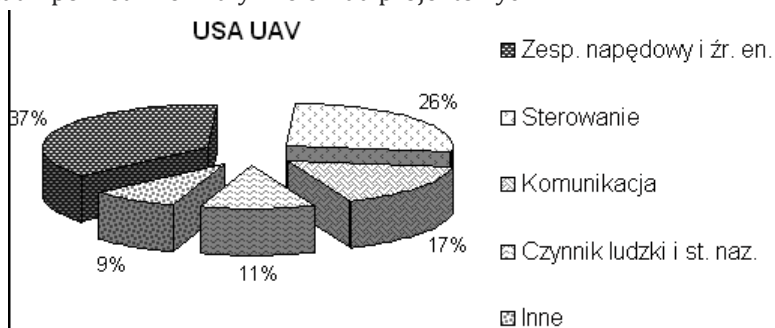
wych przeważały wśród mechanicznych przyczyn niesprawności RQ-2 i stanowiły 79%, natomiast podczas operacji Iraqui Freedom II wynosiły 57%.

RQ-5 Hunter – analiza danych z eksploatacji BSP Hunter wskazuje, że przyczyny związane z grupą 1. stanowią 29% wszystkich niesprawności. Szczególnie w początkowym okresie eksploatacji tego typu BSP (do roku 2002) występowało wiele niesprawności związanych między innymi z silnikiem, który okazał się wyjątkowo mało niezawodny i miał bardzo małą trwałość. Zaadaptowany z motocykla silnik firmy Motto Guzzi już w fazie testów wykazywał powtarzające się usterki, np. zakleszczanie się zaworów, co wywołało żądanie wymiany przez dostawcę wszystkich silników na zmodernizowane. Silniki zostały wymienione, przy czym wersja dla BSP kosztowała 53 000 USD za sztukę w porównaniu do 8 000 USD w wersji motocyklowej, jednak nie przyniosło to pożądanego skutku, chociaż liczba niesprawności zmalała. Szacowano, że jednostka wyposażona w 2 dwusilnikowe Huntery musi wymienić 3-10 silników tygodniowo, co przekraczało możliwości służb logistycznych. Testy zmodernizowanej wersji RQ-5 przeprowadzone w roku 1994 ujawniły ponownie powtarzające się problemy z zaworami oraz ich popychaczami. Problemy z silnikiem były przyczyną rozbicia co najmniej dwu maszyn. Po przeprowadzonej w połowie lat 90. XX w. modernizacji liczba niesprawności uległa zmniejszeniu i w roku 2002 RQ-5 Hunter rozkład przyczyn niesprawności był najbardziej równomierny, w porównaniu z wcześniej rozpatrywanymi BSP. Analizy z roku 2004 wykazały ponowny procentowy wzrost liczby niesprawności spowodowanych przez przyczyny grupy 1.

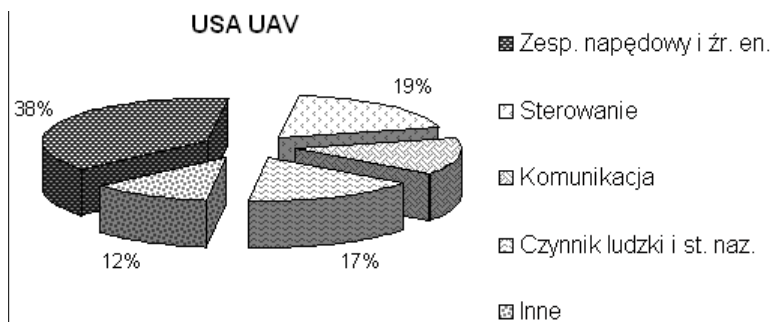
RQ-7 Shadow – system został wprowadzony do eksploatacji w siłach zbrojnych USA w roku 2002 i do ukończenia przywoływanego raportu sumaryczny nalot BSP tego typu wynosił około 2000 godzin. Jednak i w tym przypadku analiza danych z eksploatacji ujawniła, że 50% wszystkich niesprawności związanych jest z przyczynami z grupy 1. W większości przypadków były one spowodowane wyciekaniem paliwa, niezgodną z warunkami technicznymi prędkością obrotową wału oraz zbyt niskim stopniem sprężania. W roku 2004 procentowy udział niesprawności, których źródłem były czynniki grupy 1. zmniejszył się - jednak nadal był wysoki.

Podsumowując wyniki analiz dla wszystkich typów bezzałogowych statków powietrznych o masie powyżej 50 kg eksploatowanych w siłach zbrojnych USA (rys. 1, 2) i porównując je z dostępnymi danymi dotyczącymi BSP używanych przez siły zbrojne Izraela (rys. 3), można zauważyć zbliżony rozkład przyczyn niesprawności. Wynika to przede wszystkim z faktu, używane w siłach zbrojnych USA bezzałogowe statki powietrzne były projektowane w Izraelu. Należy przy tym zauważyć, że 32-38% ogółu niesprawności związanych było z zespołem napędowym i źródłami energii, a ich udział w roku 2004 wzrósł o 1% w stosunku do roku 2002.

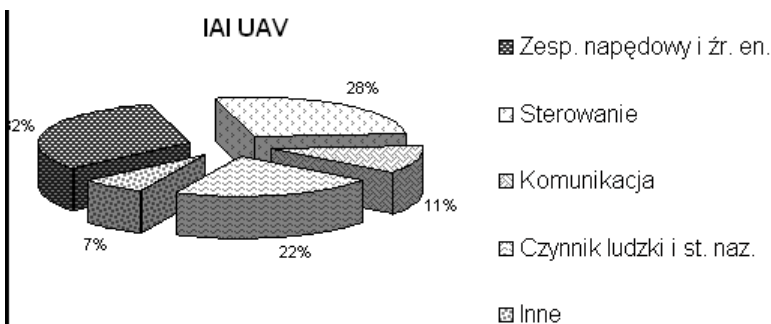
Eksploatacja bezzałogowych statków powietrznych wykazała, że są one znacznie wrażliwsze na wpływ złych warunków atmosferycznych od załogowych statków powietrznych. Przeprowadzone analizy wskazują także, że projektowane w latach 80. XX w. przez firmy izraelskie bezzałogowe statki powietrzne miały wiele wad projektowych.



Rys. 1. Rozkład przyczyn niesprawności BSP sił zbrojnych USA do 2002 r.



Rys. 2. Rozkład przyczyn niesprawności BSP sił zbrojnych USA do 2004 r.



Rys. 3. Rozkład przyczyn niesprawności BSP sił zbrojnych Izraela

Ze względu na niskie koszty w większości lekkich bezałogowych statków powietrznych stosowane są śmigła drewniane lub drewniano – poliuretanowe. Śmigła takie narażone są na oddziaływanie opadów atmosferycznych. Nawet intensywny deszcz może w ciągu kilku minut spowodować erozję krawędzi natarcia łopaty śmigła, pogorszenie jego własności aerodynamicznych, a niekiedy całkowite erozyjne zniszczenie śmigła. W 1991 roku obserwowano erozyjne zużycie drewniano – laminatowych śmigieł BSP Pioneer podczas operacji Desert Storm. Śmigła zużywają się również z powodu niewielkiej odległości końcówek łopat od płaszczyzny lotniska, a ponadto są intensywnie niszczone w przypadku stosowania siatek do zatrzymywania lądującego BSP, np. zużycie śmigła *RQ-1 Pioneer* wynosiło średnio 1 na każdy lot, mimo, że jest on wyposażony w zespół napędowy ze śmigłem pchającym.

Podczas operacji Enduring Freedom, Southern Watch i Iraqi Freedom poważnym problemem była wysoka temperatura, która powodowała nagrzewanie się bazujących w Pakistanie i Kuwejcie BSP Predator do 113°C, co było przyczyną uszkodzeń elementów płatowca i jego wyposażenia elektronicznego. W efekcie niemożliwe było używanie BSP w godzinach południowych w porze letniej. Podczas operacji w Afganistanie, a zwłaszcza w Iraku wystąpiło wiele uszkodzeń silników wykorzystywanych tam BSP *Shadow-200* spowodowanych wysoką temperaturą powietrza oraz jego wysokim zapyleniem. W przypadku silników tłokowych najbardziej narażone na przyspieszone zużycie spowodowane oddziaływaniem pyłu są współpracujące ze sobą elementy, takie jak pierścienie tłokowe, gładzie cylindrowe i tłoki, łożyska wału korbowego i korbowodów, prowadnice zaworowe i zawory oraz uszczelnienia wyjść końcówek wału z kadłuba silnika. Zużywanie się tych części silników powodowane jest przede wszystkim oddziaływaniem twardych ziaren pyłu o średnicach nieco mniejszych od luzów pomiędzy współpracującymi elementami. Ziarna te przedostają się do wnętrza silnika poprzez układ dolotowy, osiadają na ściankach cylindrów i wraz z paliwem i olejem tworzą swoistą

pastę ścierną, która poprzez instalację olejową rozprowadzana jest po wnętrzu silnika. Objawami zużycia silnika na skutek oddziaływania pyłu są wycieki oleju przez uszczelnienia, wzrost zużycia paliwa oraz spadek mocy silnika.

Istotnym czynnikiem jest także oblodzenie, które było powodem utraty wielu BSP. W instalacje przeciwooblodzeniowe wyposażone są wyłącznie duże BSP, np. *RQ-4 Global Hawk*. Co prawda w przypadku lekkich BSP, takich jak np. *Shadow - 200* nie przewiduje się ich użycia w warunkach oblodzenia, jednak są one trudne do przewidzenia. Z tego powodu przewidziano wyposażenie BSP *Shadow - 200* w czujniki oblodzenia sygnalizujące operatorowi naziemnemu konieczność natychmiastowego wyprowadzenia maszyny z niebezpiecznej strefy. Trzeba jednak pamiętać, że oblodzenie układów dolotowych silnika tłokowego może wystąpić w warunkach, w których czujniki zlokalizowane na płatowcu nie będą w stanie go wykryć.

Jednocześnie z oblodzeniem układów dolotowych silników tłokowych może wystąpić oblodzenie ich układów paliwowych. Związane jest ono z obecnością wody w paliwie. Woda ta może zamarzać w elementach instalacji paliwowej, przede wszystkim w filtrach, ale także w zakolach przewodów paliwowych powodując przerwanie dopływu paliwa. Woda zawarta w paliwie dostaje się razem z nim do kanału dolotowego i może tam zamarzać w wyniku procesów opisanych powyżej.

Kolejnym problemem występującym podczas eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych jest hałas emitowany przez silniki – ponad 20 BSP zostało zestrzelonych podczas działań w Kosowie, a jeszcze więcej, w tym BSP *Shadow-200*, zostało zestrzelonych przez siły naziemne przeciwnika w Iraku i w Afganistanie. Odgłos silnika ostrzegający przeciwnika przed nadlatującym BSP jest szczególnie słyszalny w terenach wiejskich, mniej w obszarach miejskich. Fakt, że mniejsze BSP rozwijają stosunkowo niewielkie prędkości lotu ułatwia przeciwnikowi zarówno ukrycie się, jak i ich zwalczanie.

Ciepło emitowane przez silnik tłokowy może być wystarczające do naprowadzania nowoczesnych pocisków rakietowych ziemia - powietrze lub powietrze – powietrze naprowadzanych na podczerwień. Znany jest m. in. fakt, że 23.12.2002 r. podczas lotu patrolowego nad południowym Irakiem uzbrojony bezzałogowy statek powietrzny *MQ-1 Predator* (wyposażony w silnik *Rotax 914*) został zestrzelony pociskiem rakietowym w walce powietrznej przez samolot *MiG-25* irackich sił powietrznych (pocisk rakietowy wystrzelony z pokładu *MQ-1* nie trafił w cel).

3. RODZAJE ZESPOŁÓW NAPĘDOWYCH POŻĄDANE DO STOSOWANIA W BSP O MASIE POWYŻEJ 50 KG I CHARAKTERYSTYKA ICH PODZESPOŁÓW

Przewidywane i pożądane drogi rozwoju zespołów napędowych bezzałogowych statków powietrznych obejmują m. in. konieczność zwiększenia ich sprawności i niezawodności, obniżenia ich masy, zmniejszenia jednostkowego zużycia paliwa, możliwość odbioru większej mocy na potrzeby zasilania wyposażenia pokładowego. W celu obniżenia wykrywalności statku powietrznego należy lepiej zintegrować zespół napędowy z płatowcem, a także zmniejszyć promieniowanie podczerwone emitowane przez silnik. W procesie projektowania zespołu napędowego powinno się uwzględniać specyficzne warunki eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych, w których wykonuje się długotrwałe misje przy stosunkowo niewielkiej liczbie uruchomień i wyłączeń silników. Silniki powinny być zasilane paliwem ciężkim¹, a w dalszej perspektywie przewiduje się stosowanie silników elektrycznych zasilanych ogniwami paliwowymi. Ważne jest obniżenie hałasu wytwarzanego przez zespół napędowy.

¹Olej napędowy, olej napędowy z biokomponentami, paliwo do silników turbinowych, np. jet-A, jet-A1, JP-5, JP-8 itp.

Zastąpienie benzyny lotniczej lub samochodowej, używanej dotychczas w silnikach stosowanych do napędu BSP, przez paliwa ciężkie podyktowane jest tym, że te ostatnie są np. w armii USA powszechnie stosowane do zasilania pojazdów wojskowych, co eliminuje konieczność dostarczania na pole walki benzyny, która może się okazać niezbędna jedynie do zasilania bezzałogowych statków powietrznych. Z tego powodu prowadzone są prace nad możliwością zasilania silników benzynowych paliwami ciężkimi, nawet, jeśli to nie przynosi efektu w postaci obniżenia zużycia paliwa. Przewiduje się, że wkrótce wszystkie pojazdy i statki powietrzne USA będą zasilane paliwami ciężkimi. Benzyna ze względu na jej lotność oraz niską temperaturę zapłonu jest znacznie bardziej niebezpieczna od paliw ciężkich. Ponadto ma ona mniejszą od nich wartość opałową, co ma swoje odzwierciedlenie w większym jednostkowym zużyciu paliwa, a tym samym konieczności zabudowy na BSP większych zbiorników paliwa dla uzyskania takiego samego zasięgu lub długotrwałości lotu. Dodatkowo, w porównaniu do silników benzynowych, silniki na paliwa ciężkie są tańsze w eksploatacji, prostsze w obsłudze, trwalsze i wywołują mniejsze zakłócenia elektromagnetyczne. Przykładowo, resurs międzyremontowy silnika benzynowego AR741 wynosi ok. 250 godzin, natomiast dla lotniczych silników zasilanych paliwem ciężkim jest on obliczany na co najmniej 1000 godzin. W przypadku silników zasilanych paliwami ciężkimi brak świec i układów zapłonowych powoduje redukcję zakłóceń elektromagnetycznych wpływających na działanie wyposażenia awionicznego oraz optoelektronicznego, a także zwiększa niezawodność silników. Jednocześnie uproszczone jest sterowanie silnikami, nie ma potrzeby stosowania gaźników itp. Jednocześnie paliwa ciężkie mają lepsze właściwości smarne, co zwiększa trwałość silników. Podstawową wadą silników zasilanych paliwami ciężkimi jest ich duża masa jednostkowa, np. przewiduje się, że silnik na paliwo ciężkie o takiej samej mocy jak benzynowy silnik BSP *Shadow-200* miałby ok. dwukrotnie większą masę. Porównując jednak zamontowany na takim samym samolocie (załogowym) silnik benzynowy Lycoming O-320 D z silnikiem wysokoprężnym Deltahawk V-4 o takiej samej mocy (120 kW), okazuje się, że co prawda masa samego silnika V-4 jest o ponad 30 kg większa, to jeśli uwzględni się masę silnika oraz masę paliwa potrzebnego do wykonania 5,5 godzinnego lotu różnica ta maleje do ok. 4,5 kg na niekorzyść silnika V-4. Jednocześnie, chociaż koszt zakupu silnika V-4 w porównaniu z silnikiem O-320 D jest o ok. 20% wyższy (4500 USD), to uwzględniając koszty elementów układu zapłonowego, remontu i paliwa w ciągu 2000 godzin eksploatacji obu silników okazuje się, że koszty te są dla silnika V-4 o ponad 25% niższe i pozwalają na oszczędzenie ok. 23 850 USD.

Za najbardziej perspektywiczne źródło zasilania dla bezzałogowych statków powietrznych uważane są ogniwa paliwowe. Duży postęp technologiczny sprawia, że już wkrótce prawdopodobnie masa jednostkowa elektrycznych zespołów napędowych zasilanych takimi ogniwami będzie porównywalna z masą jednostkową silników o spalaniu wewnętrznym, przy czym będą się one charakteryzować niską emisją hałasu i bardzo małymi drganiami.

W celu obniżenia masy jednostkowej silników konieczne jest zastosowanie nowych materiałów. Możliwe jest wykorzystanie np. Boralynu – odtajnionego materiału opracowanego na głowice rakiet nuklearnych, a stosowanego już do produkcji kadłubów silników samochodów Formuły 1. Boralyn jest stosunkowo tanim kompozytem metalicznym z aluminium wzmocnionego węglikiem boru. Jego gęstość jest porównywalna z gęstością aluminium, natomiast pod względem wytrzymałości właściwej przewyższa on tytan, aluminium i stal. Konieczne jest także zastosowanie nowych materiałów w celu obniżenia masy elementów układu korbowego, układu zasilania, doładowania itp.

Od niedawna do eksploatacji wprowadza się cyfrowe układy sterowania silnikami tłokowymi (FADEC). Systemy takie mogą być stosowane w silnikach projektowanych od nowa, ale także mogą zostać zaadaptowane do silników wyprodukowanych nawet kilkadziesiąt lat wcześniej.

Z powodu zwiększenia niezawodności są one szczególnie przydatne do stosowania bezzałogowych statków powietrznych.

Śmigła kompozytowe, metalowe lub drewniane z kompozytowymi lub metalowymi wzmocnieniami krawędzi natarcia mimo, że są droższe od drewnianych, to są o wiele bardziej odporne na wpływ opadów atmosferycznych oraz uderzenia ciałami obcymi. Przykładowo, śmigło drewniano - poliuretanowe przeznaczone do MQ-1 Predator kosztuje ok. 275 USD, lżejsze i bardziej wytrzymałe od niego śmigło kompozytowe ok. 600 USD, a jeszcze bardziej wytrzymałe, chociaż cięższe śmigło metalowe ok. 750 USD. Koszty te są jednak znikome w porównaniu z kosztem całego BSP wynoszącym ok. 2 400 000 USD bez uwzględnienia wyposażenia rozpoznawczego. Z punktu widzenia podniesienia sprawności zespołu napędowego ważne jest opracowanie śmigieł o łopatach specjalnie dostosowanych do pracy w zakresie niewielkich liczb Reynoldsa.

PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonej analizy wynika, że perspektywiczny zespół napędowy do bezzałogowego statku powietrznego powinien być zbudowany w oparciu o silnik spalinowy z tłokiem wirującym lub w układzie rzędownym płaskim (bokser). Powinien być sterowany przez układ cyfrowy umożliwiający przesyłanie na stanowisko operatora naziemnego w czasie rzeczywistym informacji o parametrach jego pracy. Silnik powinien być zasilany paliwem ciężkim. Układ dolotowy silnika powinien mieć możliwość wyposażenia w urządzenia odpylające. Silnik powinien mieć możliwie niski poziom emisji promieniowania podczerwonego oraz hałasu.

Prawdopodobne jest pojawienie się w najbliższych latach bezzałogowych statków powietrznych o masie powyżej 50 kg napędzanych silnikami elektrycznymi zasilanymi ogniwami paliwowymi.

Należy przy tym pamiętać, że uzyskanie odpowiednich parametrów zespołu napędowego do bezzałogowego statku powietrznego wiąże się wysokimi kosztami, np. koszt samego silnika AR741 o mocy 28,3 kW stosowanego w BSP *Shadow-200* to około 54 000 – 85 000 zł w zależności od wersji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Biass E. H., Steroids for drones, Armada International, Issue 1 February/March 2005;
- [2] Bolkcom C., Bone E., Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress, Report for Congress, Congressional Research Service, Library of Congress, 2003;
- [3] Chachurski R., Zagrożenia oblodzeniem silników tłokowych, Prace Instytutu Lotnictwa, nr 199, Instytut Lotnictwa, Warszawa, 2009;
- [4] DeltaHawk Diesel Engines, strona internetowa firmy DeltaHawk, www.deltahawkengines.com, 2006;
- [5] Dzierżanowski P., Kordziński W., Otyś J., Szczeciński S., Wiatrek R., Napędy lotnicze. Turbinowe silniki śmigłowe i śmigłowcowe, WKiŁ, Warszawa, 1985;
- [6] Field Report on Raven, Shadow UAVs From the 101st, Defense Industry Daily, www.defenseindustrydaily.com, 15.11.2005;
- [7] Haulman D. L., U.S. Unmanned Aerial Vehicles in Combat, 1991 – 2003, Air Force Historical Research Agency, 2003;
- [8] Johnson R. O., O'Neil M., Unmanned Aerial Vehicles in Perspective: Effects, Capabilities, and Technologies, Volume 0: Executive Summary and Annotated Briefing, United States Air Forces, Scientific Advisory Board, 2003;

- [9] Pilotless Warriors Soar To Success, CBS News, 25.04.2003, strona internetowa www.cbsnews.com, 2006;
- [10] PowerLink™ FADEC, Aerosance, 2004;
- [11] Unmanned Aerial Vehicles. No More Hunter Systems Should Be Bought Until Problems Are Fixed. Report to the Secretary of Defense, GAO/NSIAD-95-52, United States General Office Accounting, USA, 1995;
- [12] Unmanned Aerial Vehicles Reliability Study, Office of Secretary of Defense, Department of Defense USA, 2003;
- [13] Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005 - 2030, Office of Secretary of Defense, Department of Defense USA, 2005;
- [14] US Army RQ-7A Shadow 200/Shadow 600, Unmanned Aerial Vehicles, strona internetowa www.vectorsite.net, 2006;
- [15] Winns A. L., Post M., Statement of Radm Anthony L. Winns Deputy Chief of Naval Operation Deputy Director, Air Warfare and BGen Martin Post Assistant Deputy Commandant (Aviation) before the Tactical Air and Land Forces Subcommittee of the House Armed Services Committee on FY2005 Navy UAV and J-UCAS Programs, 2005.

RYSZARD CHACHURSKI

THE EXPERIENCE RESULTING FROM THE EXPLOITATION OF POWERPLANTS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES WEIGHING MORE THAN 50 KG

Abstract

The increasing utilization of the unmanned aerial vehicles (UAV) weighing more than 50 kg to perform both military and civilian tasks makes it necessary to solve many new problems, not only structural, but also operational. The specificity of the exploitation UAV is given, among others, by the lack of "feeling" by the operator of airplane or helicopter piloted by him. It is also caused by the response to various types of interaction, including disruptions of powerplant which may appear during flight. Therefore, it is important to have the widest possible knowledge of specific operating conditions such as flying objects and problems appearing during operation of them. The article summarized the experience resulting from the exploitation of powerplants of different types of unmanned aerial vehicles weighing more than 50 kg.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, powerplant, aircraft engine, operation*