

Wiesława Urzędowska, Zbigniew Stępień

Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Eksploatacja olejów smarowych w silnikach z zapłonem iskrowym, zasilanych LPG

W artykule krótko omówiono najistotniejsze zagadnienia związane z eksploatacją nowoczesnych olejów smarowych w silnikach z zapłonem iskrowym (ZI), zasilanych alternatywnie LPG. Zwrócono uwagę na odmienne wymagania stawiane takim olejom, biorąc pod uwagę warunki eksploatacji jakim podlegają, a równocześnie brak jakiegokolwiek uznanej, obligatoryjnej specyfikacji jakościowej olejów przeznaczonych do smarowania silników zasilanych LPG, co utrudnia ich optymalne dostosowanie do tego typu zasilania. Poruszono kwestie rodzaju i istoty kryteriów jakimi należy się posługiwać przy opracowywaniu technologii i „dobieraniu” olejów smarowych przeznaczonych do silników z ZI zasilanych LPG; z uwzględnieniem zarówno wymagań konstrukcyjnych samego silnika, jak i generacji zastosowanego układu zasilania.

Operating of lubricating oil in spark ignition engines fuelling by LPG

The paper short describes significant problems related to operating of modern lubricating oils in spark ignition engines alternatively fuelling by LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). Special attention has been focused on diverse requirements which these kind of lubricating oils have to met, taking into account service conditions and simultaneously lack of any recognized, mandatory quality oil specification designed for spark ignition engines fuelling by LPG. This issue make difficult to optimize lubricating oil to this type of engine fuelling. It has been raised question of kind and criterions which should be taken into account developing technology and matching lubricating oils designed for spark ignition engines fuelling by LPG, making allowance both for engine constructions requirements and generation of used feed system.

Wstęp

Opracowywanie współczesnych silnikowych olejów smarowych wymaga ścisłej współpracy ich wytwórców z producentami silników. Coraz bardziej skomplikowane konstrukcje silników, nieustanny postęp w zakresie stosowanych do ich produkcji materiałów i technologii, dotyczący zwłaszcza metod obróbki mechanicznej, w połączeniu ze wzrastającymi obciążeniami mechanicznymi i cieplnymi oraz dużą ilością złożonych systemów współpracujących z jednostkami napędowymi, stawiają nieustannie rosnące, a zarazem zróżnicowane wymagania olejom smarowym [13]. Oczekuje się, aby olej silnikowy nie tylko minimalizował skutki różnych postaci zjawiska tarcia i wydłużał przebiegi międzynaaprawcze silników, ale także korzystnie wpływał na ich ekonomię pracy oraz ograniczenie emisji składników szkodliwych do atmosfery. Różnorodność środków techniczno-technologicznych oraz synergizmów ich działania, jakie konstruktorzy silników wykorzystują do osiągnięcia poprawy ich właściwości pro-ekologicznych i użytkowo-eksploatacyjnych, wymagają szeroko pojętej optymalizacji właściwości oleju smarowego. Wszystko to sprawia, że niezbędne jest wprowadzanie niekonwencjonalnych formułacji

w ciągłym rozwoju technologii produkowanych olejów. Ewidentnym dowodem na to, że jak duża precyzją musi być dobrany olej smarujący do konkretnych rozwiązań wysoko zaawansowanych technologicznie silników, są coraz częściej wprowadzane przez ich producentów własne normy jakościowe dla olejów, stanowiące podstawę do określania ich indywidualnych specyfikacji, z przeznaczeniem do konkretnego zespołu napędowego. Globalne dążenie do ograniczenia emisji CO₂ oraz odmienne w różnych częściach świata, a zarazem nieustannie zaostrzane przepisy w zakresie ograniczania emisji składników szkodliwych do atmosfery sprawiają, że – dążąc do tworzenia silników jak najbardziej sprawnych, ekonomicznych, o wysokich parametrach użytkowo-eksploatacyjnych i przyjaznych dla środowiska – niezbędne jest indywidualne rozwiązywanie zagadnień związanych ze sposobem ich smarowania i preferowanymi właściwościami olejów, stosowanych do ich smarowania. Zatem coraz częściej dobór oleju smarowego w oparciu o uniwersalne specyfikacje jakościowe jest niewystarczający i wymaga zastosowania własnych specyfikacji producentów silników, ściślej dostosowanych do ich produktów oraz do

warunków w jakich mają być eksploatowane [13]. Oczywiście rozbieżności w konstrukcji i sposobie eksploatacji między silnikami samochodów osobowych i użytkowych ciężarowych sprawiają, że stosowane do ich smarowania oleje są różne i nie mogą być stosowane zamiennie, co znajduje też odzwierciedlenie w zupełnie innych specyfikacjach jakim muszą odpowiadać i procedurach oceny ich jakości, jakim podlegają. W konsekwencji, proporcje – zwłaszcza w zakresie ilości dodatków przeciwzużyciowych, detergentowych, antyutleniających oraz dyspergatorów bezpopiołowych – są zupełnie różne w wymienionych grupach olejów i ulegają ciągłym weryfikacjom.

Powyżej opisane problemy dodatkowo komplikuje coraz szersza oferta nowych silników; dwu- lub nawet trójpaliwowych, o specjalnie opracowanych przez ich producentów konstrukcjach, lub silników przystosowanych już podczas eksploatacji do możliwości zasilania drugim paliwem (poza tym, do jakiego dostosował go producent). Powodem takiej sytuacji jest przede wszystkim dążenie do ograniczenia kosztów eksploatacji pojazdów, a typowym przykładem są silniki z zapłonem iskrowym przystosowane na rynku wtórnym do zasilania LPG (*Liquid Petroleum Gas* – skroplony gaz ropopochodny, stanowiący mieszaninę propanu i butanu) [11]. Do tej pory nie opracowano jednak żadnej międzynarodowej

specyfikacji jakościowej olejów przeznaczonych do smarowania silników zasilanych LPG, co utrudnia ich optymalne dostosowanie do tego typu zasilania.

Dynamiczny rozwój rynku gazu płynnego w Polsce po roku 1990 spowodował szczególne zainteresowanie rozwiązaniami dwupaliwowych systemów zasilania silników pojazdów samochodowych. Popularność LPG jako alternatywnego paliwa do zasilania silników z ZI spowodowała, że w krótkim czasie Polska wysunęła się na czołowe miejsce w Europie pod względem liczby samochodów wyposażonych w instalacje LPG. Bardzo szybko pojawił się problem olejów silnikowych wskazanych do stosowania przy tego rodzaju paliwie. Niewielkie doświadczenie w tej tematyce w latach 90. w Europie nie ułatwiało użytkownikom rozwiązywania problemów eksploatacyjnych.

Pomimo że do chwili obecnej nie opracowano wspomnianej, nieustannie oczekiwanej klasyfikacji jakościowej, wielu producentów środków smarowych oferuje oleje ze specjalnym przeznaczeniem do smarowania silników zasilanych LPG – co świadczy o dużym zapotrzebowaniu na takie produkty, a zarazem o indywidualnym, swobodnym podejściu przez poszczególnych wytwórców do kryteriów oraz zakresów właściwości jakie powinien spełniać przedmiotowy olej.

Rozwój systemów zasilania LPG w aspekcie smarowania silników

LPG stanowi mieszaninę skroplonych gazów; najczęściej propanu i butanu. Propan charakteryzuje się wyższą liczbą oktanową, wartością opałową i prężnością par w stosunku do butanu. Proporcje udziału wymienionych gazów w mieszaninie są zależne od warunków eksploatacji pojazdu, w tym przede wszystkim od warunków klimatycznych i pory roku. W LPG stosowanym w Polsce zimą udział propanu powinien być wyższy; z uwagi na właściwości rozruchowe, ponadto duży procentowy udział butanu powoduje w stanach wymuszonych przyspieszeń wypadanie zapłonów i pogarsza elastyczność silnika. Z kolei duża zawartość propanu jest niekorzystna w wysokich temperaturach otoczenia. Z uwagi na względy ekologiczne, całkowita zawartość dienów (węglowodórów z dwoma wiązaniami podwójnymi) w LPG nie może przekraczać 0,5% (PN-EN 589), ponadto dieny powodują destrukcję elastomerów. Wymagania ekologiczne oraz właściwości korozyjne nie dopuszczają też zawartości siarkowodoru w LPG, a zawartość siarki z analogicznych przyczyn nie może przekraczać 50 mg/kg [12]. Ze względu na to, że wartość opałowa LPG (25,5 kJ/dm³

dla gazu skroplonego) jest niższa od analogicznej dla benzyny (32,1 kJ/dm³) [6], średnie zużycie płynnego gazu jest zazwyczaj wyższe o około 20-30% niż benzyny. Stosowane obecnie systemy zasilania, biorąc pod uwagę ich cechy konstrukcyjne oraz sposób działania (miejsce i stan skupienia wtryskiwanego płynu), mogą w znaczący sposób wpływać na tworzenie mieszanki palnej, stabilność utrzymywania jej składu i przebieg spalania, co wiąże się z warunkami pracy smarowego oleju silnikowego.

Systemy zasilania LPG dzielą się zasadniczo na pięć generacji. W przypadku I generacji, stosowanej do zasilania silników gaźnikowych, substancja odparowywana jest w dwustopniowym reduktorze-parowniku, a następnie zasysana przez podciśnienie panujące w kolektorze dolotowym. Podobnej konstrukcji systemy zasilania II generacji, kojarzone z silnikami z jednopunktowym wtryskiem paliwa, różnią się jedynie tym, że zasysany gaz musi przepłynąć przez elektroniczny zawór, sterowany w zależności od prędkości obrotowej, uchylenia przepustnicy i sygnału czujnika stężenia tlenu. System zasilania LPG III generacji (nadcisnieniowy) został skonstruowany do

silników z pośrednim, wielopunktowym wtryskiem benzyny. W tym przypadku gaz doprowadzany jest pod ciśnieniem 0,07 MPa wielopunktowo, za pomocą elektronicznie sterowanego rozdzielacza, przed zawory dolotowe. Systemy IV generacji są skonstruowane podobnie do układów wielopunktowego wtrysku benzyny. Mieszanka propanu i butanu w fazie gazowej wtryskiwana jest wielopunktowo przez indywidualne wtryskiwacze do kanałów dolotowych poszczególnych cylindrów silnika na podstawie sygnałów pobieranych z wtryskiwaczy benzyny; co jest określane jako sekwencyjny wtrysk gazu. W najnowszej, V generacji (LPI – *Liquid Propane Injection*), dokonywany jest sekwencyjny wtrysk gazu w fazie ciekłej do kanałów przed zawory dolotowe komór spalania silnika. Omówione systemy pozostają w sferze dalszego rozwoju [6, 12]. Wysoka liczba oktanowa mieszanki stechiometrycznej LPG (LOM w zakresie 110÷115), ogranicza niebezpieczeństwo występowania spalania stukowego i zapewnia łagodny oraz płynny przebieg procesu spalania, czemu sprzyja duża jednorodność mieszanki tworzonej z powietrzem.

W przypadku pierwszych czterech generacji systemów zasilania LPG, paliwo doprowadzane jest do komór spalania w postaci gazowej, co eliminuje niekorzystne zjawisko zmywania filmu olejowego z powierzchni roboczych tulei cylindrowych i ma szczególnie duże znaczenie podczas rozgrzewania silnika. W rezultacie nie występuje też niepożądane rozcieńczanie oleju smarowego paliwem. Zasilanie paliwem gazowym w sposób zasadniczy ogranicza tworzenie osadów węglowych, gromadzących się przede wszystkim na elementach komór spalania. Wyżej wymienione zalety zasilania gazowego przyczyniają się do zmniejszenia procesów zużycia silnika, co wydłuża okres jego eksploatacji [7].

Wyższy współczynnik nadmiaru powietrza przy spalaniu paliwa gazowego (15,7 dla stechiometrycznej mieszanki powietrza z LPG, względem 14,7 dla benzyny) sprawia, że procesy spalania tego pierwszego przebiegają przy znacznie wyższej temperaturze, czemu sprzyja też brak efektu chłodzenia komór spalania – charakterystycznego dla paliw ciekłych. W przypadku paliw ciekłych, przedostające się do komór spalania kropelki drobno rozpylonej np. benzyny, na skutek odparowywania obniżają temperaturę ładunku mieszanki paliwowo-powietrznej, podlegającej następnie procesowi spalania [9]. Dodatkowo, eksploatacja pojazdu w warunkach wysokich temperatur zewnętrznych i częstych postojów w korkach miejskich może prowadzić do przegrzewania się silnika i związanych z tym następstw, w tym przyspieszonej de-

gradacji oleju smarowego. Wyższa średnia temperatura pracy silnika zasilanego LPG sprzyja zwiększonemu zużyciu oleju smarowego. W wyniku wysokich temperatur w komorach spalania, szybszej degradacji (spaleniu) ulega warstwa oleju pokrywająca powierzchnie robocze tulei cylindrowych, a równocześnie bardziej rozgrzany olej łatwiej spływa po trzonkach zaworów do komór spalania, gdzie równocześnie swobodniej przedostaje się (na skutek pompowania) powyżej pierścieni tłokowych. Wysokie temperatury spalania, w połączeniu z brakiem właściwości smarnych „suchego” paliwa gazowego, powodują przyspieszony proces tzw. recesji gniazd zaworów wylotowych, polegający na ich osiadaniu – co z biegiem czasu prowadzi do utraty szczelności pomiędzy przylgniami wymienionych zaworów i ich gniazd. W związku z tym, w przypadku zasilania LPG zaleca się stosowanie stellitowych, a nawet ceramicznych gniazd zaworowych. Wyżej opisane uwarunkowania sprzyjają, ogólnie rzecz biorąc, powstawaniu środowiska o utrudnionym smarowaniu (zwłaszcza w systemach mieszalnikowych, tj. I i II generacji), co może prowadzić do zwiększonego zużycia niektórych kluczowych elementów roboczych silnika. Warto podkreślić, że w przypadku systemów zasilania LPG I, II i III generacji często występują (z powodów konstrukcyjnych, eksploatacyjnych, regulacyjnych i montażowych) trudności w utrzymaniu właściwego składu mieszanki gazowo-powietrznej, co prowadzi do jej nadmiernego zubożenia – skutkującego dodatkowym wzrostem temperatur spalania w komorach silnika [1]. W mieszalnikowych systemach I i II generacji, często przy eksploatacji pojazdu na krótkich odcinkach, zwłaszcza w warunkach niskich temperatur otoczenia, może dochodzić do podawania gazu w fazie ciekłej, na skutek zbyt niskiej temperatury odparowywacza-reduktora (parownika), co powoduje jego zamarzanie, a równocześnie negatywnie wpływa na proces smarowania układu korbowo-tłokowego silnika.

Systemy zasilania LPG V generacji realizują proces dostarczania gazu w postaci ciekłej do kolektorów dolotowych silnika poprzez wtryskiwacze sterowane impulsami elektrycznymi w systemie sekwencyjnym lub ciągłym, analogicznie jak to ma miejsce w przypadku pośredniego układu wtrysku benzyny. Z uwagi na to, że rozprężanie gazu w kolektorach dolotowych wiąże się z pochłanianiem dużej ilości ciepła, sprzyja to lepszemu napełnieniu komór spalania silnika i zbliża sposób tworzenia mieszanki oraz parametry pracy silnika, do zasilanego benzyną. Przy takim rozwiązaniu systemu zasilania, temperatury procesu spalania są niższe niż w przypadku

systemów zasilania LPG I, II, III i IV generacji, a ponadto skład mieszanki paliwowo-powietrznej jest utrzymywany w sposób bardziej stabilny, co przekłada się na niższe średnie temperatury pracy silnika, a zatem na wolniejszą termiczną destrukcję oleju smarowego. Układy tego rodzaju są jednak bardzo kosztowne i w Polsce mało spopularyzowane [8, 10].

Zagrożenia, jakim podlega olej smarujący silnik zasilany LPG

Sukcesywnie zwiększające się wysilenie silników i ograniczanie ich masy skutkuje wzrostem nacisków jednostkowych we współpracujących parach roboczych (tłoków i tulei cylindrowych, korbowodów i czopów wału korbowego, elementów mechanizmów rozrządu zaworowego itp.), a związane z tym zmniejszanie wymiarów silników sprawia, że galerie i kanały olejowe są coraz węższe i bardziej skomplikowane. Olej smarujący ma rosnący wpływ na osiągi silnika, jego właściwości użytkowe, niezawodność, trwałość i wielkość emisji szkodliwych składników do atmosfery, zatem jego skład jest coraz bardziej złożony, a zarazem musi być wielokierunkowo optymalizowany; z uwzględnieniem cech konstrukcyjnych, warunków eksploatacji konkretnego silnika i rodzaju stosowanego paliwa [13]. Zasilanie silnika z ZI za pomocą LPG powoduje, że olej silnikowy jest dodatkowo stale narażony na działanie wielu czynników, w tym zwłaszcza podwyższonej (w wielu przypadkach w sposób znaczny) średniej temperatury procesów spalania, a zatem i silnika, oraz wysokiego ciśnienia. Czynniki te w istotny sposób przyspieszają procesy utleniania i różnorodne wielokierunkowe formy degradacji oleju, skutkujące niekorzystnymi zjawiskami oraz nasileniem zużycia elementów silnika. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym utlenianiu oleju jest podwyższona ilość tlenu zawartego w mieszance paliwowo-powietrznej podlegającej spalaniu (wyższy współczynnik nadmiaru powietrza w przypadku spalania LPG, względem benzyny). Specyficzne warunki tzw. „suchego” spalania, charakterystyczne dla zasilania silnika LPG, o czym już wcześniej wspomniano, sprawiają, że szczególnego znaczenia nabiera zjawisko utleniania, przebiegające w cienkiej warstwie oleju, oddzielającej powierzchnie elementów współpracujących przy tarcii ślizgowej, na zintensyfikowanie którego wpływa podwyższona temperatura części smarowanych. Z taką sytuacją mamy do czynienia w przypadku cienkiej warstwy oleju smarowego pokrywającego powierzchnie tulei cylindrowych i pierścieni współpracujących z nimi tłoków, lub w przypadku warstwy oleju smarującego

Dostępny w Polsce LPG często jest bardzo zsiarzony i zanieczyszczony, co sprzyja rozwojowi procesów korozyjnych elementów układu zasilania i silnika, równocześnie intensyfikując procesy zużycia. Ma to wpływ na awaryjność, trwałość i problemy eksploatacyjne układów zasilania LPG, zwłaszcza wyższych generacji, wymagających stosowania gazu o stabilnych właściwościach użytkowych.

trzonki zaworów wylotowych. Tu przyczyną osłabiania zdolności nośnej i smarnej warstewki olejowej jest przegrzewanie silnika, które może być szczególnie niebezpieczne w okresie rozruchu, a następnie rozgrzewania silnika, prowadząc do utraty warstwy honowanej, czyli charakterystycznych śladów obróbki powierzchni tulei cylindrowej za pomocą szlifowania. Konsekwencją jest utrata filmu olejowego i lawinowe zużycie pierścieni tłokowych, tłoków i tulei cylindrowych. W tych warunkach maleje też zdolność odbudowy warstwy smarującej na gorących elementach silnika. Opisane wyżej zjawiska przyczyniają się do zwiększenia zużycia oleju smarowego przez silnik, zwłaszcza w przypadku pojazdów o dużych przebiegach, czemu dodatkowo sprzyja intensywniejsze odparowanie oleju w podwyższonych temperaturach jego eksploatacji. Oddziaływanie gorących gazów spalinowych silnika zasilanego LPG z olejem smarowym powoduje tworzenie się substancji kwaśnych. Wzrost zawartości substancji kwaśnych jest zarówno wskaźnikiem degradacji oleju i wyczerpywania się dodatków nadzasadowych, jak też może być przyczyną przyspieszonej korozji i zwiększenia szybkości zużycia elementów silnika. Obniżenie zawartości składników zasadowych oleju silnikowego, w tym dyspergatorów bezpopiołowych, wpływa na tworzenie się agregatów zawieszonych cząstek; nierzadko będących materiałem ściernym (np. sadza) – co prowadzi do powstawania osadów i zwiększania zużycia elementów silnika. W tych warunkach liczba zasadowa oleju spada bardzo szybko, co prowadzi do utraty zdolności neutralizacji substancji o charakterze kwasów przez olej, a następnie do zmiany jego odczynu na kwaśny. W przypadku systemów zasilania LPG generacji I i II, zwłaszcza w niekorzystnych warunkach eksploatacji silnika; może dochodzić do przegrzewania komór spalania i całego silnika, co będzie prowadzić do wzrostu lepkości oleju, a w skrajnych przypadkach – do tworzenia w nim osadów szlamowych. Postępujące z większą progresją procesy nitratacji i utleniania oleju smarowego powodują przyrost produktów kwaśnych – oddziałujących

korozyjnie na stopy łożyskowe, z których wykonane są panewki łożysk ślizgowych wału korbowego i korbowodów. Rozpatrując procesy utleniania i degradacji oleju smarowego w rozważanych warunkach zasilania należy pamiętać, że nie powstaje tu zjawisko rozcieńczania oleju paliwem, które występuje w fazie gazowej. Rów-

nocześnie, w wyniku spalania paliwa gazowego powstaje znikoma ilość produktów węglowych, a zatem sadzy i różnego rodzaju osadów na elementach silnika. Zatem olej silnikowy jest w znacznie mniejszym stopniu obciążany produktami spalania o właściwościach ściernych, stwarzających duże zagrożenie dla tulei cylindrowych.

Szczególne wymagania stawiane olejom smarowym do silników zasilanych LPG

Zakres zmian technologicznych i konstrukcyjnych silników, koniecznych dla osiągnięcia limitów kolejnych „Euro”, jest coraz większy. Ponadto na przedmiotowe zmiany duży wpływ mają też oczekiwania użytkowników, które zakładają między innymi ograniczenie kosztów eksploatacji; poprzez zmniejszenie zużycia paliwa, możliwość zastosowania paliw alternatywnych, wydłużenie okresów między obsługami i wymianami oleju smarującego.

W świetle powyższych spostrzeżeń należy domniemywać, że w najbliższej przyszłości podstawowe wymagania i oczekiwania jakim będą musiały sprostać oleje smarowe do silników samochodów użytkowych, niezależnie od rodzaju paliwa stosowanego do ich zasilania, będą prowadzić do:

- dalszego ograniczenia tarcia między współpracującymi elementami silników (poprawy sprawności mechanicznej),
- wydłużonej trwałości oleju (w tym uszlachetniających go dodatków) podczas eksploatacji,
- zachowywania dużej stabilności właściwości użytkowych olejów w różnych warunkach ich eksploatacji podczas całego okresu między jego wymianami,
- ograniczenia emisji składników szkodliwych do atmosfery,
- kompatybilności z systemami wtórnej obróbki spalin.

Jak wiadomo, w przypadku silników z ZI olej smarowy musi w pierwszym rzędzie utrzymywać wymaganą lepkość i obojętne środowisko, skutecznie neutralizując kwaśne substancje, będące wynikiem procesów spalania. Rozważając formułacje olejów przeznaczonych do silników z ZI zasilanych LPG należy pamiętać, że będą one eksploatowane w specyficznych warunkach, które omówiono powyżej i że wymagania współczesnych jednostek napędowych wykluczają możliwość opracowywania efektywnych olejów uniwersalnych, odpowiednich dla różnych silników, niezależnie od ich konstrukcji i stosowanego do ich zasilania paliwa.

Opracowując olej do silników z ZI zasilanych LPG nie należy zapominać o wymaganiach producentów samocho-

dów, odnoszących się do klas lepkości i norm jakościowych oleju, tym bardziej, że takowe (jak dotychczas) nie zostały określone dla olejów przeznaczonych do silników zasilanych gazem. W środowisku pracy oleju charakterystycznym dla silników z ZI zasilanych LPG wymagane jest stosowanie zarówno odpowiednio dobranych baz olejowych, jak i pakietów dodatków uszlachetniających – współdecydujących o intensywności oraz kierunkach procesów destrukcji finalnego produktu [2]. Zatem biorąc pod uwagę wysokie średnie temperatury pracy silnika i znaczny udział tlenu w tworzonej, palnej mieszance gazowo-powietrznej, wskazane jest zastosowanie baz olejowych o wyższej naturalnej odporności na utlenianie, podlegających mniejszej degradacji w warunkach zasilania silnika LPG. Nie ulega wątpliwości, że lepsze parametry w rozważanym zakresie mają bazy syntetyczne, albowiem zapewniają większą stabilność zachowania lepkości, są mniej skłonne do utleniania i odparowania, a zatem są bardziej odporne na spalanie. Niezbędne jest też uwzględnienie w składzie pakietów dodatków uszlachetniających bardziej efektywnych inhibitorów utleniania, przeciwdziałających procesom utleniania składników bazy olejowej oraz jej rozkładu (w rezultacie działania wysokich temperatur). Optymalizacja doboru inhibitorów utleniania pozwoli też na spowolnienie procesów prowadzących do zwiększenia lepkości oleju, liczby kwasowej oraz wytrącania osadów, jako produktów utleniania. Jak wcześniej wykazano, w czasie pracy oleju silnikowego, w wyniku jego kontaktu z produktami o charakterze kwaśnym (powstającymi zarówno podczas spalania LPG, jak i na skutek procesów utleniania składników oleju powietrzem w wysokiej temperaturze), następuje stopniowy spadek całkowitej liczby zasadowej; związany początkowo z neutralizacją kwaśnych produktów degradacji, a w końcu z wytrącaniem substancji nierozpuszczalnych w oleju. Z uwagi na to, że powstające kwaśne produkty utleniania oleju przyrastają z większą intensywnością, aniżeli ma to miejsce w przypadku silników zasilanych benzyną; dla zneutralizowania wskazanych produktów utleniania wymagana jest duża rezerwa alkaliczna oleju,

przy stosunkowo niskim poziomie popiołu (ze względu na konstrukcje ZI). W związku z tym niezwykle ważny jest dobór dodatków detergentowo-dyspergujących tak, aby – wnosząc do oleju smarowego niski popiół – zachowały w zakresie zalecanego okresu eksploatacji oleju zdolność neutralizacji kwaśnych produktów degradacji, utrzymując równocześnie wysoką skuteczność w czasie założonego przebiegu eksploatacyjnego. Równoległym działaniem powinno być zapobiegawcze zastosowanie odpowiednich inhibitorów korozji i rdzewienia, przeciwdziałających korozji stopów metali kolorowych (np. panewek łożysk ślizgowych), rdzewieniu stopów żelaza, z których wykonane są elementy silników oraz hamujących procesy korozji chemicznej. Wysokie średnie temperatury pracy silnika sprzyjają przyspieszeniu pro-

cesu odparowywania lekkich składników bazy olejowej, a zarazem degradacji właściwości użytkowych oleju, zwłaszcza w jego cienkiej warstwie smarnej, pokrywającej kluczowe powierzchnie robocze silnika. W celu ograniczenia tych niekorzystnych zjawisk należy do baz olejowych dobierać odpowiednie modyfikatory lepkości oraz dodatki przeciwzużyciowe, dla uzyskania wymaganego wskaźnika lepkości oraz ograniczenia wielkości zużycia oleju i elementów samego silnika. Biorąc pod uwagę ogólne zalecenia stawiane nowoczesnym środkiem smarowym oraz rozważane warunki eksploatacji oleju, zwłaszcza w obszarze cienkiej warstwy smarnej, duże znaczenie będzie miał właściwy dobór dodatków smarnościowych – w tym w szczególności dodatków przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych.

Doświadczenia INiG w zakresie oceny właściwości użytkowo-eksploatacyjnych olejów smarowych do silników zasilanych LPG

W roku 1993 Instytut zainteresował tematyką olejów smarowych do silników z ZI, zasilanych LPG, największych krajowych producentów środków smarowych. Już w kolejnym roku Instytut prowadził badania eksploatacyjne pojazdów z zastosowaniem LPG jako paliwa do silników z ZI wyposażonych w systemy zasilania I generacji. Dla celów porównawczych pojazdy wyposażone w takie same jednostki napędowe eksploatowano na benzynie silnikowej [3]. Do smarowania silników stosowano handlowy (przeznaczony do silników ZI) mineralny olej smarowy klasy SG. Wyniki badań wykazały, że stopień degradacji oleju silnikowego po 15 tys. km przebiegu przy zasilaniu pojazdu LPG był porównywalny z olejem po eksploatacji na dystansie 20 tys. km przy zasilaniu benzyną. Praktycznie wszystkie istotne właściwości oleju silnikowego w równym stopniu uległy wyczerpaniu. Kolejne badania eksploatacyjne przeprowadzono przy stosowaniu do smarowania silnika półsyntetycznego oleju silnikowego w klasie SG, a paliwo stanowił LPG, zasilający jednostkę napędową przy wykorzystaniu systemu II generacji [4]. W przypadku powyższego programu badań, olej silnikowy wyczerpał potencjał eksploatacyjny w zakresie odporności na utlenianie w przedziale 10-15 tys. km oraz zdolność do zobojętniania kwaśnych substancji po przebiegu powyżej 10 tys. km, po którym stwierdzono równocześnie progresywnie postępującą utratę właściwości przeciwkorozyjnych.

Rezultaty przytoczonych programów badawczych jednoznacznie wskazały, że olej silnikowy opracowany dla silników zasilanych benzyną może posiadać potencjał

eksploatacyjny niewystarczający przy stosowaniu jako paliwa LPG. Instytut, odpowiadając na zapotrzebowanie producentów olejów silnikowych oraz ich użytkowników, podjął się opracowania technologii olejów smarowych do silników zasilanych LPG. W wyniku przeprowadzonych prac powstały zarówno oleje mineralne, jak i półsyntetyczne, dla czołowych producentów krajowych. Produkty te zostały pozytywnie zweryfikowane w zakresie właściwości użytkowych; najpierw w badaniach eksploatacyjnych, a następnie w warunkach rzeczywistej eksploatacji prowadzonej przez użytkowników. Kolejne lata przyniosły nowe rozwiązania konstrukcyjne silników oraz odpowiadające ich wymaganiom systemy zasilania LPG. Równocześnie wprowadzenie systemu zarządzania jakością olejów silnikowych w Stanach Zjednoczonych, a wkrótce potem w Europie, diametralnie ograniczyło możliwości INiG w zakresie samodzielnego opracowywania technologii. W nowej sytuacji, wykorzystując wiedzę i doświadczenia swoich specjalistów, Instytut nadal współpracował z producentami olejów silnikowych, realizując kolejne projekty badań eksploatacyjnych, mające na celu określenie przydatności eksploatacyjnej handlowych nowoczesnych olejów silnikowych do silników ZI, przy stosowaniu LPG jako paliwa. Przeprowadzono między innymi badania syntetycznych olejów silnikowych klasy SL [5] w zastosowaniu do smarowania nowoczesnych silników zasilanych LPG, poprzez systemy III i IV generacji. Uzyskane w INiG wyniki wykazały, że dla tej grupy produktów utrata odporności oleju na utlenianie w cienkiej warstwie (w przypadku zasilania LPG) jest

znacznie intensywniejsza niż w przypadku zasilania benzyną. Zwracają też uwagę silniejsze przemiany chemiczne oleju smarowego w wyniku nitracji. Dowodzi to istotne-

go, destrukcyjnego wpływu niekorzystnych warunków termicznych – charakterystycznych dla silników zasilanych LPG – na właściwości użytkowe oleju smarowego.

Podsumowanie

Szybko postępujące zmiany w konstrukcji silników spalinowych, mające na celu między innymi poprawę ich sprawności mechanicznej, jak i maksymalne ograniczenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego, wymuszają na producentach środków smarowych opracowywanie olejów przeznaczonych do określonych zespołów napędowych już na etapie ich konstruowania. Równoczesne dążenie do możliwości zamiennego eksploatacji silników na dwóch paliwach wymaga bezwzględnego rozpoznania i uwzględnienia zmian warunków eksploatacji oleju smarowego, wynikających z zastosowania do zasilania silnika innego paliwa aniżeli to, jakie zaleca jego producent. Przedstawione w pracy zagadnienia związane

z konsekwencjami zamiennego wykorzystywania LPG jako paliwa do zasilania silników z ZI, dla jakościowych i ilościowych zmian właściwości użytkowych olejów smarowych, dowodzą istnienia problemów, których rozwiązanie wymaga zastosowania odpowiednich olejów, przeznaczonych do współdziałania z LPG. Optymalne rozwiązywanie wymienionych problemów poprzez opracowywanie wymaganych kompozycji i technologii wytwarzania olejów smarowych jest znacznie utrudnione, na skutek braku jakiegokolwiek uznanej, międzynarodowej specyfikacji jakościowej olejów przeznaczonych do smarowania silników zasilanych LPG. Zatem zagadnienie to pozostaje do rozwiązania.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodomski

Literatura

- [1] Burnicle D.: *Gas attack. Gas – powered vehicle into the future*. Engine Technology International 6, 2000.
- [2] Chłobowski K., Urzędowska W.: *Olej silnikowy do samochodowych silników zasilanych gazem propan-butan*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej, Ustroń, marzec 1998.
- [3] Jakóbiec J., Urzędowska W., Wysopal G.: *Badania eksploatacyjne oleju silnikowego SG 15W/40 w samochodach marki Polonez-Caro zasilanych gazem płynnym propan-butan*. Dokumentacja ITN nr 3075, 1996.
- [4] Jakóbiec J., Urzędowska W., Wysopal G.: *Badania eksploatacyjne półsyntetycznego oleju silnikowego SG 10W/40 w samochodach marki Polonez-Caro zasilanych gazem płynnym propan-butan*. Dokumentacja ITN nr 3094, 1997.
- [5] Jakóbiec J., Urzędowska W.: *Ocena efektywności smarowania olejem silnikowym prod. Grupy Lotos S.A. silników wyposażonych w nowoczesny układ zasilania gazem*. Dokumentacja ITN nr 4006, 2006.
- [6] Kneba Z., Makowski S.: *Zasilanie i sterowanie silników*. WKŁ, 2004.
- [7] Latusek J. P., Burrahm R. W.: *Conversion of Two Small Utility Engines to LPG Engines to LPG Fuel*. SAE Paper No. 932447.
- [8] Lejda K., Jaworski A., Ustrzycki A.: *Wpływ parametrów sekwencyjnego wtrysku ciekłego LPG na wybrane parametry użytkowe silnika spalinowego*. Silniki Spalinowe nr 3, 2007.
- [9] Luft S.: *Podstawy budowy silników*. WKŁ, 2003.
- [10] Sierens R.: *An Experimental and Theoretical Study of Liquid LPG Injection*. SAE Paper No. 922363.
- [11] Sinor J. E.: *Technical Evaluation and Assessment of CNG/LPG Bi-Fuel and Flex-Fuel Vehicle Viability*. Consultance, Inc. Niwot CO, maj 1994.
- [12] Stępień Z.: *Ocena istotności przekroczenia parametrów jakościowych paliw płynnych, LPG i biopaliw z punktu widzenia pracy silnika i wpływu na środowisko*. Materiały szkoleniowe, szkolenie dla pracowników Polskiej Izby Paliw Płynnych, 23-25.09.2008.
- [13] Urzędowska W., Stępień Z.: *Zagadnienia eksploatacji środków smarowych w urządzeniach przemysłowych, transporcie i komunikacji*. Materiały Międzynarodowej Konferencji, Ryto 6-8.05.2008.



Mgr inż. Wiesława URZĘDOWSKA – z-ca Kierownika Zakładu Oceny Właściwości Eksploatacyjnych INiG w Krakowie. Specjalista w zakresie oceny właściwości użytkowych paliw i środków smarowych. Kierownik i uczestnik licznych projektów badawczych na rzecz przemysłu rafineryjnego. Autor i współautor dokumentacji badawczych, projektów oraz patentów.



Dr inż. Zbigniew STĘPIEŃ – kierownik Pracowni Badań Silnikowych i Trybologicznych INiG w Krakowie. Specjalista m.in. w zakresie zjawisk będących wynikiem współdziałania silników z paliwami i olejami smarowymi. Kierownik i uczestnik wielu projektów badawczych. Autor i współautor opracowań, dokumentacji badawczych, projektów oraz patentów.