WANKEL ENGINES FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

SILNIKI WANKLA DLA BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH

Władysław Melnarowicz

Air Force Institute of Technology. Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

Abstract: *The article presents the possibility of using a rotary piston engine, called the Wankel engine, to drive for unmanned aerial vehicles. It describes the principle of engine operation, its advantages and disadvantages. The article specifies the categories of drones to which these engines are dedicated. The author presents the modular Wankel engine of 5-120 hp for unmanned aerial vehicles, manufactured by Advanced Innovative Engeeniering.*

Keywords: *Wankel engine, unmanned aircraft, aircraft engine*

Streszczenie: *W artykule przedstawiono możliwości zastosowania silnika z wirującym tłokiem, zwanego silnikiem Wankla, do napędu bezzałogowych statków powietrznych. Opisano zasadę pracy silnika oraz jego wady i zalety. Określono kategorie dronów do których są dedykowane tego typu napędy. Zaprezentowano seryjnie produkowane modułowe silniki Wankla firmy Advanced Innovative Engeeniering o mocach 5-120 KM do napędu bezzałogowych statków powietrznych.*

Słowa kluczowe: *silnik Wankla, bezzałogowe statki powietrzne, silnik lotniczy.*

1. Silnik Wankla

Silnik Wankla to *silnik spalinowy*, w którym tłok obraca się wewnątrz cylindra, nazywany silnikiem z tłokiem obrotowym a także potocznie silnikiem Wankla, od nazwiska jego konstruktora. Silnik skonstruował i opatentował w 1936 r. niemiecki inżynier *Felix Wankel*.

Zasada działania silnika Wankla przedstawiona jest na rysunku 1. W silniku tym tłok w kształcie zbliżonym do trójkąta (*trójkąt Reuleaux* o lekko wypukłych bokach) (1), mimośrodowo umieszczony w *epitrochoidalnym* korpusie (2), obracając się, tworzy komory: ssawną, sprężania, rozprężania (pracy) i wydechową. W zależności od kąta obrotu tłoka komory te zmieniają kształt i objętość. W czasie jednego obrotu wału silnik wykonuje trzy cykle pracy - ssanie, sprężanie, wydech - silnik dwusuwowy wykonuje w czasie jednego obrotu wału jeden cykl pracy, czterosuwowy zaś na jeden cykl pracy potrzebuje dwóch obrotów wału. W momencie gdy mieszanka paliwowo-powietrzna jest maksymalnie sprężona, następuje zapłon. Mieszanka paliwowo-powietrzna dostarczana jest przez kanał doprowadzający (3), a spaliny odprowadzane przez kanał odprowadzający (4). Ruch tłoka jest przenoszony na *mimośrodowe* odcinki wału centralnego. Ruch rotora jest kształtowany przez *koła zębate* nieruchomo przymocowane do płaskich ścian komory i współosiowo z wałem centralnym.

Rys.1 Zasada pracy silnika Wankla

Fot. 1 Ogólny widok wirującego tłoka (fot. Wikipedia)

2. Zastosowanie

Silnik Wankla po raz pierwszy zastosowano seryjnie w samochodach *NSU Spider* – prezentacja miała miejsce w roku 1963 na salonie samochodowym we Frankfurcie. Cztery lata później firma Mazda zaprezentowała sportowy samochód *Cosmo Sport* z pierwszym silnikiem z dwiema komorami wyprodukowanym na licencji NSU - Wankla. W roku 1968 do produkcji wszedł model NSU Ro-80, także z silnikiem dwukomorowym.

Głównymi zaletami silnika Wankla są stosunkowo małe rozmiary i masa, prosta konstrukcja (mniejsza liczba elementów niż w klasycznych silnikach), niewielkie wibracje, niska hałaśliwość podczas pracy oraz osiąganie wysokich prędkości obrotowych i wysoka sprawność mechaniczna. Mimo to jest on stosowany rzadko, zaś wiele prób rozpowszechnienia tego typu silnika zakończyło się niepowodzeniem z powodu problemów konstrukcyjnych i technologicznych. Do produkcji rotorów oraz bloku silnika używano stopów na tyle słabych, że silniki zużywały się dosyć szybko. Główne wady silnika to trudne do uszczelnienia obszary pracy związane z przedmuchami. Z tego względu mniejsze jest ciśnienie sprężania i mniejsza sprawność termodynamiczna.

Są też większe straty ciepła na skutek bardzo niekorzystnej (szerokiej i płaskiej) komory spalania - co zwiększa straty ciepła i generuje naprężenia termiczne związane z "gorącą" i "zimną" strefą pracy silnika. Nie bez znaczenia jest też spore jednostkowe zużycie paliwa i duża emisja gazów spalinowych na jednostkę mocy. Ta wada, wraz z niedostateczną trwałością uszczelnień tłoka, była powodem małego zainteresowania tym silnikiem w praktyce motoryzacyjnej. Były nawet sytuacje, gdy bloki silnikowe na skutek naprężeń termicznych nie wytrzymywały i pękały. W praktyce konstrukcja silnika była bardzo trudna do uszczelnienia, a silnik zużywał dużo paliwa.

Wraz z rozwojem techniki firma *Mazda* pokonała te problemy i zastosowała swój silnik w samochodzie *Mazda RX-7*. Obecnie nie produkuje się tego modelu, zastąpił go nowszy *Mazda RX-8*. Zastosowany w modelu RX-8 silnik Wankla nazwano *Renesis*. Kilkakrotnie zdobył on nagrody za najlepszy silnik roku. Konstrukcja silnika jest na tyle uniwersalna, że firma *Mazda* testuje silnik Wankla – *Renesis* używający jako paliwa wodoru (RX-8 Hydrogen RE Concept car). Po wprowadzeniu w 2009 liftingu modelu RX-8 prócz zewnętrznych zmian wprowadzono szereg modyfikacji w silniku co przyczyniło się do zmniejszenia jego awaryjności. Produkcja auta została zakończona w czerwcu 2012 roku z powodu zbyt rygorystycznych norm emisji spalin.

3. Napędy bezzałogowych statków powietrznych

Dobór zespołu napędowego zależy od masy bezzałogowca i jego wymagań taktyczno-operacyjnych, głównie zasięgu i długotrwałości lotu. Doświadczenia zebrane podczas pokojowej eksploatacji i bojowego użycia BSP, pokazują również, że niezawodność ich zespołów napędowych stanowi bardzo poważny problem. Najmniejsze problemy stwarza napęd elektryczny ale stosować go można jedynie w bezzałogowcach Klasy I w kategorii Mikro i Mini z uwagi na duży ciężar i ograniczoną pojemność baterii. Nie występują również problemy z napędami BSP Klasy III (MALE, HALE)¹, ponieważ wykorzystuje się do tego celu te same silniki turbośmigłowe co w samolotach załogowych, a są to konstrukcje dopracowane o dużej niezawodności i długiej żywotności. Największe problemy występowały w zespołach napędowych bezzałogowców o ciężarze 15- 600 kg to jest w kategorii Small i Tactical w których do napędu BSP adoptowano różne rodzaje silników motocyklowych i samochodowych. W warunkach działań bojowych okazało się, że poziom niezawodności całego RPAS obniżają niesprawności zespołu napędowego.

¹ MALE – Medium Altitude Long Endurance
HALE – High Altitude Long Endurance

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

Problemy w eksploatacji silników tłokowych skłoniły konstruktorów do opracowania nowych innowacyjnych konstrukcji dedykowanych dla bezzałogowych statków powietrznych. Tak zrodził się wielki powrót silnika z wirującym tłokiem czyli silnika Wankla. Ponowne zainteresowanie silnikami Wankla zawdzięczamy specyficznym wymaganiom napędów bezzałogowych statków powietrznych (BSP) i napędów hybrydowych. Podstawowe wymagania dotyczyły uzyskania dużej mocy przy jak najmniejszym ciężarze, niskiego poziomu drgań i cichej pracy. Dzięki postępowi w dziedzinie nowych materiałów i wykorzystaniu nowoczesnych technologii angielskie zakłady Advanced Innovative Engineering (AIE) zlokalizowane w Lichfield (Birmingham), opracowały całą rodzinę kompaktowych silników Wankla o mocach od 5 do 120 KM do napędu UAV (RPAS)³. Silniki mają konstrukcję modułową, cechują się małymi wymiarami zewnętrznymi i rewelacyjnie małym ciężarem od 2 kg do 28 kg, co przedstawia tabela 1.

Tab.1 Podstawowe parametry silników Wankla produkowane przez zakłady AIE

Lp.	Rodzaj silnika Wankla	Moc [KM]	Waga [kg]	Wymiary zewnętrzne [mm]
1	40S – 5 BHP	5	2	125x131x151
2	125CS – 20 BHP	20	7	243x177x306
3	225CS – 40 BHP	40	10	271x213x339
4	650 S – 120 BHP	120	28	498x383x420

² Prace Instytutu Lotnictwa, ISSN 0509-6669, 216, s. 30-38, Warszawa 2011

³ UAV- Unmanned Aerial Vehicles

RPAS- Remotely Piloted Aircraft System

Rys. 3 Wykres mocy (Power) i momentu (Torque) w funkcji obr./min.(RPM).

Fot. 2 Widok silnika Wankla Typ 40S – 5 BHP

Rys. 4 Wymiary zewnętrzne silnika 40S – 5 BHP

Ponowne zainteresowanie silnikami z wirującym tłokiem, spowodował rozwój produkcji taktycznych bezzałogowych statków powietrznych. Występujące problemy w adaptacji istniejących silników motocyklowych i samochodowych do napędu dronów oraz ich duża awaryjność, spowodowała przyspieszenie prac nad kompaktową rodziną silników Wankla dedykowaną specjalnie dla średniej grupy bezzałogowców. Umożliwił to niewątpliwie duży postęp technologiczny w dziedzinie materiałowej i innowacyjne systemy produkcji. Do najważniejszych zalet kompaktowych silników Wankla należą:

- niski poziom drgań i hałasu,
- mały ciężar,
- możliwość pracy na różnych paliwach,
- mała liczba ruchomych części,
- duża trwałość,
- niskie koszty produkcji,
- korzystny stosunek mocy do ciężaru,
- innowacyjny system chłodzenia.

Do napędu kompaktowych silników Wankla stosowana jest ciężka benzyna AVGAS /Gasoline/ Heavy Fuels. Pewną wadą tego typu silników jest jednak dość duże jednostkowe zużycie paliwa sięgające 310 – 350 [g/kWh]. Uwzględniając jednak mały ciężar silnika, sumaryczna masa silnika i zabieranego zapasu paliwa jest około 20% mniejsza niż przy zastosowaniu do napędu BSP klasycznego silnika tłokowego.

Silniki Wankla stosowane są najczęściej do napędu średniej wielkości bezzałogowych statków powietrznych Klasy I w kategorii „Small” oraz Klasy II w kategorii „Tactical”. Do napędu małych bezzałogowców kategorii „Micro” i „Mini” najczęściej stosowany jest napęd elektryczny, natomiast do napędu dużych bezzałogowców klasy II i III stosuje się znane, sprawdzone w eksploatacji, silniki turbośmigłowe użytkowane w pilotowanych statkach powietrznych.

4. Podsumowanie

Dobór zespołu napędowego do bezzałogowego statku powietrznego uwarunkowany jest wieloma czynnikami. Jednym z najważniejszych jest masa bezzałogowca wraz z paliwem (źródłem energii elektrycznej) oraz zakładana długotrwałość lotu. Z przeprowadzonej analizy wynika, że perspektywnym i niezawodnym napędem dla średniej wielkości bezzałogowców (15 kg do 600 kg) są silniki Wankla zasilane ciężką benzyną AVGAS. Tego typu napędy są już seryjnie produkowane z wykorzystaniem nowoczesnych materiałów i innowacyjnych technologii. Dzięki swoim zaletom i wyeliminowaniu większości wad które ograniczały zastosowanie silników z wirującym tłokiem w lotnictwie i przemyśle samochodowym silniki Wankla doskonale wpisują się jako napędy bezzałogowych statków powietrznych.

5. Bibliografia

- [1] Advanced Innovative Engineering, strona internetowa: www.aieuk.com
- [2] Biass E.H., Armada International, Issue 1, 02/03.2005
- [3] Melnarowicz W i K., Bezzałogowe Statki Powietrzne, Warszawa ITWL 2017
- [4] Silnik Wankla, Wikipedia, strona internetowa: https://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_Wankla
- [5] Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030, Office of Secretary of Defense, DoD USA 2005

***Dr inż. Władysław Melnarowicz**, ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Wojskowej Akademii Technicznej w specjalności: Samoloty i Silniki Lotnicze. Posiada 35-letni staż dydaktyczno-naukowy. W dydaktyce zajmował wszystkie stanowiska od wykładowcy do komendanta szkoły lotniczej. Przeprowadził ponad 10 000 godzin zajęć dydaktycznych z personelem technicznym, pilotami i studentami Inżynierii Lotniczej Politechniki Wrocławskiej. Jest autorem sześciu prac badawczych, pięciu skryptów, licznych opracowań i artykułów dotyczących szkolenia personelu lotniczego oraz współautorem czterech koncepcji systemowych wdrożonych w kraju i za granicą. Od ośmiu lat kontynuuje działalność naukowo-badawczą w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych oraz aktywnie uczestniczy w krajowych i zagranicznych konferencjach, seminariach i sympozjach o tematyce lotniczo-szkoleniowej.*