

Stanisław LABER*, Alicja LABER*

MODYFIKOWANIE WŁASNOŚCI SMARNYCH OLEJÓW STOSOWANYCH W SILNIKU ODRZUTOWYM ORAZ W UKŁADACH STEROWANIA LOTEM

MODIFYING THE LUBRICATING PROPERTIES OF OILS USED IN JET ENGINES AND FLIGHT CONTROL SYSTEMS

Słowa kluczowe:

samoloty odrzutowe, olej silnikowy, olej hydrauliczny, własności smarne

Key words:

jet aircraft, engine oil, hydraulic oil, lubricating properties

Streszczenie

W artykule przedstawiono problemy smarowania silników oraz rodzaje środków smarowych stosowanych w silnikach odrzutowych. Przedstawiono wyniki badań własności smarnych: obciążenie zespawania P_z , wskaźnik zużycia pod obciążeniem I_h , obciążenie niezacierające P_n , obciążenie zacierające P_t oraz graniczne obciążenie zużycia G_{oz} badanych środków smarowych handlowych oraz modyfikowanych preparatem eksploatacyjnym (PE) o działaniu chemicz-

* Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy Eksploatacji Maszyn i Pojazdów, ul. Licealna 9; 65-200 Zielona Góra, Polska.

nym Motor Life Professional. badania wykazały, że dodanie preparatu eksploatacyjnego w ilości 5% w stosunku objętościowym wpłynęło na poprawę własności przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych badanych środków smarowych.

WPROWADZENIE

Wraz z rozwojem techniki, aby sprostać wymaganiom nowoczesnych konstrukcji maszyn powstało wiele odmian olejów do silników odrzutowych. Producenci prześcigają się w produkcji nowych generacji środków smarowych. W badaniach zastosowano olej silnikowy Royco 808 oraz hydrauliczny Royco 782 tego samego producenta. Olej Royco 782 jest przeznaczony do układu hydraulicznego samolotu. Układ ten ma zastosowanie np. w elementach układu sterowania lotem lub chowania i wypuszczania podwozia.

W artykule [L. 8] przedstawiono analizę oleju stosowanego do silników lotniczych oraz metody zmniejszenia wydzielania ciepła w układach paliwa i oleju. To zmniejszenie można uzyskać poprzez wprowadzenie paliw i olejów o lepszych własnościach. Paliwa i oleje będą miały wpływ na konstrukcję silników lotniczych. Złożoność budowy silników lotniczych oraz prawidłowy ich sposób smarowania [L. 12] będą wpływały na zmniejszenie tarcia oraz na sprawność silników. Prawidłowo dobrany olej jest siłą napędową silnika samolotu. Do smarowania silników odrzutowych stosowane są specjalistyczne oleje syntetyczne [L. 11] o wysokiej wydajności ale zawierające toksyczne składniki. Tymi składnikami są między innymi: N-fenylo-1-naftyloamina i fosforan trikretylu.

W handlu dostępne są dodatki eksploatacyjne poprawiające własności tribologiczne węzłów tarcia maszyn i urządzeń technicznych, które mają za zadanie minimalizację zjawiska „zimnego startu” zmniejszającego zużycie [L. 2, 3].

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Budowa silnika odrzutowego dwuprzepływowego

Silniki odrzutowe (Rys. 1) to grupa silników wykorzystujących zjawisko odrzutu – należą do nich silniki turboodrzutowe z ich odmianami, a także silniki pulsacyjne, strumieniowe i raketowe. Powszechnie jednak nazwą „odrzutowe” określa się silniki turboodrzutowe (czyli takie jakie występują w większości samolotów). Budowa silnika odrzutowego (podobnie jak turbiny gazowej) opiera się na kanale, w którym kolejno ułożone są sprężarka, komora spalania (lub komory spalania), turbina i dysza wylotowa. Sprężarka, obracając się, realizuje pierwszy etap – spręża zassane powietrze (wraz ze wzrostem ciśnienia – wzrasta temperatura). Sprężone powietrze następnie wpada do komory spalania,

gdzie podawane jest paliwo i następuje spalanie. Gorące spaliny trafiają na łopatki turbiny, wprawiając je w ruch. Turbina poprzez wał napędza sprężarkę. Ta część gazów spalinowych, które minęły turbinę uchodzi przez dyszę silnika, realizując główne założenie – tworząc zjawisko odrzutu.

Ciąg silnika wynika z różnicy pędu gazów wpadających przez wlot i opuszczających silnik przez dyszę wylotową ze zwiększoną prędkością, a bezpośrednio jest rezultatem działania ciśnień na różne elementy silnika – od sprężarki poprzez komorę spalania, turbinę lub turbiny po dyszę wylotową [L. 7–9].

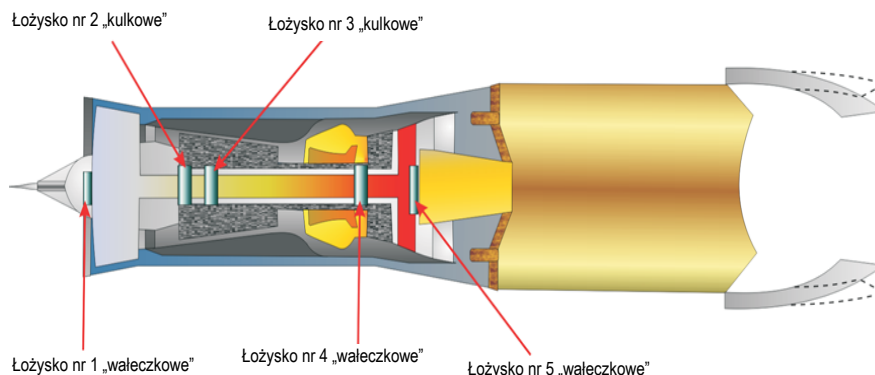


Rys. 1. Silnik odrzutowy F100-PW podczas prób

Fig. 1. F100-PW jet engine during tests

Węzły tarcia w silniku odrzutowym

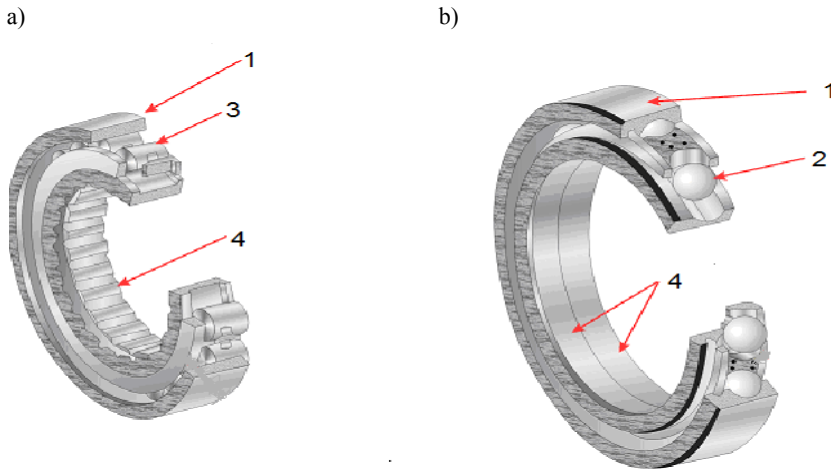
Głównymi węzłami tarcia w silniku odrzutowym są podpory silnika (**Rys. 2**) osadzone na łożyskach, olej handlowy Royco 808 ma za zadanie smarować je i chłodzić. Jest on także wykorzystywany do chłodzenia osprzętu silnika, w tym komputera sterującego pracą silnika.



Rys. 2. Podpory silnika odrzutowego dwuprzepływowego

Fig. 2. Supports of the turbofan jet engine

Silnik posiada 5 łożysk, czyli 5 „podpór”. Łożyska nr 1, 3, 4 są łożyskami wałeczkowymi (**Rys. 3**) przystosowanymi do przenoszenia większych obciążeń promieniowych. Łożyska (**Rys. 3b**) są łożyskami kulkowymi przenoszącymi obciążenia promieniowe, jak i osiowe.



Rys. 3. Łożyska silnika odrzutowego: a) łożysko wałeczkowe, b) łożysko kulkowe; 1 – bieżnia zewnętrzna, 2 – kulka, 3 – rolka, 4 – bieżnia wewnętrzna

Fig. 3. The jet engine bearings: a) roller bearing, b) ball bearing: 1 – outer race, 2 – ball, 3 – roll, 4 – inner race

EKSPERYMENT

Materiały przyjęte do badań

Do badań własności smarnych przyjęto następujące środki smarowe:

- silnikowy olej handlowy Royco 808,
- olej silnikowy handlowy Royco 808 modyfikowany 5% w stosunku objętościowym preparatem eksploatacyjnym (PE) Motor Life Professional,
- olej hydrauliczny handlowy Royco 782,
- olej hydrauliczny handlowy Royco 808 modyfikowany 5% w stosunku objętościowym preparatem eksploatacyjnym (PE) Motor Life Professional.

Olej syntetyczny Royco 808 firmy ANDEROL/TOTAL jest najczęściej stosowanym olejem do samolotów z silnikiem odrzutowym. Został wytworzony na bazie olejów polialkiloglikolowych i ich estrów. Olej Royco 808 przeznaczony jest do smarowania turbin gazowych silników lotniczych i przemysłowych – szczególnie turbośmigłowych działających w ekstremalnych temperaturach dodatnich i ujemnych. Własności fizykochemiczne oleju Royco 808: zakres pracy

od -35°C do $+200^{\circ}\text{C}$, temp. zapłonu 220°C , lepkość kinematyczna w 100°C $3,1\text{ mm}^2/\text{s}$, w 40°C $12,0\text{ mm}^2/\text{s}$, w -51°C $7,675\text{ mm}^2/\text{s}$, gęstość w 20°C 952 kg/m^3 , temperatura krzepnięcia -62°C [L. 13].

Drugim olejem przyjętym do badań był olej Royco 782. Jest to syntetyczny hydrauliczny środek smarowy opracowany do celów wojskowych i cywilnych urzędzeń przemysłowych pracujących w ciężkich warunkach eksploatacyjnych.

Własności fizykochemiczne oleju Royco 782: zakres pracy od -40°C do $+160^{\circ}\text{C}$, temp. zapłonu 218°C , lepkość kinematyczna w 100°C $3,51\text{ mm}^2/\text{s}$, w 40°C $14,2\text{ mm}^2/\text{s}$, w -40°C $2027\text{ mm}^2/\text{s}$, gęstość w 15°C 851 kg/m^3 , temperatura krzepnięcia -58°C [L. 14].

Preparat eksploatacyjny o działaniu chemicznym Motor Life Professional [L. 4] składa się ze związków grupy ditiofosforanów cynku, alkilowych, pierwszo- i drugorzędowych oraz arylowych, związków alkilofenolowych, aromatycznych amin, siarczków organicznych, nadzasadowych sulfonianów magnezu, kwasów alkenobursztynowych, siarkowanych kwasów tłuszczowych, polimetylosiloksanów, alkilometakrylanów, kopolimerów etylenowo-propylenowych, mieszaniny syntetycznych estrów polioliowych wywodzących się z alkoholi wielowodorotlenowych, inhibitorów korozji, inhibitorów utlenienia. Charakteryzuje się dużym ciężarem cząsteczkowym, wysoką stabilnością chemiczną i termiczną. Nośnikiem wprowadzającym preparat Motor Life Professional do węzłów tarcia są różnego rodzaju oleje (syntetyczne i mineralne) szeroko stosowane, jak również specjalistyczne, a łatwość rozpuszczania preparatu umożliwia mu swobodny dostęp do powierzchni współpracujących metali. Własności fizykochemiczne Motor Life Professional: temperatura zapłonu 210°C , temperatura wrzenia 275°C , temperatura palenia 240°C , temperatura samozapłonu 380°C , temperatura krzepnięcia -43°C , temperatura mętnienia -32°C , temperatura płynięcia -16°C , lepkość kinematyczna w 40°C , $117,7\text{ mm}^2/\text{s}$, lepkość kinematyczna w 100°C $5,63\text{ mm}^2/\text{s}$, ciężar właściwy według API D82 $7,10\text{ kg/m}^3$.

Metodyka badań

Badania własności smarnych przyjętych kompozycji smarowych wykonano zgodnie z PN – 76/C – 04147 na testerze T-02 produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu. Wyniki badań przedstawiono w Tabeli 1 oraz na Rys. 1÷6.

Wyniki badań

Z przeprowadzonych badań oleju silnikowego Royco 808 wynika, że modyfikowanie dodatkiem eksploatacyjnym Motor Life Professional (Tab. 1 oraz Rys. 1, 2, 3) oleju handlowego Royco 808 korzystnie wpłynęło na poprawę własności smarnych.

Tabela 1. Własności smarne badanych środków smarowych

Table 1. Tribological properties of tested lubricants

Rodzaj środka smarowego	Własności smarne				
	P_t [daN]	P_z [daN]	P_n [daN]	I_h [daN]	G_{oz} $\frac{daN}{mm^2}$
olej silnikowy Royco 808	104,63	126	40	20,53	20,07
olej silnikowy Royco 808 + PE	190,61	126	50	25,32	46,62
olej hydrauliczny Royco 782	165,14	100	63	25,153	14,08
olej hydrauliczny Royco 782+PE	142,39	126	80	32,93	178,76

W zakresie przeciwzarcowego działania środka smarowego modyfikowanie oleju nie wpłynęło na zmianę obciążenia zespawania P_z , natomiast wzrósł wskaźnik zużycia pod obciążeniem I_h . Modyfikowanie oleju handlowego wpłynęło na wzrost trwałości warstwy smarnej, o czym świadczą wskaźniki: obciążenie niezacierające P_n i obciążenie zacierające P_t . Znacznie wzrósł wskaźnik granicznego obciążenia zacierania G_{oz} charakteryzujący przeciwzużyciowe działanie środka smarowego.

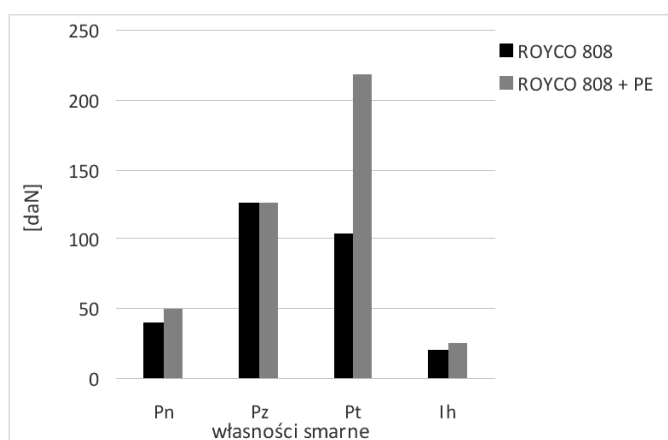
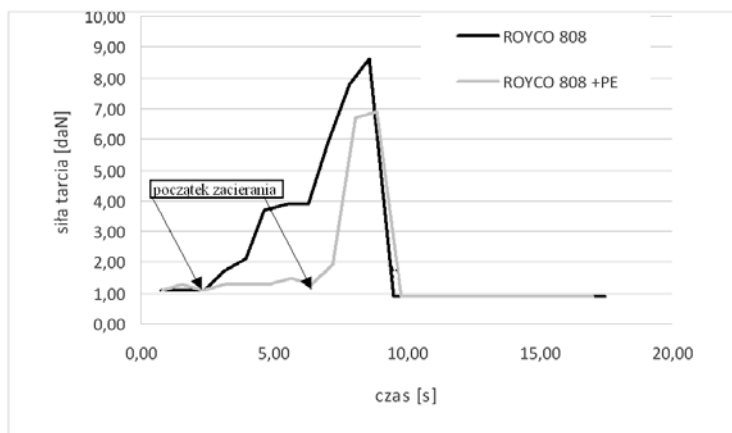
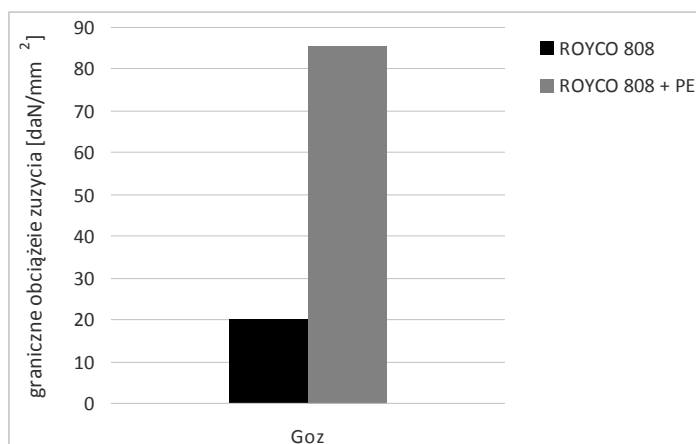
**Rys. 4. Własności smarne oleju silnikowego Royco 808 i modyfikowanego Motor Life Professional**

Fig. 4. Tribological properties of pure Royco 808 engine oil and modified with Motor Life Professional



Rys. 5. Przebieg zmienności siły tarcia dla narastającego obciążenia węzła tarcia 408,8 N/s smarowanego olejem silnikowym Royco 808 i modyfikowanym Motor Life Professional

Fig. 5. Friction force curves obtained during test with increasing load (408.8 N/s) for pure Royco 808 engine oil and modified with Motor Life Professional

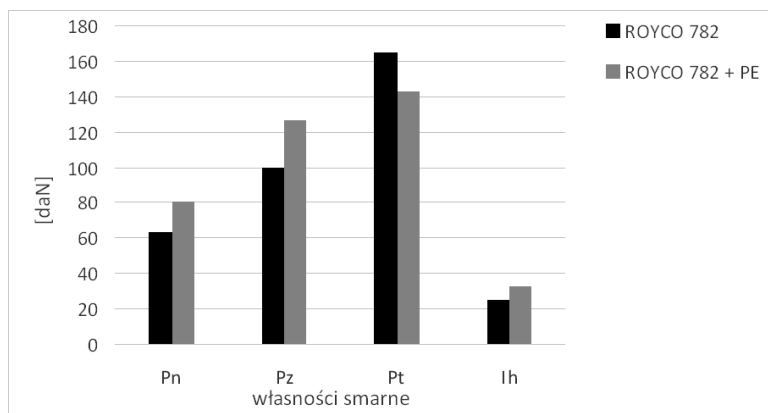


Rys. 6. Graniczne obciążenie zużycia oleju silnikowego Royco 808 i modyfikowanego Motor Life Professional

Fig. 6. Limiting load of wear for pure Royco 808 engine oil and modified with Motor Life Professional

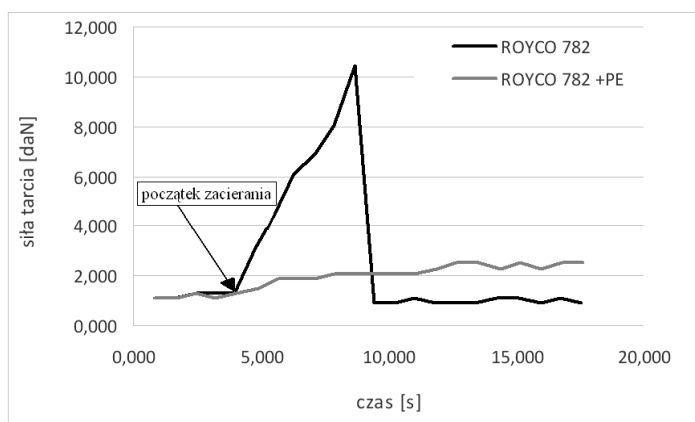
Modyfikowanie oleju hydraulicznego Royco 782 preparatem eksploatacyjnym Motor Life Professional poprawiło wszystkie wskaźniki własności smarowych z wyjątkiem obciążenia zacierającego P_t . Poprawiły się również przeciwzatarciowe działanie środka smarowego oraz trwałość warstwy granicznej wę-

zła tarcia, w przypadku oleju handlowego przerwanie warstwy granicznej nastąpiło przy mniejszym obciążeniu wężła tarcia i po około 5 sek. W przypadku oleju modyfikowanego obserwuje się wzrost siły tarcia bez widocznego przerywania warstwy granicznej. Siła tarcia stopniowo wzrasta i w końcowej fazie osiąga wartość około 2,5 daN.



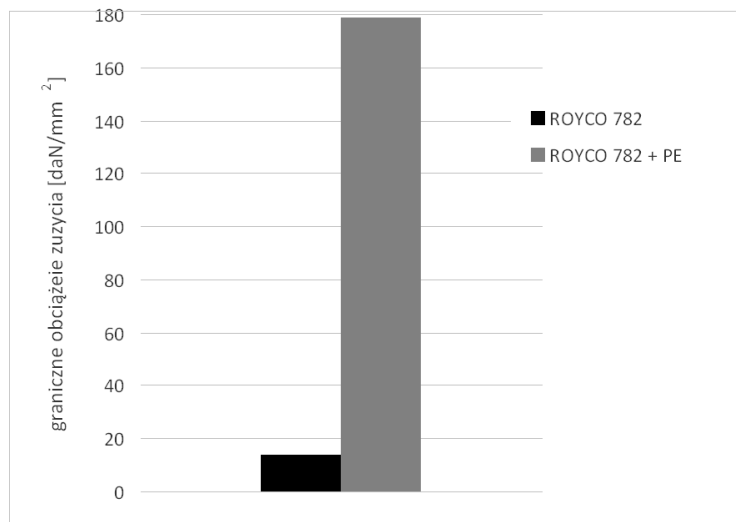
Rys. 7. Własności smarne oleju hydraulicznego Royco 782 i modyfikowanego Motor Life Professional

Fig. 7. Tribological properties of Royco 782 engine oil and modified with Motor Life Professional



Rys. 8. Przebieg zmienności siły tarcia dla narastającego obciążenia 408,8 N/s wężła tarcia smarowanego olejem hydraulicznym ROYCO 782 i modyfikowanym Motor Life Professional

Fig. 8. Friction force curves obtained during test with increasing load (408.8 N/s) for pure Royco 782 engine oil and modified with Motor Life Professional



Rys. 9. Graniczne obciążenie zużycia oleju hydraulicznego Royco 782 i modyfikowanego Motor Life Professional

Fig. 9. Limiting load of wear for pure oil Royco 782 engine oil and modified with Motor Life Professional

WNIOSKI

Przeprowadzone badania własności smarnych oleju silnikowego Royco 808 oraz oleju hydraulicznego Royco 782 oraz tych samych olejów modyfikowanych PE Motor Life Professional wykazały, że modyfikowanie olejów wpłynęło na:

1. Poprawę właściwości przeciwzatarciowych środka smarowego;
2. Zwiększenie odporności warstwy granicznej do przenoszenia większych obciążeń dynamicznych i odpornej na przerywanie;
3. Rozpoczęcie zacierania po dłuższym czasie przy większym obciążeniu.
4. Zmniejszenie zużycia węzła tarcia – znaczny wzrost G_{oz} dla obu badanych olejów.

LITERATURA

1. Butowski P.: Samoloty MiG, WKiŁ, Warszawa 1987.
2. Laber S.: Wybrane problemy eksploatacji maszyn, Wyd. Instytut Eksploatacji Maszyn, Radom 2011.
3. Laber A.: Studium wykorzystania dodatków eksploatacyjnych do olejów smarowych w systemach tribologicznych, Wyd. Uniwersytet Zielonogórski, 2012.
4. Materiały informacyjne firmy PLAST- MAL, Warszawa.

5. Praca zbiorowa, Turbinowe silniki odrzutowe. Napędy lotnicze, Wyd. Komunikacji i Łączności, 1983.
6. PN-76/C-04147: Badane własności smarnych olejów i smarów.
7. Ryś M.: Sowieckie samoloty z napędem odrzutowym i raketowym do 1945 roku. Część II w: Nowa Technika Wojskowa nr 12/1997.
8. Streifinger H.: Fuel/Oil System Thermal Management in Aircraft Turbine Engines, Paper presented at the RTO AVT Symposium on “Design Principles and Methods for Aircraft Gas Turbine Engines”, held in Toulouse, France, 11–15 May 1998, and published in RTO MP-8.
9. Sharpe M.: Odrzutowe samoloty myśliwskie i wielozadaniowe. Wydawnictwo Bellona, 2009.
10. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne – zacieranie. Wydawnictwo Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2000.
11. Winder Ch., Balouet J.-Ch.: The toxicity of commercial jet oils, Environmental Research, 2001.
12. http://navybm.com/study%20material/14008a/14008A_ch5.pdf (Jet aircraft engine lubrication systems chapter 5).
13. <http://www.anderol.com/deployedfiles/ChemturaV8/Anderol-en-US/Products/Royco%20808%20Datasheet.pdf>, Karta charakterystyki oleju ROYCO 808.
14. <http://www.anderol.com/deployedfiles/ChemturaV8/Anderol-en-US/Products/Royco%20782%20Datasheet.pdf>, Karta charakterystyki oleju ROYCO 782.

Summary

The article presents the problems of lubrication and types of lubricants used in jet engines. The results of tribological properties were presented: weld point P_z , load-wear index I_h , last nonseizure load P_n , seizure load P_t , limiting load of wear G_{oz} for commercial oils and these oils with Motor Life Professional addition. Studies have shown that the addition of additive in an amount of 5% by volume has improved antiwear and antiseizure properties investigated lubricants.