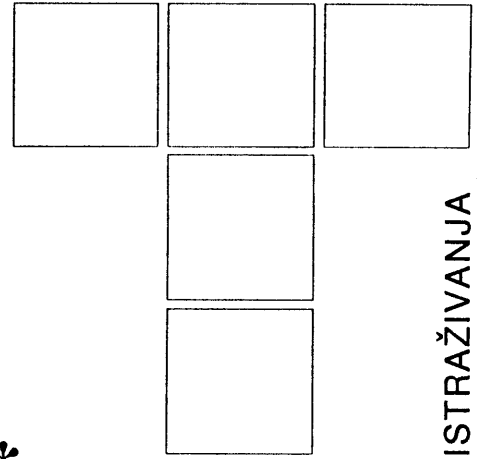


M. RAJKOVIĆ

Tribološki aspekti dijagnostike stanja mazivih ulja u mehaničkim sistemima*



1. UVOD

Sa tribološkog stanovišta mazivo je obavezni, treći element svakog tribomehaničkog sistema. Osnovni zadatak mu je da, u ulozi tribološkog sredstva, umanjuje negativne posledice neizbežnih triboloških procesa trenja i habanja. Međutim, osim podmazivanja, u složenim mehaničkim sistemima kao što je motor SUS, ono obavlja još četiri, ne manje važne funkcije:

Hlađenje, pranje, zaptivanje i zaštitu od korozije [1-4].

Vršeći svih pet navedenih funkcija, mazivo od početka upotrebe trpi složene hemijske i fizičke promene, što ima za posledicu umanjeње triboloških i drugih radnih svojstava, odnosno, degradaciju [3-15].

Pošto su oksidacija i kontaminacija maziva glavni uzročnici degradacije, smisao sistematske kontrole stanja tokom upotrebe jeste u otkrivanju vrsta i određivanju količina kontaminanata koji bi mogli da izazovu određene probleme u funkcionisanju mehaničkog sistema i ozbiljna oštećenja. Međutim, neočekivana pojava većih količina nekih kontaminanata u ulju, može biti posledica i znak neke neispravnosti na mehaničkom sistemu, što opravdava potrebu i potvrđuje značaj sistematske dijagnostike [3-15].

U najnovije vreme utvrđeno je da neki degradacioni proizvodi ulja mogu biti toksični i kancerogeni. Pošto njihova sinteza zavisi od hemijskog sastava maziva i dužine upotrebe, a njen intenzitet od katalitičkih svojstava delova mehaničkog sistema, dijagnostika stanja dobija dodatni zadatak i smisao [16-18].

Zbog svega rečenog, za analize ulja u toku upotrebe postoje dva važna razloga: Određivanje optimalnog in-

tervala upotrebe u određenim uslovima i otkrivanje neispravnosti na sistemu. Oba razloga imaju svoj tribološki, ekonomski i ekološki smisao [4, 5, 11-18].

2. KONTAMINACIJA MOTORNIH ULJA U TOKU UPOTREBE

Kontaminacija motornih ulja, a samim tim i degradacija (hemijske i fizičke promene baznih ulja i aditiva), odvijaju se od početka upotrebe. Kontaminacija započinje produžavanjem vrelih gasovitih proizvoda sagorevanja i nepotpunog sagorevanja goriva u karter, gde se mešaju sa uljem i izazivaju degradacione procese. Sastav gasova i intenzitet produžavanja zavise od kvaliteta goriva, kvaliteta sagorevanja i od stanja motora [4,5].

Degradacioni procesi ne mogu se sprečiti ali se mogu usporiti kontrolisanjem faktora koji ih uzrokuju. Faktori koji utiču na stvaranje kontaminanata su: Nesavršenost motora (tip, konstrukcione karakteristike, obrada kontaktnih površina, katalitička svojstva materijala), uslovi eksploatacije, kvalitet upotrebe, neispravnosti na motoru, kvalitet goriva i kvalitet ulja [4-11].

Mogući kontaminanti su: Čađ (čestice ugljenika), nesagorelo gorivo, oksidacioni proizvodi ugljovodonika (hidroksilne, karbonilne i karboksilne supstance), proizvodi sagorevanja sumpora (SO₂, SO₃), proizvodi oksidacije azota (NO_x), voda, antifriz, čestice metala, prašina, pesak i smolaste materije tzv. topli talozi što postaju termooksidativnom degradacijom ulja [4, 5, 12-15].

Kontaminacija i degradacija ulja, uslovljene nesavršenošću motora, neizbežne su i smatraju se normalnim. Ako je motor ispravan one nisu intenzivne ali su karakteristične za svaki tip.

Uslovi eksploatacije su promenljivi i nepredvidivi. Na njih se ne može uticati. Mogu da izazovu brzu kontamina-

*Milić Rajković, dipl. hemičar,
NIS - Rafinerija nafte Novi Sad*

ciju i prevremenu degradaciju ulja. Zbog toga predstavljaju jedan od glavnih razloga zbog kojih se optimalni interval upotrebe ulja ne može predvideti niti se može odrediti bez sistematskih laboratorijskih ispitivanja tokom čitavog perioda eksploatacije.

Kvalitet upotrebe - preopterećivanje i pregrejavanje motora imaju za posledice ubranu termooksidaciju ulja i stvaranje toplih taloga (smolastih, lepljivih i korozivnih materija, složene strukture i sastava). Pod nekvalitetnom upotrebom podrazumeva se i često korišćenje nezagrejanog i nedovoljno opterećenog motora. To ima za posledicu nepotpuno sagorevanje goriva, stvaranje čadi i korozivnih oksidacionih proizvoda ugljovodonika, tzv. hladnih taloga.

Kvalitet goriva (oktanski ili cetanski broj, sadržaj sumpora, olefina i aromata), utiče na kvalitet paljenja i sagorevanja, te na potrošnju, dimljenje, emisiju toksičnih gasova i na kontaminaciju ulja, proizvodima nepotpunog sagorevanja i oksidima SO_2 , SO_3 , NO_x [7].

Kvalitet ulja bitno utiče na dužinu intervala upotrebe (API, CCMC, MIL-L- i dr.). Od oksidacione, termičke i hidrolitičke stabilnosti; od detergenskih, disperzantskih i triboloških osobina, zavisi koliko će dugo neko ulje odoljevati destruktivnom dejstvu kontaminanata i štititi motor od habanja i korozije [4-6, 8-10].

Dijagnostika stanja ulja ima poseban značaj za otkrivanje neispravnosti na mehaničkim sistemima, koje obično uzrokuju brzu kontaminaciju i prevremenu degradaciju ulja, što može imati za posledicu i otkaz sistema. Najčešće neispravnosti mogu biti na sistemima za napajanje gorivom, za paljenje i hlađenje, te na prečistačima za vazduh, ulje i gorivo [4, 5, 12-15].

Dovod veće količine goriva ima za posledicu nepotpuno sagorevanje, proizvodnju većih količina čadi i korozivnih oksidacionih proizvoda ugljovodonika. Slične posledice prate i neodgovarajuću kompresiju.

Zbog neispravne pumpe ili termostata u sistemu za hlađenje, motor se pregrejava a oksidacija ulja se ubrzava. Brzina oksidacije ulja udvostručava se za svakih deset stepeni povećanja radne temperature motora. Intenzitet oksidacije zavisi i od katalitičkog ponašanja zagrejanih metalnih površina.

Kroz eventualne pukotine na sistemu za hlađenje ili na mestu oštećenja zaptivke, u karter dospeva voda ili antifriz, veoma destruktivni kontaminanti.

Zasićen prašinom, prečistač vazduha ne propušta dovoljne količine vazduha, što ima za posledicu lošije sagorevanje i kontaminaciju ulja. Slične su posledice i u slučaju neispravnosti turbokompresora. Mehanički oštećen, prečistač vazduha propušta abrazivne atmosferske kontaminante - prašinu i pesak.

Zasićen prečistač ulja sprečava protok ulja, a mehanički oštećen, propušta sve kontaminante, što ima za posledicu poremećaj u podmazivanju i povećano habanje.

Kroz neispravni prečistač goriva mnoge nečistoće dospevaju u ulje.

3. POSLEDICE DESTRUKTIVNOG PONAŠANJA KONTAMINANATA

Iz izloženog vidi se da su kontaminanti ulja različitih fizičkih i hemijskih osobina. Zbog toga su i mehanizmi njihovih destruktivnih ponašanja prema ulju različiti. Međutim, posledice su iste: Degradacija ulja i skraćivanje radnog veka sistema [4, 5, 12-15].

Čad. Ponaša se abrazivno. Veže velike količine disperzanata i smanjuje disperzantsku sposobnost ulja. Kao posledica toga dolazi do aglomeracije čestica taloga, do povećanja gustine i viskoznosti ulja, te do zasićenja prečistača i zatvaranja ostalih puteva ulja u cirkulacionom sistemu motora. Sa toplim talozima gradi mešavine koje na visokim radnim temperaturama prelaze u lakove i koks, slepljuju prstenove i dovode do povećanog habanja i zaribavanja motora.

Topli talozi. Delimično se rastvaraju u ulju (zavisno od molekularne mase), povećavaju mu gustinu i viskoznost, troše detergente i disperzante i drastično pogoršavaju tribološka svojstva ulja. Posledice su: povećana potrošnja energije i pogoršano podmazivanje zbog povećane viskoznosti, slepljivanje prstenova, povećano prođuvavanje gasova u karter, ubrzanje dalje degradacije ulja i zaribavanje motora.

Nesagorelo gorivo. Spira uljni film sa kontaktnih površina, snižava viskoznost, gustinu i tačku paljenja ulja. Posledice su: pogoršano podmazivanje, povećano trenje i habanje, lošije zaptivanje motora, povećano prođuvavanje gasova u karter, ubrzana degradacija ulja i, konačno, zaribavanje motora.

SO_x , NO_x i kiseli oksidacioni proizvodi ugljovodonika troše velike količine baznih aditiva, snižavaju baznu rezervu (TBN), umanjuju detergensku i disperzantsku sposobnost ulja i izazivaju koroziju.

Voda. Hidrolitički razlaže neke aditive, inaktivira detergente i disperzante, povećava viskoznost, gradi emulziju koja može da zatvori protok ulja kroz filter. Posledice su: brza i potpuna degradacija ulja, pogoršano podmazivanje, povećano habanje, sniženje bazne rezerve (TBN) i povećanje korozije.

Čestice metala katalizuju oksidaciju ulja, a sa atmosferskim kontaminantima ubrzavaju abrazivno habanje.

4. DIJAGNOSTIKA STANJA ULJA I STANJA MOTORA

Bilo da se radi o određivanju optimalnog intervala upotrebe u određenom mehaničkom sistemu i u određenim uslovima rada, ili o dijagnozi stanja mehaničkog sistema, potrebno je sistematsko ispitivanje ulja u toku čitavog perioda upotrebe. Kontrola stanja triboloških svojstava podrazumeva posebnu opremu, dugotrajna i skupa ispitivanja. Fizičke i hemijske osobine određuju se znatno brže, lakše i jeftinije ali one ne pokazuju istovremeno i tribološka svojstva ulja. To se najbolje vidi na sledećim primerima:

- a. SAE 30 b. SAE 30
API SG/CE API SG/CC

Dva motorna ulja istih viskoziteta gradacija a veoma različitih kvalitetnih nivoa i radnih osobina. Međutim, veoma je važno da promene hemijskih i fizičkih osobina ulja u toku upotrebe, koreliraju sa promenama triboloških sposobnosti. Ta okolnost omogućuje da se relativno brzo dođe do triboloških promena ulja i do odluke o njegovoj upotrebljivosti, odnosno, do zaključka o eventualnoj neispravnosti na nekom delu sistema.

Neočekivane, prevremene i velike promene boje, mirisa, viskoznosti, sadržaja vode, sadržaja goriva i sniženje tačke paljenja, ukazuju na uzroke brze degradacije ulja i upućuju na intervenciju [4, 5, 12-15].

Boja. Jako tamna boja ulja ukazuje na visok stepen oksidacije i degradacije. To može biti posledica većeg broja uzroka, što se mora utvrditi na osnovu promena viskoznosti, TBN, korozivnosti i sadržaja nerastvornih ostataka posle tretiranja n-pentanom i benzolom.

Emulzija boje bele kafe ukazuje na prisustvo vode. Manja količina vode od 0.2% obično je posledica čestog korišćenja nezagrejanog motora (dešava se zimi i u gradskoj vožnji), a veća ukazuje na neispravnosti u sistemu za hlađenje. To je istovremeno i znak da je ulje degradirano, a da je filter zasićen i van funkcije. Slično se ponaša i antifriz.

Miris. Miris na sagorelo ulje ukazuje na previsok temperaturni režim i prepoterećivanje motora i ulja. To može biti posledica neispravnosti pumpe ili termostata u rashladnom sistemu ali i niskog nivoa ulja u karteru.

Miris na gorivo ukazuje na neispravnost u sistemu za napajanje i na dovod veće količine goriva. Međutim, nepotpuno sagorevanje može biti i posledica neispravnog paljenja, zasićenog prečistača vazduha, neispravnosti turbokompresora i neodgovarajuće kompresije.

Sadržaj goriva. Toleriše se do 5% v/v, mada se tribološki procesi sa negativnim posledicama ubrzavaju i ranije. Iskustva iz prakse govore da 5% goriva ulju snižava viskoznost za 25%, a tačku paljenja svodi na kritičnih

150°C, što je dovoljno upozorenje za zamenu ulja i intervenciju održavalaca.

Viskoznost. Sniženje viskoznosti toleriše se do 25% ili do prelaska u prvu nižu SAE gradaciju.

Porast viskoznosti toleriše se do 30-35% ili do prelaska u prvu višu SAE gradaciju. To je pouzdan znak da je ulje kontaminirano proizvodima sopstvene oksidacije pomešanim sa česticama čađi; da su tribološke i druge radne osobine na minimumu i da ga treba menjati. Uzroci mogu biti visoka temperaturna opterećenja, nekontrolisano dug interval upotrebe, nizak nivo ulja u karteru i neispravnosti na sistemu za hlađenje. Visok porast viskoznosti ukazuje i na pad vrednosti TBN, što je znak da je opala sposobnost za zaštitu od korozije.

TBN. Sniženje TBN toleriše se do 50% početne vrednosti. Neki autori bili su drugačijeg mišljenja ali su praksa i nova istraživanja pokazali da ne treba koristiti ulje čiji je ukupni bazni broj pao ispod polovine prvobitne vrednosti [4, 12].

Nerastvorni ostaci posle tretiranja n-pentanom, merilo su za stepen kontaminiranosti ulja organskim i neorganskim kontaminantima, a ostaci posle tretiranja benzolom su koks, metalni opiljci, prašina i pesak. Ne postoji potpuna saglasnost svih istraživača u pogledu tolerantnih količina nerastvornih ostataka. Najveći broj slaže se da se može tolerisati do 3.5% nerastvornog u n-pentanu i do 2.5% u benzolu.

Međutim, najbolje je nekom od poznatih spektrofotometrijskih metoda utvrditi tačan sastav nerastvornih ostataka u benzolu. Sadržaji pojedinih metala tolerišu se u ppm: Al 40, B 20, Cr 40, Cu 40, Fe 100, Pb 100 (dizel), K 50, Si 20.

Broj i dimenzije metalnih čestica mogu se odrediti i metodom ferografije, koja se veoma retko koristi zbog visoke cene opreme.

Važno je obratiti pažnju i na formu metalnih čestica. Ljuspaste ukazuju na habanje, a zrnaste na zamor materijala, što je za dijagnostiku stanja sistema veoma važno.

5. BRZE DIJAGNOSTIČKE METODE

Mali broj specijalizovanih laboratorija, visoke cene usluga i dugo vreme potrebno za izradu kompletnih analiza, predstavljaju limitirajuće faktore. To je ozbiljan razlog za razvoj i uvođenje tzv. brzih i jeftinih dijagnostičkih metoda koje bi se mogle koristiti i na terenu, bez dužih zaustavljanja mehanizacije i čekanja na rezultate analiza.

ULJNA MRLJA je davno poznata i dosta široko korišćena kao brza, jeftina i pouzdana metoda za određivanje stepena kontaminiranosti ulja čađu i za ukazivanje na istrošenost detergenata i disperzanata. Deformisanost njenog oblika ukazuje i na prisustvo vode ili goriva u ulju.

Ti podaci su dovoljni za ocenu upotrebljivosti ulja. U novije vreme razvijaju se i modifikovane fotometrijske metode koje se svode na kompariranje i vizuelno određivanje intenziteta boje uzorka prema etalonu [5, 19, 20].

LUBRI SENSOR je elektronski aparat koji se u najnovije vreme koristi kao analizator kvaliteta ulja. Njime se meri dielektrična konstanta. Ona zavisi od hemijskih i fizičkih osobina ulja i aditiva, što znači da predstavlja karakterističnu vrednost svakog ulja. Menja se u toku upotrebe srazmerno stepenu kontaminacije i degradacije. U slučaju kontaminacije ulja vodom, antifrizom, oksidacionim i kiselim proizvodima, te česticama metala, dielektrična konstanta raste srazmerno njihovim količinama; jedino opada u slučaju razblaženja ulja gorivom.

Pre svake analize aparat se mora doterati prema čistom, nekorišćenom ulju. Posle toga može se izvršiti serija analiza toga ulja u različitim fazama korišćenja. Na skali se očitava povećanje dielektrične konstante, koje predstavlja merilo za stanje i upotrebljivost ulja, odnosno, upozorenje na neku neispravnost sistema. Za analizu je potrebno svega nekoliko kapi uzorka i svega nekoliko minuta. Aparat je lak i pogodan za rad na terenu. Brzina, male količine uzorka, mogućnost da se kontroliše stanje ulja u svakom motoru pouzdanost rezultata, svođenje laboratorijskih usluga na najmanju meru, mogućnost da se kontrolišu i motorna i industrijska ulja, čine ovaj aparat veoma atraktivnim u svakom pogledu.

6. EKOLOŠKI ASPEKTI DIJAGNOSTIKE

Brojna hemijska i toksikološka ispitivanja pokazala su da se u upotrebljivanim motornim uljima nalaze toksične i kancerogene materije [16-18]. Nosioći toksičnosti i kancerogenosti su kontaminanti koji u uljima postaju ili u njih dospevaju tokom upotrebe. To su proizvodi sagorevanja, nepotpunog sagorevanja goriva i terinooksidacije ulja i aditiva. Konkretno, nosioći različitih potencijala kancerogenosti su policiklični aromati (PCA) sa 3-7 kondenzovanih benzolovih prstenova, među kojima je najopasniji 3,4-benzpiren. Posebno zabrinjava činjenica da se sinteza PCA vrši u samom motoru tokom upotrebe i da zavisi od režima rada, dužine intervala upotrebe ulja, katalitičkog ponašanja materijala i ugljovodoničkog sastava ulja. Za sada ove materije nisu otkrivene u uljima sintetičke osnove.

Treba reći da je benzinski motor deset puta produktivniji od dizelskog.

Veoma je važno znati ove činjenice zbog rukovanja i eventualne upotrebe upotrebljivanih motornih ulja. Ona se mogu koristiti kao sekundarna sirovina za rafinaciju ili u energetici ali pod tačno definisanim tehničkim uslovima koji obezbeđuju potpuno sagorevanje i kontrolu izduvnih gasova, što će reći, pod ekološki prihvatljivim uslovima [17, 21].

Upotreba upotrebljivanih motornih i drugih ulja mora biti i u našoj zemlji regulisana određenim zakonskim propisima, na kojima se već radi, kao što je urađeno u nekim zemljama sveta. To podrazumeva organizovano prikupljanje, kontrolu nečistoća, selekciju, skladištenje, transport, način prerade ili način upotrebe kao industrijskog goriva.

7. ZAKLJUČCI

Zbog brojnih mogućnosti za kontaminaciju i degradaciju motornih ulja, gotovo je nemoguće prognozirati optimalni interval upotrebe. On se može odrediti na bazi praktičnih iskustava i određenim analizama koje se koriste za dijagnostiku. Svaki pokušaj da se interval upotrebe produži bez kontrole stanja ulja, može imati za posledicu slepljene prstenove, izgorele ventile, izgorele i lakom prekrivene klipove, istrošene ležaje i kompletno zaribanje motora.

Jedini praktičan način da se ostvari maksimalni interval upotrebe ulja, a time i maksimalni radni vek motora, jeste maksimalno usporenje ili otkrivanje prerane kontaminacije i degradacije. Uslovi za to su:

- ▶ Ispravni sistemi za napajanje gorivom, za paljenje i hlađenje.
- ▶ Ispravni prečistači za vazduh, ulje i gorivo.
- ▶ Izbor ulja visokog kvaliteta.
- ▶ Sistematska dijagnostika stanja.
- ▶ Kontrola nivoa ulja u karteru.
- ▶ Pravovremena zamena ulja i intervencije na motoru.

LITERATURA

- [1] GODFREY D., *More Tribology Basics, Wear Analysis, Lubrication Engineering*, No.4, 1991.
- [2] GODFREY D., *Letter to the Editor, Lubr. Eng.No.12,1989.*
- [3] IVKOVIĆ B., *Osnovi tribologije sa posebnim osvrtom na probleme podmazivanja tribomehaničkih sistema*, Tribologija u industriji, Seminar, Ilok, 1985.
- [4] GRUPA AUTORA, *Maziva i podmazivanje*, JUGOMA, 1986.
- [5] SCHILLING A., *Automobile Engine Lubrication*, Scientific Publication (G.B.) LTD. 1972.
- [6] SCHILLING J.S., BRIGHT S.G., *Fuel and Lubricant Additives, Lubrication*, No.2. 1977.
- [7] RUSSELL T. J., *Promene u kvalitetu benzina i dizel goriva proizvedenih u Evropi*, JUGOMA 89, br.174, Pula.
- [8] RAJKOVIĆ M., *Performansi, ekonomski i ekološki aspekti trendova razvoja ulja za podmazivanje motora SUS*, Zbornik radova sa stručnog savetovanja, JUGOMA SRBIJE, Novi Sad, 1992.

- [9] QUILLEY A., LAHER H., MARKO E., **Motorna ulja za benzinske motore danas i u budućnosti**, JUGOMA 90, Br.193, Opatija.
- [10] FIELD P., **Dizelska ulja vrlo visokog učinka (SHPD)**, JUGOMA 88, Br.160, Opatija.
- [11] KHORSHID E.A., NAWWAR A.M., **A review of the effect of sand dust and filtration on automobile engine wear**, WEAR, 141, No.2, 1991.
- [12] CASALE P. G., BELAND J.C., DAVIDSON D., **A computerised expert system approach to the care of marine lubricants in service**, Industrial Lubrication and Tribology, 41, No.4, 1989.
- [13] RAC A., **Dijagnostika stanja maziva**, Seminar, Ilok, 1985.
- [14] RAJKOVIĆ M., **Degradacija motornih ulja kao posledica kontaminacije pre i u toku upotrebe**, XIII Jugoslovenski simpozijum, Jugoslovensko društvo za poljoprivrednu tehniku, 2-5 jun, 1987, Ohrid.
- [15] LOGAN M.R., HARLE O.L., SHAMAN E., **Mechanisms and Control of Viscosity Increase in Railroad Diesel Engine Lubricants**, Lubrication Eng.No.6, 1986.
- [16] WARNE M.T. HALDER A.S., **Toxicity of Lubricating Oils**, Lubrication Eng. No.2, 198 6.
- [17] RAJKOVIĆ M., **Upotreba otpadnih mazivih ulja i zaštita životne sredine**, Goriva i maziva, 29, br.5-6, 1990.
- [18] LADOV N.E., **Evaluating and Communicating the Carcinogenic Hazards of Petroleum Derived Lubricant Base Oils and Products**, Lubrication Eng., No.5, 1986.
- [19] RAJKOVIĆ M., **Uljna mrlja - Brza metoda za kontrolu stanja motornih ulja u toku eksploatacije**, XII Savetovanje stručnjaka poljoprivredne tehnike Vojvodine, Trogir, 1985.
- [20] VON W.MEINICKE, **Regressionsanalyse und Prüfverfahren für Motorenöle**, Tribologie + Schmierungstechnik, 38, No.2, 1991.
- [21] ADŽIĆ M., GROMOVIĆ D., **Eliminacija otpadnih mazivih i emulzionih ulja metodom sagorevanja**, Goriva i maziva, 28, No.4, 1989.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragijevac, 24.-25. juna 1993.god.

Tribological Aspects of Diagnostics of Lubrication Oils Status in Mechanic Systems

The chemical and physical processes leading to performance changes in the engine lubricant are quite complex. The major causes of performance decreases are oxidation and contamination.

The purpose of tests on used engine oils is to detect types and quantity of contaminants which can indicate operational problems. The latest researches indicate that some of contaminants could be toxic and carcinogenic.

In accordance with above there are several good reasons for used oil analysis. These are: Determination of optimal oil drain and filter change intervals, tribological, economical, and ecological reasons.

Трибологические аспекты диагностики качества смазочных масел в механических системах

Важнейшими химическими и физическими процессами, вызывающими изменение и понижение качества масла в двигателе, являются его оксидация и загрязнение.

Исследования отработавших моторных масел проведены с целью определения видов и содержания загрязнителей, что может указать на возможные трудности в работе двигателя. Кроме того, их новейшие исследования в мировой науке показывают, что некоторые загрязнители могут быть токсичными и канцерогенными.

Поэтому исследования отработавших масел необходимы по трибологическим, экологическим и экономическим причинам. При исследованиях устанавливаются оптимальные сроки фильтрации масла и замены фильтра.