

POWERPLANTS OF TACTICAL UNMANNED AERIAL VEHICLES

Ryszard Chachurski

Military University of Technology, Faculty of Mechatronics
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Poland
tel.: +48 22 6837664, fax: +48 22 6839318
e-mail: Ryszard.Chachurski@wat.edu.pl

Abstract

The most frequently powerplants in unmanned aerial vehicles (UAVs) over 50 kg mass are powerplants with piston engines. The most popular manufacturers of such engines are UAV Engines Ltd. or Zanzottera, but also engines Rotax which are adapted from general aviation and aviation versions of car engines Subaru. Failures of powerplants are 32-38 % of all sources of failures of UAVs which are used in USA and Israel armies. Operational conditions i.e. high temperatures, dust in air, icing, are sources of low reliability of powerplants of UAVs. Noise emitted by powerplants of unmanned aerial vehicles simplifies detection of UAV. Temperatures of fumes are enough to intercept infrared rockets himself. Engines should be designed for minimize vibration level which are transfer from them to optoelectronics equipment which are on an airframe. Production of powerplants for unmanned aerial vehicles in Poland may not be worthwhile, whereas possibly are integration of powerplants with airframes which may be manufactured in Poland.

Keywords: aeronautics, unmanned aerial vehicles, powerplants, operating

ZESPOŁY NAPĘDOWE BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH SZCZEBŁA TAKTYCZNEGO

Streszczenie

Do napędu bezzałogowych statków powietrznych (BSP) o masie powyżej 50 kg stosuje się przede wszystkim śmigłowe zespoły napędowe z silnikami tłokowymi. Najpowszechniej stosowane są silniki specjalnie do nich produkowane przez firmy UAV Engines i Zanzottera, ale również silniki adaptowane z lotnictwa załogowego m.in. firmy Rotax czy lotnicze wersje samochodowych silników Subaru. Przyczyny związane z zespołem napędowym i zasilanymi przez nie źródłami energii stanowią ok. 32-38 % przyczyn wszystkich niesprawności BSP użytkowanych w lotnictwie sił zbrojnych USA i Izraela. Powodami stosunkowo niskiej niezawodności zespołów napędowych bezzałogowych statków powietrznych są m.in. warunki ich eksploatacji, np. wysokie temperatury otoczenia, zapylenie powietrza, warunki sprzyjające oblodzeniu. Hałas emitowany przez zespoły napędowe ułatwia wykrycie BSP, a temperatura spalin jest wystarczająco wysoka do naprowadzenia się głowic rakiet na podcierwień. Silniki powinny być tak zaprojektowane, aby do minimum ograniczyć drgania przenoszące się na wyposażenie optoelektroniczne zabudowane na płatowcu. Produkcja silników do BSP w Polsce może nie być opłacalna, natomiast możliwa jest integracja zakupionych za granicą silników z płatowcami, które mogłyby być produkowane w kraju.

Słowa kluczowe: lotnictwo, bezzałogowe statki powietrzne, zespoły napędowe, eksploatacja

1. Wstęp

Zainteresowanie zespołami napędowymi bezzałogowych statków powietrznych związane jest z planowanym wprowadzeniem na wyposażenie Polskich Sił Zbrojnych obiektów latających tego rodzaju. Na podstawie informacji prasowych dotyczących rozmów prowadzonych przez ministra Obrony Narodowej podczas jego wizyty w USA, a także według informacji Biura Współpracy Obronnej Ambasady USA w Warszawie z dn. 30.10.2006 r. można przewidywać, że pod koniec 2007 roku do Polski zostaną dostarczone 2 zestawy systemów rozpoznawczych RQ-7 Shadow-200, w skład których wchodzi m. in. 12 sztuk BSP Shadow-200 [1, 9, 10]. Jednocześnie także

w Polsce rozważane jest podjęcie prac nad skonstruowaniem tej klasy bezałogowego statku powietrznego.

Biorąc pod uwagę, że dotychczas w Polsce nie były użytkowane tego rodzaju statki powietrzne, jak również nie ma żadnych doświadczeń związanych z projektowaniem, produkcją czy eksploatacją zespołów napędowych do nich, celowe jest zapoznanie się z doświadczeniami innych państw, przeanalizowanie ich, wyciągnięcie wniosków i przygotowanie się do prowadzenia badań mających na celu doskonalenie zespołów napędowych, ich integrację z płatowcem itp.

2. Przegląd zespołów napędowych bezałogowych statków powietrznych

Do napędu bezałogowych 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 specjalnie do napędu bezałogowych statków powietrznych przez brytyjską firmę UAV Engines Ltd. Silniki przeznaczone jedynie do BSP produkuje także firma Zanzottera, która wcześniej wytwarzała silniki do załogowych konstrukcji ultralekkich. W BSP o masie powyżej 500 kg chętnie stosowane są silniki firmy Rotax, a zwłaszcza model Rotax 914 [15, 16], podejmowane są także próby wykorzystania do napędu BSP lotniczych wersji silników samochodowych Subaru [2], które znajdują zastosowanie do napędu wielu załogowych amatorskich statków powietrznych. Podstawowe dane silników stosowanych do napędu bezałogowych statków powietrznych o masie powyżej 50 kg zestawiono w Tab. 1.

Firma **UAV Engines Limited** (UEL) od 30 lat projektuje i produkuje silniki z tłokiem wirującym (silniki Wankla) o mocach do 15 kW do 90 kW stosowane w 30 typach bezałogowych statków powietrznych [14]. Silniki te charakteryzują się małą masą jednostkową oraz niewielkimi gabarytami. Silniki UEL projektowane są przy założeniu, że będą zasilane benzyną, jednak mogą także pracować z wykorzystaniem innych paliw przy niewielkim spadku sprawności, np. podczas zasilania paliwem JP8 do silników odrzutowych ich sprawność spada o 5% [2]. Firma UEL produkuje następujące modele silników [14]:

AR731 – jest chłodzonym powietrzem silnikiem o mocy 28,3 kW z pojedynczym tłokiem wirującym z zapłonem iskrowym. Ze względu na jego niewielki resurs międzyremontowy wynoszący, w zależności od warunków pracy, 10 – 50 godzin, silnik ten przeznaczony jest do napędu celów latających oraz innych BSP o przewidywanej krótkiej żywotności. Silnik może być stosowany w zespołach napędowych ze śmigłem ciągnącym lub pchającym.

AR741 – jest wersją rozwojową silnika AR731 przeznaczoną do napędu BSP. Silnik pomyślnie przeszedł 150. godzinny test wg przepisów FAR-33.

AR801 – jest chłodzonym cieczą silnikiem o mocy 37,3 kW z pojedynczym tłokiem wirującym z zapłonem iskrowym. Opracowany został specjalnie do napędu BSP wymagających zespołów napędowych o mocy 26 kW – 48 kW ze śmigłem napędzanym bezpośrednio lub za pośrednictwem przekładni zintegrowanej z płatowcem. Silnik przystosowany jest do napędu alternatorów o mocy 0,9 – 2,0 kW.

AR801R – stanowi wersję silnika AR801 wyposażoną w integralną przekładnię redukcyjną. Przeznaczony jest do napędu BSP wymagających zespołów napędowych o mocy 26 kW – 41 kW.

AR682 – jest chłodzonym cieczą silnikiem o mocy 55,9 kW z zapłonem iskrowym, z podwójnym tłokiem wirującym. Przeznaczony jest do BSP, które mają ograniczoną średnicę śmigła i przez to nie mogą być wyposażone w przekładnię redukcyjną. Silnik był projektowany zgodnie z przepisami JAR-E oraz FAR-33 dotyczącymi silników do napędu załogowych statków powietrznych. Silnik pomyślnie przeszedł 150. godzinny test wg przepisów FAR-33.

AR682R – został opracowany na bazie silnika AR682 z przeznaczeniem do napędu BSP wymagających zespołów napędowych o mocach w zakresie 67,1 – 89,5 kW. Jest wyposażony w integralną przekładnię redukcyjną [14].

Firma **Zanzottera Technologies S. r. l.** produkująca od 20 lat podzespoły do silników, a od 10 lat silniki do ultralekkich załogowych statków powietrznych, ze względu na rosnące zainteresowanie jej produkcją wśród producentów BSP kilka lat temu zmieniła swój profil i rozpoczęła wytwarzanie silników przeznaczonych wyłącznie do bezzałogowych statków powietrznych. Projektuje i produkuje ona dwu- i czterocylindrowe dwusuwowe silniki rzędowe w układzie płaskim (bokser) [2, 23]. We wszystkich typach silników stosowane są takie same rozwiązania konstrukcyjne i technologie. W silnikach stosowany jest sterowany elektronicznie wtrysk paliwa do gardzieli (TBI - Throttle Body Injection). Aktualnie dostępne są dwa modele silników Zanzottera – 484T oraz 498ai. W ofercie [23] znajdują się także modele 1000 boxer i B2000i oraz B2000ir, jednakże nie jest ona aktualna. Model B2000 nie jest już produkowany, a model 1000 jest wycofywany i będzie zastąpiony wkrótce nowym silnikiem 998.

Zanzottera 498ai jest chłodzonym powietrzem dwusuwowym silnikiem rzędowym w układzie płaskim o mocy 29,0 kW z zapłonem iskrowym. Resurs techniczny silnika wynosi 250 godzin. Silnik może być stosowany w zespołach napędowych ze śmigłem ciągnącym lub pchającym [23]. Nie są dostępne dane dotyczące silnika 484T.

Prace nad silnikami tłokowymi przeznaczonymi do napędu bezzałogowych statków powietrznych prowadzone są także przez inne firmy [5], jednak ich produkty nie znalazły szerszego zastosowania.

Tab. 1. Podstawowe dane silników stosowanych do napędu BSP o masie powyżej 50 kg
Tab. 1. Main data of engines used in powerplants of UAVs over 50 kg mass

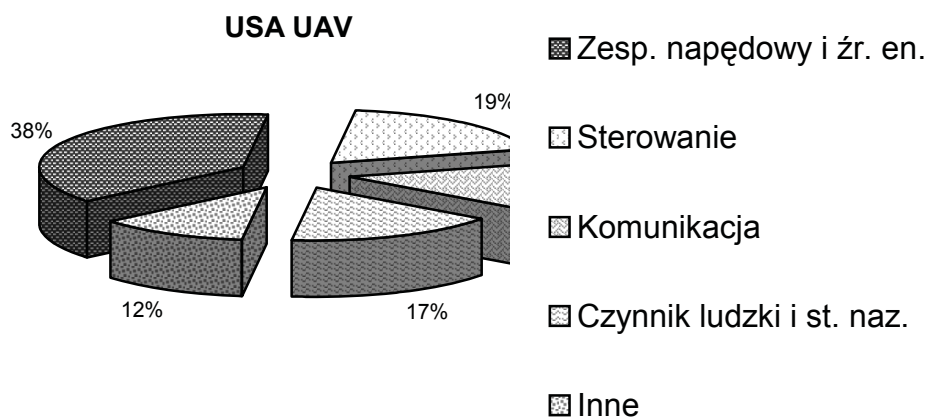
Wytwórnia	UAV Engines Ltd.						Rotax	Subaru	Zanzottera
Model silnika	AR731	AR741	AR801	AR801 R	AR862	AR862 R	914UL	EA81	498ai
V [cm ³]	208	208	294	294	588	588	1211,2	1781	498
P [kW]	28,3	28,3	29,8-44,7	29,8-38,0	55,9	67,1-89,5	73,5-84,5	74,6	29,0
m [kg]	9,9	10,7	19,5-24,4	25,4-29,5	51	56,5	73,5	74,6	18,6
Wymiary									
- L [m]	0,600	0,600	0,305	0,563	0,608	0,680			0,365
- B [m]	0,328	0,328	0,325	0,363					0,434
- H [m]	0,262	0,262	0,249	0,340	0,440	0,440			0,242
b _j [kg/kW/h]	0,317-0,347	0,317-0,347	0,305-0,341	0,317-	0,317-0,335	0,335-			<0,445
Cena [zł]	18230-21464	53806-85266	114668-147010	114668-147010			88330-94200		53774

Firma **Rotax** projektuje i produkuje dwu- i czterocylindrowe silniki rzędowe o zapłonie iskrowym przeznaczone do napędu załogowych statków powietrznych [6]. Dwucylindrowe silniki tej firmy są silnikami dwusuwowymi, natomiast silniki czterocylindrowe pracują w cyklu czterosuwowym. Silniki czterocylindrowe wyposażone są w przekładnię redukcyjną zintegrowaną z kadłubem silnika. We wszystkich typach silników stosowane są poziome gaźniki typu BING z centralną komorą pływakową. Stosowany w BSP silnik **Rotax 914 UL** jest czterosuwowym, czterocylindrowym, turbodoładowanym silnikiem rzędowym w układzie płaskim o zapłonie iskrowym. Osiąga moc 84,5 kW. Silnik wyposażony jest w mieszany system chłodzenia, w którym cylindry chłodzone są powietrzem, a ich głowice cieczą dostarczaną przez pompę napędzaną przez przekładnię zębatą od wału silnika. Standardowo wyposażony jest w prądnicę prądu stałego 12 V wytwarzającą mocy 250 W przy 5500 obr/min. Z kadłubem silnika zintegrowana jest przekładnia redukcyjna o przełożeniu 2,43.

Lotnicze silniki **Subaru** stanowią konwersję samochodowych silników tego producenta. Budowane są jako 4. cylindrowe dwurzędowe silniki przeciwsobne 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. Ponadto silniki te i części do nich są znacznie tańsze od typowych silników lotniczych. Silniki te mają także dłuższe okresy międzynaoprawcze [2].

3. Analiza właściwości eksploatacyjnych zespołów napędowych bezzałogowych statków powietrznych

Doświadczenia zebrane podczas pokojowej eksploatacji i bojowego użycia bezzałogowych statków powietrznych pokazują, że niezawodność ich zespołów napędowych stanowi bardzo poważny problem. Prowadzone przez Departament Obrony USA badania dotyczące niezawodności bezzałogowych statków powietrznych wykorzystywanych przez siły zbrojne tego państwa wykazały, że najczęściej niesprawności związanych jest z zespołami napędowymi i źródłami energii - silnik, śmigło, układ przekazania napędu, układ zasilania, generator i inne związane z pracą silnika podsystemy BSP (Rys. 1).



Rys. 1. Rozkład przyczyn niesprawności BSP sił zbrojnych USA do 2004 r. (na podstawie [20])
 Fig. 1. Distribution of sources of USA military UAVs failures to 2004 (based of [20])

Dla poszczególnych bezzałogowych statków powietrznych wyniki badań wykazały następujący rozkład przyczyn niesprawności związanych z zespołami napędowymi:

RQ-1 Predator – dla wersji RQ-1A 23% wszystkich niesprawności było związanych z zespołem napędowym. Dla wersji RQ-1B było to 53% niesprawności, spośród których z kolei 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 liczby niesprawności spowodowanych przez czynniki zaliczone do innych grup. Podstawowa różnica pomiędzy RQ-1A a RQ-1B polega na wymianie silnika z Rotax 912 w wersji RQ-1A na silnik Rotax 914 w wersji RQ-1B mającej na celu zwiększenie prędkości BSP. Ponadto RQ-1B wyposażono w śmigło o zmiennym skoku. Dla zwiększenia niezawodności zespołu napędowego od wersji MQ-1 Block 30 zastosowano silnik wyposażony we wtryskowy układ zasilania oraz dwa alternatory [19, 20].

RQ-2 Pioneer – z zespołem napędowym związanych było odpowiednio dla wersji RQ-2A i RQ-2B 29% i 51% niesprawności. W trakcie eksploatacji BSP Pioneer wprowadzano wiele modyfikacji mających na celu zwiększenie niezawodności zespołu napędowego, m. in. poprawiano kształt osłon silnika w celu polepszenia jego chłodzenia i przeniesiono serwomechanizm przepustnicy silnika w inne miejsce, co miało zapobiegać wyłączaniu się silnika

w locie. 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 związanych z zespołem napędowym. Podczas operacji Iraqi Freedom I problemy z zespołem napędowych przeważały wśród mechanicznych przyczyn niesprawności RQ-2 i stanowiły 79%, natomiast podczas operacji Iraqi Freedom II wynosiły 57% [19, 20, 22].

RQ-5 Hunter – przyczyny związane z zespołem napędowym stanowią 29% wszystkich niesprawności. Szczególnie w początkowym okresie eksploatacji tego typu BSP występowało wiele niesprawności związanych między innymi z silnikiem, który okazał się wyjątkowo zawodny 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 musiała wymieniać 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 [17]. Po przeprowadzonej w połowie lat 90. XX w. modernizacji RQ-5 Hunter liczba niesprawności uległa zmniejszeniu i w roku 2002 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 związane z zespołem napędowym [19, 20].

RQ-7 Shadow – system został wprowadzony do eksploatacji w siłach zbrojnych USA w roku 2002 i w roku 2004 sumaryczny nalot BSP wynosił jedynie około 2000 godzin (obecnie ponad 40000 godzin). W tym czasie 50% wszystkich niesprawności związanych było z zespołem napędowym. 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 był zespół napędowy zmniejszył się do 38% [18, 20].

Podsumowując wyniki analiz dla wszystkich typów BSP eksploatowanych w siłach zbrojnych USA i porównując je z dostępnymi danymi dotyczącymi BSP używanych przez siły zbrojne Izraela, można 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 bezałogowych statków powietrznych wykazała, że są one znacznie bardziej wrażliwe na wpływ złych warunków atmosferycznych od załogowych statków powietrznych.

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, np. w 1991 roku obserwowano erozyjne zużywanie drewniano – laminatowych śmigieł BSP Pioneer podczas operacji Desert Storm [8]. Śmigła zużywają się również z powodu niewielkiej odległości końcówek łopat od płaszczyzny lotniska, a ponadto są intensywnie niszczone w przypadku stosowania siatek do zatrzymywania ładującego BSP, np. zużycie śmigła RQ-1 Pioneer wynosiło średnio 1 na każdy lot, mimo, że jest on wyposażony w zespół napędowy ze śmigłem pchającym [19].

Podczas operacji Enduring Freedom, Southern Watch i Iraqi Freedom poważnym problemem była wysoka temperatura, która powodowała nagrzewanie się bazujących w Pakistanie i Kuwejcie RQ-1 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 [8, 21].

Kolejnym istotnym czynnikiem, który był powodem utraty wielu BSP jest oblodzenie. 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 warunki te są trudne do przewidzenia. Z tego powodu przewidziano wyposażenia 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 [8, 19]. Oblodzenie układów dolotowych lotniczych silników tłokowych może bowiem wystąpić w temperaturach otoczenia przewyższających $+30^{\circ}\text{C}$. W niższych temperaturach może ponadto wystąpić oblodzenie elementów układów paliwowych silników [4].

Następnym 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. Ostrzegający przeciwnika przez nadlatującym BSP odgłos jego silnika jest szczególnie słyszalny w terenach wiejskich, mniej w obszarach miejskich [7]. 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, 12].

4. Kierunki prac i perspektywy rozwoju zespołów napędowych BSP

Z przeprowadzonej analizy wynika, że perspektywiczny zespół napędowy do bezzałogowego statku powietrznego powinien być zbudowany w układzie z tłokiem wirującym lub w układzie rzędowym płaskim (bokser). Będzie on sterowany przez układ cyfrowy umożliwiający przesyłanie w czasie rzeczywistym informacji o parametrach jego pracy na stanowisko operatora naziemnego. Do zasilania silnika stosować się będzie paliwo ciężkie¹. Pożądane jest, aby układ dolotowy silnika miał możliwość wyposażenia w urządzenia odpylające. Wskazane jest, aby silnik miał możliwie niski poziom emisji promieniowania podczerwonego oraz hałasu.

Przewidywane i pożądane drogi rozwoju zespołów napędowych bezzałogowych statków powietrznych obejmują m. in. konieczność zwiększenia ich sprawności i niezawodności, obniżenia masy, zmniejszenia jednostkowego zużycia paliwa, możliwość odbioru większej mocy na potrzeby zasilania wyposażenia pokładowego. W celu obniżenia wykrywalności statku powietrznego należy odpowiednio zintegrować zespół napędowy z płatowcem w celu zmniejszenia promieniowania podczerwonego emitowanego przez silnik. W procesie projektowania zespołu napędowego powinno się uwzględniać specyficzne warunki eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych, które wykonują długotrwałe misje przy stosunkowo niewielkiej liczbie uruchomień i wyłączeń silników. Ważne jest także obniżenie hałasu wytwarzanego przez zespół napędowy [11, 19, 20].

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

Zastąpienie używanej dotychczas w silnikach stosowanych do napędu BSP benzyny lotniczej lub samochodowej 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. Za najbardziej perspektywiczne źródło zasilania dla BSP uważane są ogniwa paliwowe [11, 19, 20]. Duży postęp technologiczny sprawia, że już wkrótce masa jednostkowa 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, a same paliwa będą tanie i szeroko dostępne [19].

W celu obniżenia masy jednostkowej silników konieczne jest zastosowanie do ich budowy nowych materiałów konstrukcyjnych.

Od niedawna do eksploatacji wprowadza się cyfrowe układy sterowania silnikami tłokowymi (FADEC). Z powodu zwiększenia niezawodności są one szczególnie przydatne do stosowania w bezzałogowych statkach powietrznych [13].

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. Z punktu widzenia podniesienia sprawności zespołu napędowego ważne jest opracowanie śmigieł o łopatach specjalnie dostosowanych do pracy w zakresie niewielkich liczb Reynoldsa [11].

Aktualnie w Polsce lotnicze silniki tłokowe produkuje jedynie Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego „PZL – Kalisz” S.A. Są to silniki AI-14R o mocy 191 kW oraz silniki ASz-62 o mocy 736 kW budowane w układzie gwiazdowym. Zakłady te koncentrują obecnie prace rozwojowe wokół silnika ASz-62, na który istnieje zapotrzebowanie na rynkach zagranicznych. W WSK „PZL – Rzeszów” produkowane były także lotnicze silniki tłokowe (PZL – Franklin), jednak po przejęciu firmy przez UTC ich produkcję przerwano. Linię produkcyjną tych silników przejęła prywatna firma Franklin Aircraft Engines Sp. z o.o. z Grudziądza, ale nie uruchomiła dotychczas produkcji. Co prawda wytwarzanie silników rodziny Franklin być może zostanie wznowione, należy jednak wziąć pod uwagę, że parametry tych silników są niższe od nowocześniejszych silników konkurencyjnych firm zagranicznych. Inne niewielkie wytwórnie produkują natomiast zespoły napędowe z jednocylindrowymi silnikami o małych mocach przeznaczone do napędu paralotni. Warto też wiedzieć, że Instytucie Lotnictwa w Warszawie w latach 70. ubiegłego wieku prowadzone były prace nad miniaturowymi lotniczymi silnikami z tłokiem wirującym, w efekcie których zaprojektowano kilka udanych silników przeznaczonych do napędu modeli latających. W Polsce produkowane są także śmigła do samolotów lekkich, ultralekkich i paralotni oraz motolotni.

Produkcję lotniczego silnika tłokowego do napędu bezzałogowych statków powietrznych można by w Polsce uruchomić w WSK "PZL-Kalisz" lub prowadzić w oparciu o zakłady produkujące silniki samochodowe, np. Andoria w Andrychowie, jednak silnik taki musiałby być ze względów ekonomicznych, przeznaczony przede wszystkim na rynek cywilny. Produkcję silników o małych mocach można także uruchomić w oparciu o firmy produkujące napędy do paralotni. Wobec silnej konkurencji szanse na tym rynku może mieć jedynie silnik o bardzo dobrych parametrach i względnie niskiej cenie, jednak jego opracowanie i wdrożenie wymaga długiego czasu.

Literatura

- [1] *Amerykańska pomoc dla Polski w zakresie bezpieczeństwa na niezmiennie wysokim poziomie*, Biuro Współpracy Obronnej, Ambasada USA w Warszawie, 30.10.2006, <http://poland.usembassy.gov/poland-pl/index.html>, 2006.
- [2] Biass, E. H., *Steroids for drones*, Armada International, Issue 1 February/March 2005.

- [3] Bolkcom, C., Bone, E., *Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress*, Report for Congress, Congressional Research Service, Library of Congress, 2003.
- [4] Chachurski, R., Szcześniak, J., Zduńczyk, M., *Lodowate zaskoczenie*, Przegląd Lotniczy Aviation Revue, nr 5/2006, Warszawa, 2006.
- [5] *DeltaHawk Diesel Engines*, strona internetowa firmy DeltaHawk, www.deltahawkengines.com, 2006.
- [6] *FASTON*, strona internetowa firmy Faston - autoryzowanego przedstawiciela firmy Rotax w Polsce, www.faston.home.pl, 2006.
- [7] *Field Report on Raven, Shadow UAVs From the 101st*, Defense Industry Daily, www.defenseindustrydaily.com, 15.11.2005.
- [8] Haulman, D. L., *U.S. Unmanned Aerial Vehicles in Combat, 1991 – 2003*, Air Force Historical Research Agency, 2003.
- [9] Hołdanowicz, G., *BSL – polskie plany*, Raport 09/2004, wyd. Altair, Warszawa, 2004.
- [10] Hołdanowicz, G., *Shadow-200 w roku 2007?*, Raport 01/2006, wyd. Altair, Warszawa, 2006.
- [11] 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.
- [12] *Pilotless Warriors Soar To Success*, CBS News, 25.04.2003, strona internetowa www.cbsnews.com, 2006.
- [13] *PowerLink™ FADEC*, Aerosance, 2004.
- [14] *UAV Engines Limited*, strona internetowa www.uavenginesltd.co.uk, 2006.
- [15] *Unmanned Aerial Vehicles and drones outlook/specifications*, Aviation Week & Space Technology, 17.01.2005.
- [16] *Unmanned Aerial Vehicle Database*, strona internetowa www.milnet.com, 2006.
- [17] *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.
- [18] *Unmanned Aerial Vehicles. Questionable Basis for Revision to Shadow 200 Acquisition Strategy. Report to the Chairman, Subcommittee on Military Research, Committee on Armed Services, House of Representatives*, GAO/NSIAD-00-204, United States General Office Accounting, USA, 2000.
- [19] *Unmanned Aerial Vehicles Reliability Study*, Office of Secretary of Defense, Department of Defense USA, 2003.
- [20] *Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005 - 2030*, Office of Secretary of Defense, Department of Defense USA, 2005.
- [21] *US Army RQ-7A Shadow 200/Shadow 600*, Unmanned Aerial Vehicles, strona internetowa www.vectorsite.net, 2006.
- [22] 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.
- [23] *Zanzottera Technologies S.r.l.*, strona internetowa www.zanzotteraengines.com, 2006.