

Czynniki mające wpływ na stopień degradacji oleju silnikowego w okresie eksploatacji

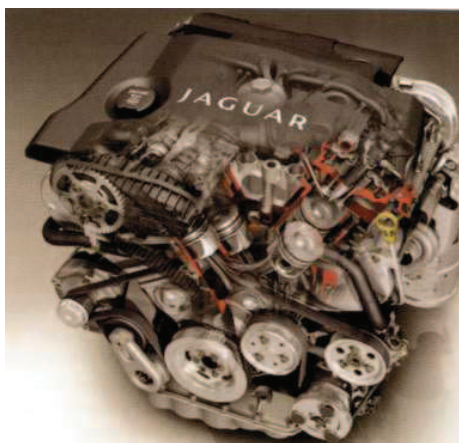
JANUSZ JAKÓBIEC¹, GRZEGORZ BUDZIK²

¹Instytut Technologii Nafty w Krakowie, ²Politechnika Rzeszowska

W artykule zamieszczono informacje dotyczące aktualnych wymagań z zakresu kształtowania jakości olejów silnikowych w nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych silników spalinowych pojazdów samochodowych i wpływu określonych czynników na stopień ich degradacji w okresie eksploatacji oraz kryterium doboru parametrów jego oceny.

1. Wstęp

W ostatnich latach o jakości olejów silnikowych decydują wymagania z zakresu nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych silników samochodowych: bezpośredni wtrysk, turbodoładowanie, recyrkulacja spalin, stosowanie coraz bardziej efektywnych katalizatorów i filtrów spalin oraz wymagania ochrony środowiska, jak również wprowadzenie nowych rodzajów paliw w tym alternatywnych (LPG, CNG i biopaliw) [1÷3]. Wszystkie te rozwiązania znajdują odbicie w rozwoju technologii środków smarowych, w tym baz olejowych i pakietów dodatków uszlachetniających – rys. 1.



Rys. 1. Przekrój układu smarowania i chłodzenia silnika spalinowego.

Fig.1. The section of lubrication and cooling systems of internal combustion engine.

Odbiorca oczekuje w samochodzie silnika nowoczesnego, oszczędnego, trwałego i zapewniającego dobre osiągi przez cały czas eksploatacji oraz wydłużonych okresów wymian oleju silnikowego. Oczekiwaniom tym starają się sprostać producenci samochodów i wytwórcy środków smarowych, traktując olej silnikowy jako istotny element dla pracy silnika [4].

2. Nowoczesne konstrukcje silników

Nowoczesne silniki z zapłonem iskrowym stają się coraz bardziej rozbudowane i zarazem skomplikowane. Szczególnie odnosi się to do głowic cylindrowych, które przybierają coraz większe rozmiary, a pozostaje w nich coraz mniej miejsca na skomplikowane systemy zminiaturyzowanych kanałów dla przepływu płynu chłodzącego i oleju smarującego [5]. Poza złożoną konstrukcją, nowoczesne silniki cechuje coraz wyższy stopień sprężania, który prowadzi do nieustannego zwiększania tzw. wysilenia silników i prędkości obrotowej. Wymienione zmiany w silnikach przyczyniają się do pracy niektórych jego układów i elementów w warunkach coraz większego obciążenia, wyższej temperatury, a także coraz częściej powodują powstawanie znaczącej różnicy temperatury pomiędzy głowicą, a blokiem cylindrowym oraz pojawianie się obszarów, gdzie olej smarujący narażony jest na miejscowe przegrzanie przy równoczesnym występowaniu dużych sił ścinających (np. na wielu powierzchniach styku ruchomych elementów układów rozrządu). Wzrasta gwałtownie obciążenie oleju silnikowego wyrażane wskaźnikiem tzw. „stresu olejowego” [6].

3. Przegrzewanie silnika lub jego elementów

Współczesne silniki z ZI, zwłaszcza te, w których proces spalania odbywa się w uwarstwionej, często ubogiej mieszance, charakteryzują się wysoką temperaturą spalania ładunku. Z kolei opisane wcześniej, rozbudowane głowice cylindrowe o skomplikowanych odlewach, w których kanały chłodziwa mają często maksymalnie ograniczoną pojemność, sprzyjają powstawaniu lokalnych obszarów o wyraźnie podwyższonej temperaturze. Począwszy od około 100°C, olej silnikowy wykazuje większe prawdopodobieństwo utleniania, a powyżej około 140°C jego utlenianie i termiczny rozkład zachodzą w sposób gwałtowny [7]. Dlatego też producenci olejów powszechnie stosują inhibitory utleniania, jednak te w miarę eksploatacji oleju ulegają degradacji, a ich wyjściowy potencjał maleje i proces utleniania może przebiegać coraz bardziej swobodnie, zwłaszcza w okresach przegrzewania elementów silnika, przy dużym dostępie powietrza. Postępujące utlenianie prowadzi do zagęszczania oleju i podnoszenia jego liczby kwasowej. Z biegiem czasu olej zaczyna być coraz bardziej nasycony rozpuszczalnymi i nierozpuszczalnymi produktami utleniania, co powoduje, że efektywność dodatków dyspergująco–detergencyjnych jest niewystarczająca do utrzymania ich w stanie zawieszenia w oleju, następuje wytracanie substancji smolistych i szlamów na elementach silnika. Dodatkowym czynnikiem wspomagającym tworzenie szlamów jest nitrowanie oleju (powodujące jego ubożenie w dodatki) po-

przez oddziaływanie tlenków azotu powstających w komorze spalania (zwłaszcza przy spalaniu ubogiej mieszanki) i przedostających się do skrzyni korbowej silnika. Szlamy zaczynają pokrywać wewnętrzne powierzchnie różnych elementów silnika, ograniczając wymianę i odprowadzenie ciepła z silnika, co powoduje stopniowy wzrost temperatury jego pracy i dalszą, przyspieszoną destrukcję oleju.

4. Przedmuchy gazów spalinowych do skrzyni korbowej

Część produktów procesów spalania przebiegających w komorach spalania silnika przedostaje się w postaci przedmuchi do skrzyni korbowej oddziałując na olej. Z punktu widzenia konstrukcji silnika, ważna jest tu proporcja pomiędzy ilością gazów spalinowych przedmuchiowanych do skrzyni korbowej, a pojemnością miski olejowej, a więc ilością oleju poddanego działaniu tych gazów. Istotny jest też sposób odprowadzania przedmuchiowanych gazów ze skrzyni korbowej. Wysoka temperatura oraz skład przedmuchiowanych gazów, zawierających: tlenki azotu, tlenki siarki, tlen, wysokoreaktywne wodoronadtlenki, zmieszanych z nie spalonym lub częściowo spalonym, chemicznie niestabilnym paliwem i sadzą to czynniki, które oddziałując na cienką warstwę oleju silnikowego prowadzą do niepożądanych następstw, takich jak powstawanie prekursorów osadów, żywic i laków. One to ulegając aglomeracji i flokulacji, mogą wypadać z oleju zarówno w niskich, jak i wysokich temperaturach. Ponadto, współczesne oleje silnikowe zawierają dużą ilość dodatków uszlachetniających, w tym przeciwutleniających. Dodatki te narażone na oddziaływanie bardzo rozgrzanych i niestabilnych chemicznie gazów spalinowych przedmuchiowanych do skrzyni korbowej ulegają rozkładowi, a zwiększona ilość produktów rozkładu dodatkowo obciąża olej bazowy, powodując jego zagęszczanie, a następnie sprzyja ich wypadaniu.

5. Stosowanie niewłaściwego oleju smarującego

Stosowanie niewłaściwego oleju do smarowania silnika powoduje jego przyspieszone, a nawet awaryjne zużycie, może też mieć wpływ na tworzenie osadów w postaci żeli lub czarnych szlamów [7, 8]. Zastosowanie w nowoczesnych silnikach oleju smarującego o zbyt dużej lepkości powoduje jego opóźnione docieranie do wielu miejsc wymagających intensywnego smarowania (zwłaszcza podczas rozruchu), a równocześnie długie zaleganie (na skutek spowolnionego przepływu), szczególnie w kanalikach o małym przekroju przepływu. Zbyt długie zaleganie oleju, prowadzi do jego przegrzewania, przedwczesnego utleniania i w konsekwencji wytworzenia szlamów, a następnie tzw. „korków szlamowych” blokujących przepływ przez kanały olejowe. Powolny przepływ oleju przez kanały układu smarowania silnika powoduje też zmniejszenie odprowadzenia ciepła z silnika, co prowadzi do jego przegrzewania, a to z kolei do przyspieszonego utleniania i degradacji składników oleju inicjujących lub zwiększających powstawanie czarnych szlamów.

Nowoczesny silnik wymaga indywidualnego doboru i stosowania oleju smarującego o odpowiedniej jakości, uwzględniając jego klasę lepkości i biorąc pod uwagę: wysokie obciążenia cieplne silnika, ilość gorących i agresywnych gazów spalinowych przedmuchiwanych do skrzyni korbowej, konieczność szybkiej cyrkulacji i efektywnego smarowania w każdych warunkach pracy silnika, zdolność do dyspergowania wszelkich osadów, produktów utleniania oleju i zanieczyszczeń powstających w procesie spalania itp. [9].

6. Wydłużanie okresu pomiędzy wymianami oleju

Wydłużenie okresu eksploatacji oleju prowadzi do wielu niekorzystnych zjawisk, powodujących szybkie pogarszanie jego właściwości i powstawanie produktów degradacji oleju w postaci między innymi: żeli, laków, żywic i czarnych szlamów. Eksploatacja oleju powoduje stopniowe odparowanie jego lekkich frakcji oraz coraz intensywniejsze utlenienie, co przekłada się na zwiększenie lepkości, stanowiące jeden z ważniejszych parametrów oceny oleju pod kątem przydatności do dalszej jego eksploatacji. Zwiększanie lepkości powoduje między innymi: wzrost skłonności oleju do jego dekompozycji na skutek przegrzewania, utrudnienie cyrkulacji oleju w silniku, pogorszenie smarowania coraz większej liczby ważnych elementów silnika, inicjowanie formowania różnych osadów na skutek podwyższania temperatury pracy silnika i oddziaływania coraz bardziej agresywnych, gorących spalin przedmuchiwanych do skrzyni korbowej. Powyżej opisany proces utraty podstawowych właściwości oleju może być w pewnym stopniu złagodzony w przypadku silników zużywających dużą ilość oleju, a więc wymagających jego częstego uzupełniania (odświeżania). Nadmierne wydłużanie okresu eksploatacji oleju powoduje też utratę jego rezerwy alkalicznej i wzrost kwasowości, wytrącanie i degradację dodatków uszlachetniających i inicjowanie powstawania żywic oraz szlamów.

7. Warunki eksploatacji silnika

Poniżej podano warunki eksploatacji samochodu, które sprzyjają powstawaniu szlamów w silniku [10]:

- krótkie odcinki jazdy samochodem (wielokrotne rozgrzewanie i chłodzenie silnika);
- jazda w korkach ulicznych (warunki jazdy określane jako „stop and go”);
- przedłużona praca silnika na biegu jałowym (jazda i przestoje samochodu w korkach ulicznych);
- częste uruchamianie silnika w niskich temperaturach;
- eksploatacja samochodu w terenach górzystych (naprzemienne, gwałtowne przegrzewanie i chłodzenie silnika).

Wyżej wymienione warunki powodują intensywną kondensację wody na wewnętrznych elementach silnika, a następnie jej skraplanie i tworzenie emulsji z olejem smarującym. Teoretycznie, przy normalnej eksploatacji samochodu (w warunkach nie

obejmujących wyliczonych powyżej), woda nie powinna skraplać się w silniku, ponieważ występujące wewnątrz silnika temperatury rzędu 90 – 100°C umożliwiają jej odparowanie. Jednak nieregularna eksploatacja samochodu na krótkich trasach i w niskich temperaturach powoduje w sposób nieunikniony skraplanie i przedostawanie się wody do oleju. Przedostaje się też wraz z gazami spalinowymi przedmuchiwany do skrzyni korbowej. Wytworzona emulsja olejowo-wodna powoduje wzrost lepkości oleju, utrudnia jego cyrkulację w kanałach silnika, co prowadzi między innymi do przegrzewania oleju i jego utleniania, zwiększania lepkości i formowania różnego rodzaju zanieczyszczeń, w tym szlamów. Woda w skrzyni korbowej zawiera między innymi siarkę ze spalonego paliwa, która tworzy kwas siarkowy. Przedostające się do oleju kwasy nieorganiczne powodują rozkład dodatków detergentowych, a kwasy organiczne wchodzi w reakcje z niezupełnie spalonym paliwem inicjując powstawanie szlamów i laków.

8. Lotność oleju

Obecnie, przy opracowywaniu nowych olejów silnikowych obowiązują dwie podstawowe tendencje: obniżanie szybkości odparowywania oleju (lotności) i wydłużanie okresów pomiędzy jego wymianami [11, 12]. Dotychczas przeprowadzone badania silnikowe i drogowe pozwoliły poczynić następujące obserwacje w zakresie wyżej określonych tendencji. Wydłużona eksploatacja olejów o dużej lotności (dużej szybkości parowania) prowadzi do zwiększania, wraz z upływem czasu eksploatacji, stężenia metalicznych dodatków w oleju. W przypadku wydłużonej eksploatacji olejów o małej lotności (małej szybkości parowania) występuje odwrotna tendencja, tzn. niewielkie obniżanie stężenia dodatków metalicznych w oleju. Obniżanie stężenia dodatków jest spowodowane ich stopniową degradacją na skutek różnych czynników oddziałujących na eksploatowany olej. W konsekwencji, olej o małej lotności wykazuje w miarę eksploatacji coraz mniejszą odporność na utlenianie, zwiększoną tendencję do tworzenia osadów i w coraz mniejszym stopniu chroni elementy silnika przed zużyciem. Olej o dużej lotności szybko odparowuje podczas wydłużonej eksploatacji, co powoduje konieczność jego okresowego uzupełniania (odświeżania). Prowadzi to, z jednej strony, do uzupełniania degradowanych w czasie eksploatacji dodatków, a z drugiej strony, odparowanie lekkich frakcji oleju bazowego powoduje stopniowe zwiększanie lepkości takiego oleju [13].

9. Kryteria doboru parametrów oceny stopnia degradacji oleju silnikowego w eksploatacji

Wieloletnie obserwacje pozwoliły na stwierdzenie, że specyfika konstrukcji, określone parametry pracy silnika oraz rodzaj stosowanego paliwa i oleju silnikowego to elementy mające wpływ na intensywność procesów degradacji oleju silnikowego w eksploatacji. Typując właściwości fizykochemiczne oleju silnikowego, których

monitorowanie ma stanowić kryterium oceny stopnia degradacji oleju należy brać pod uwagę następujące procesy zachodzące podczas eksploatacji:

- reakcje zobojętniania kwaśnych produktów spalania przez dodatki neutralizujące;
- reakcje oksydacji węglowodorów związane z wysokotemperaturowym oddziaływaniem tlenu obecnego w komorze spalania;
- reakcje nitratacji, przez które rozumiemy reakcje zachodzące podczas kontaktu składników olejów smarowych, głównie węglowodorów z tlenkami azotu, powstałymi w warunkach pracy silnika (zwłaszcza tych sprzyjających powstawaniu wysokich temperatur i średnich ciśnień spalania w komorach) prowadzące do powstawania azotanów organicznych; pojęcie to wprowadzono, aby odróżnić tego rodzaju procesy od znanych z preparatyki organicznej procesów nitrowania;
- analogiczne reakcje tlenków siarki wobec pary wodnej przy podwyższonym ciśnieniu, prowadzące do powstawania produktów sulfonacji;
- reakcje degradacji składników niewęglowodorowych (głównie dodatków uszlachetniających), prowadzące do częściowej lub całkowitej utraty określonych właściwości eksploatowanego oleju silnikowego, np. obniżanie się liczby zasadowej, rozpad dodatków przeciwzużyciowych typu ditiofosforanów, czy procesy mechanochemiczne (procesy ścinania) dodatków modyfikujących właściwości reologiczne oleju;
- reakcje pomiędzy związkami powierzchniowo czynnymi a dodatkami uszlachetniającymi, obecnymi zarówno w oleju smarowym jak i paliwie, co może zmieniać właściwości detergentowo–dyspergujące oleju silnikowego i prowadzić do powstawania zawiesin, szlamów, laków lub rozmaitych wytrąceń o zróżnicowanym składzie chemicznym;
- przechodzenie do oleju silnikowego wyżej wrzących komponentów paliwa, czego skutkiem mogą być zmiany charakterystyk lepkościowych oleju;
- kumulowanie się w oleju silnikowym w trakcie eksploatacji innych zanieczyszczeń różnego pochodzenia, np. produktów spalania, takich jak, woda (co może powodować hydrolizę niektórych dodatków), czy sadza, co głównie dotyczy silników z zapłonem samoczynnym, a także pyłów i mineralnych zanieczyszczeń środowiskowych, co może skutkować zwiększonym zużyciem elementów silnika;
- awaryjne przecieki do oleju smarującego silnik glikolu etylenowego, pochodzącego z płynu chłodniczego.

Należy jednak pamiętać, że analiza właściwości fizykochemicznych oleju w eksploatacji może dostarczyć cennych informacji pod warunkiem, że badania będą prowadzone stosownymi metodami. W tym celu grupa robocza CEC IL–21 opracowała procedurę CEC M-13-T-92, obejmującą zalecane znormalizowane metody analizy olejów silnikowych w eksploatacji. Powyższa procedura stanowi podstawę w zakresie sposobu badań oleju silnikowego w eksploatacji. Przyjęte metody badań zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Stosowane metody badań do oceny właściwości fizykochemicznych oleju silnikowego przewidzianych klasyfikacją jakościową API i procedurą CEC M-13-T-92.

Table 1. Methods of evaluation of physicochemical properties of engine oil according to API quality classification and CEC M-13-T-92 procedure.

Lp.	Oznaczana cecha	Metoda badania wg
1.	Lepkość kinematyczna	PN-EN ISO 3104
2.	Wskaźnik lepkości	ASTM D 2270
3.	Liczba kwasowa	ASTM D 664
4.	Całkowita liczba zasadowa	ASTM D 2896
5.	Zawartość wody	ASTM D 95
6.	Zawartość pierwiastków pochodzących z pakietu jakościowego	ASTM D 4951
7.	Zawartość pierwiastków pochodzących ze zużycia elementów silnika	ASTM D 5185
8.	Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych	ASTM D 893
9.	Popiół siarczanowy	ISO 3984
10.	Odparowalność metodą Noacka	PN-C-04124
11.	Stopień oksydacji, nitracji, sulfonowania	ASTM E 2412
12.	Odporność na utlenianie i działanie korodujące	CEC L-40-A-78

Ocena stopnia degradacji oleju silnikowego w eksploatacji powinna uwzględniać również szeroko zakrojone prace normalizacyjne w grupach roboczych ASTM, obejmujące zagadnienia oznaczania stopnia nitracji, oksydacji, produktów ubocznych sulfonowania, zawartości sadzy, paliwa, zanieczyszczeń glikolem etylenowym, wodą oraz monitorowania zmian zawartości dodatków przeciwzużyciowych technikami analizy spektralnej w podczerwieni z transformacją fourierowską.

10. Podsumowanie

Nowoczesny silnik spalinowy wymaga indywidualnego doboru i stosowania oleju smarującego o odpowiedniej jakości, uwzględniając jego klasę lepkości oraz biorąc pod uwagę wysokie obciążenie cieplne silnika, ilość gorących i agresywnych gazów spalinowych przedmuchiwanych do skrzyni korbowej, konieczność szybkiej recyrkulacji i efektywnego smarowania w każdych warunkach pracy silnika. Zachodzące w okresie eksploatacji oleju silnikowego procesy starzenia (degradacji) powodują zmiany jego właściwości użytkowych. Zmiany te są spowodowane zarówno procesami chemicznymi, którym ulegają składniki oleju, jak też wpływem zanieczyszczeń przedostających się do oleju (metali pochodzących ze zużycia silnika) w warunkach eksploatacji. Ocenę właściwości użytkowych olejów silnikowych wytypowanych do smarowania nowoczesnych silników samochodowych należy przeprowadzać w warunkach intensywnej eksploatacji. Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych, stanowiskowych i eksploatacyjnych wysokojakościowych olejów silnikowych przeznaczo-

nych do smarowania nowoczesnych silników samochodowych stanowić mogą wystarczającą gwarancję ich właściwości użytkowych.

Literatura

- [1] IDZIOR M.: *Rozwój silników spalinowych w aspekcie metod ich wytwarzania*. Silniki Spalinowe PTNSS 2006 Nr 1.
- [2] BRZEŻAŃSKI M.: *Fiat GM Powertrain 1,3 JTD z Bielska Białej – duży krok w kierunku nowoczesności*. Silniki Spalinowe PTNSS 2005, Nr 2.
- [3] JAKÓBIEC J.: *Rozwój samochodowych systemów zasilania silników paliwem gazowym propan–butan*. Biuletyn ITN Nr 1/2005.
- [4] JAKÓBIEC J., JANIK R., OLSZEWSKI W., MACIĄG A.: *Ocena zmian właściwości użytkowych oraz składu chemicznego olejów smarowych w trakcie eksploatacji w aspekcie zagrożenia dla środowiska naturalnego*. Materiały II Międzynarodowej Konferencji Naukowo–Technicznej „Problemy recyklingu”, Recykling 2002 – Rogów 2002.
- [5] JAKÓBIEC J.: *Ocena eksploatacyjna nowej generacji płynów chłodzących do chłodziw samochodowych*. Nafta Gaz 1999, Nr 12.
- [6] JAKÓBIEC J., WYSOPAL G.: *Zmiana właściwości użytkowych olejów silnikowych w warunkach eksploatacji*. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 2001, Nr 83.
- [7] JAKÓBIEC J.: *Dwugłos w sprawie doboru oleju silnikowego*. Taksówkarz Polski 2003, Nr 5.
- [8] JAKÓBIEC J.: *Dobór oleju silnikowego układu wewnętrznego chłodzenia tłoka silnika spalinowego*. Technika Transportu Szynowego 1997, Nr 7/8.
- [9] JAKÓBIEC J., URZĄDOWSKA W., WYSOPAL G.: *Badania eksploatacyjne olejów silnikowych klasy SJ/CF SAE 15W/40 i SJ/CF SAE 10W/40 w samochodach marki Polonez, Caro GLI*. Dokumentacja ITN Nr 3401/2000.
- [10] JAKÓBIEC J., URZĄDOWSKA W., WYSOPAL G., KRASODOMSKI W.: *Badania eksploatacyjne oleju silnikowego Platinum MaxEnergy SL/CF SAE 5W/40 produkcji ORLEN OIL Sp. z o.o.* Dokumentacja ITN Nr 3456/03.
- [11] JAKÓBIEC J., WYSOPAL G.: *Bazy olejowe – trendy rozwoju w kraju i na świecie*. Nowoczesny Warsztat 2005, Nr 5.
- [12] JAKÓBIEC J.: *Smarowanie silników o ZI zasilanych paliwem gazowym propan–butan (LPG)*; IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa Silniki Gazowe’97; Konstrukcja– Badania–Eksploatacja Vysne Ružbachy 1997
- [13] JAKÓBIEC J.: *Ocena eksploatacyjna oleju smarowego do silników zasilanych gazem propan–butan*. Materiały II Międzynarodowego Seminarium Naukowo–Technicznego „Wybrane problemy w budowie i eksploatacji maszyn”, Politechnika Białostocka i Akademia Górniczo–Hutnicza, Białystok 2002.

Factors influencing degree of degradation of motor oil during exploitation time

S u m m a r y

The paper contains information concerning actual requirements in the area of modern motor oil quality shaping in some contemporaneous constructions of car engines. This work also presents the influence of specified factors on motor oils degradation during their exploitation and criteria of choosing parameters for their evaluation.