

ANALYSIS OF CONTAMINATIONS IN USED INTERNAL COMBUSTION ENGINE OILS AND THE REASONS FOR THEIR OCCURRENCE¹³

Eng. Gergana Atanasova, PhD student

Department of Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies

University of Ruse "Angel Kanchev", Bulgaria

Tel.: +359 82 888 458

E-mail: mnikolov@uni-ruse.bg

***Abstract:** Engine oil plays a crucial role in engine performance. It has certain parameters that must be observed. Oil contamination violates the qualitative and quantitative values of the oil parameters. This article discusses issues related to the types of contamination, their origin and their impact on engine parts and performance. Conclusions from the analysis are given.*

***Keywords:** used oil, oil parameter, oil contaminations*

ВЪВЕДЕНИЕ

По време на работа на двигателя моторното масло се променя под въздействието на множество фактори. Двигател, който работи в условия на често спиране и тръгване, при недостатъчна работна температура, горенето е непълно, образуват се различни киселини, сажди, вода и оксиди. Значителна част от тези продукти, заедно с неизгорялото гориво, стига до картера на двигателя и замърсяват маслото.

В маслото попадат и частици от износването на двигателя, метални оксиди, които наред с въздействието на температурата катализират реакциите на окисляване и полимеризация. Така се създават продукти, неразтворими в маслото, които при неблагоприятни условия могат да се проявят като утайка. Те се наслагват в частите на двигателя като капака на клапаните, повдигачите на клапаните, масления филтър, отдушника на картера на двигателя и т.н. Студените дни, влажната атмосфера и удълженото време за достигането на работната температура на двигателя създават добри условия за протичането на тези процеси, най-често това се случва през зимния период (Addison J., et al.; Антониев А. и др. 2012; Николов М., Д., Бекана 2020).

Този процес на постепенно замърсяване и промяна в свойствата на моторното масло се нарича стареене. Скоростта и характеристиките на стареенето зависят от различни показатели, като големина на натоварването и температурните характеристики на двигателя, качество на гориво-смазочните материали, големината на износване на детайлите и други.

При стареене на моторното масло всички негови характеристики като вискозитет, точка на възпламеняване, алкален индекс, коксуващ капацитет, количество вода, метални стружки и др. се променят (Bekana D., 2020; Деликостов Т., 2020; Dimitrov M., N., Gospodinova 2020; Nikolov M., P., Kangalov 2012).

Целта на настоящата работа е да се извърши анализ на замърсяванията в отработеното масло на двигател с вътрешно горене и причините за тяхното появяване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Двигателното масло като основен неконструктивен елемент определя до голяма степен работоспособността и надеждността на автотракторната и земеделската техника. Целта на всички съвременни методи за поддържане на техниката (по техническо състояние,

¹³ Докладът е представен на онлайн сесията на секция „Ремонт и надеждност“ на 29 октомври 2021 г. с оригинално заглавие на български език: АНАЛИЗ НА ЗАМЪРСЯВАНИЯТА В ОТРАБОТЕНИТЕ МАСЛА НА ДВИГАТЕЛ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ И ПРИЧИНИ ЗА ТЯХНОТО ПОЯВЯВАНЕ

проактивно, надеждно ориентирано и др.) е да се осигури рано предупредителна аварийна система. Колкото по-рано се получат сигналите за наличие на тенденции за влошаване на техническото състояние на машините, толкова по добре.

Състоянието на маслото на автотракторната и земеделската техника е интегрален фактор за контрол на състоянието на машините и техните компоненти. Подобна аналогия е изследването на човешката кръв с цел получаване на информация, която да позволи на лекарите да направят диагноза и да помогнат на пациента.

При използване на автотракторната и земеделската техника моторното масло постепенно губи първоначалните си качества поради стареене и замърсяване. Процеса на стареене и замърсяване на маслото е свързан с окисляване на въглеводородите и добавките и увеличаване съдържанието на метални частици, продукти от изгарянето на горивото, влага и прах в маслото (Bekana D., et al 2015; Ratiu S., et al. 2020; Todorov I., 2019; Николов М., и др. 2012).

Стареенето и замърсяването на моторното масло се определя от степента на деградиране на маслото (базово и присадки), наличието на външни замърсявания (вода, антифриз, гориво и др.) и процесите на износване на работните повърхности (фиг.1).

Разрушаването (деградиране) на маслото става по няколко механизма: окисление, термично разлагане и хидролиза.



Фиг. 1. Класификация на замърсителите на двигателното масло

Окисляването на маслото е основният механизъм за деградиране на маслото. При работа на двигателя в картера попадат преминалите между цилиндъра и буталото изгорели газове. Те създават в картера твърд „коктейл“ от сярна, серниста и азотна киселини, които се образуват при взаимодействието на продуктите от изгарянето на горивото - водни пари и азотни и серни оксиди. Заедно с тях в картера попадат различни сложни съединения, тъй като бензинът съдържа много добавки и продуктите от тяхното изгаряне са разнообразни.

Окисленото масло не може да смазва ефективно триещите се работни повърхности. Това се случва чрез разпадане на добавките при контакт с продуктите от непълното изгаряне на горивото, както и окисляване на маслото при контакт с триещата се повърхност на детайлите. Тъй като старото моторно масло има намалено количество миещи добавки, намалено алкално число, неговото използване допринася за окислителното износване на детайлите на двигателя.

При окислението на маслото се получават органични киселини. Тези киселини се откриват чрез измерване на обема алкален реагент (калиева основа), необходим за неутрализиране на киселината в маслото. Този тест не може да отдели и измери само киселината от окислението от тази попаднала като замърсяване. Също така някои добавки, като противоизносните, корозионни инхибитори и др. са кисели. Те дават високо начално киселинно число, което намалява при тяхното изразходване.

Нарастването на вискозитета на маслото, който е резултат от окислението, може да бъде обяснено с полимеризирането, това се проявява на мрежест ефект благодарение на задържащото влияние на нехомогенните съединения в маслото. Ясно е, че когато се установи нарастване на вискозитета и киселинното число, означава, че маслото е изчерпало своите качества и следва период на опасно аварийно окисление. Ако може да се определи степента на изчерпване на антиокислителни добавки би могло да се определи остатъчният ресурс (годност) на маслото.

Окислението на маслото е сериозен проблем (Николов М., П., Кангалов 2018; Marinov et al. 2019; Valov N., Valova I. 2020). Защото се влошава качеството на смазване и получената киселина повишава корозионното износване. Важно е да се разбере механизма на процеса, причините за окислението и предупредителните сигнали, получени от отказите на маслото. След констатиране на процеса на интензивно окисление на маслото, трябва да се търсят причините и вземат мерки отговарящи на проактивното поддържане.



Фиг. 2. Последници от термичното разлагане на маслото

Термичното разлагане на маслото се проявява когато базовото масло влезе в контакт със гореща повърхност като горивни камери, изпускателни колектори или при рязко нарастване на температурата, предизвикана от адиабатно свиване на въздушни мехурчета в хидравличните помпи, лагерите и др.

Когато това се случи, започват химични промени. Температури над 200°C поражда термични разрушения. Последица от термичното разграждане е освобождаването на водород, а останалите обогатени на въглерод частици образуват утайки и отложения известни като нагар. В някои случаи въглеводородните вериги се разцепват на по малки субпродукти, като намаляват средното молекулно тегло. Последниците от термичното претоварване на маслото са показани на фиг. 2.

Тъй като вискозитета на маслото е свързан със средната големина на молекулите, то термичното разлагане може да предизвика понижаване на вискозитета и може да бъде начален предупредителен сигнал. Термичното разграждане протича най-често в отсъствие на достатъчно количество въздух и се получават много малко съединения типични за окислението на маслото (карбоксилни групи киселини). Затова при термично разграждане не се изменя киселинното число. Подобно на окислението, термичното разграждане се отразява в промяната на цвета. Първите термични промени поражда промяна на цвета по-рано отколкото началното окисидиране. Промяната на цвета е от получаването на въглерод и неразтворими окиси които са диспергирани в маслото.

Хидролизата е директно взаимодействие на маслото при смесване с вода, което трайно променя базовата маслена молекула. При контакта с вода или водна пара, молекулата се разпада на две по-малки части. Масла изработени на естерна основа са най-податливи на хидролиза. При контакта си с вода, естерите веднага хидролизират до алкохол и киселина. Хидролизата променя функционалните свойства на маслото, което съдържа естери. Много масла и хидравлични флуиди съдържат естери, като базов маслен компонент или като добавка за подобряване разтворимостта и уплътняващите способности на добре рафинираните минерални и синтетични масла.

Механичните замърсявания в масло се състои от твърди частици, които причиняват износване на детайлите и участват в образуването на отлагания и утайки. Филтърът задържа механични примеси, но частиците с размер по-малък от 25-40 микрона се натрупват в маслото

и участват в процеса на износване. Тези замърсявания на маслото са от абразивни частици, утайки, лакови и смолисти отлагания (Кангалов П., 2019; Николов М., 2019).

Абразивни частици могат да попаднат в маслото от вѐн и от продуктите на износване. Прах (абразивни частици) и мръсотията навлизат в двигателя чрез въздуха през различните хлабини, например във всмукателния колектор, през маслената прѐчка и разхлабената капачка за пълнене, през вентилационната система на картѐра. Прах може да попадне и в двигателя, ако се използва некачествен въздушен филтър. Пѐтният прах и мръсотията допринасят за образуването на още по-големи количества абразивни частици, които могат да бѐдат носени от потока на маслото и да износят работните повърхности на деѐайлите, преди да бѐдат задържани от филтѐра. Металните частици попадат в маслото в резултат на нормално износване на двигателя.

Утайките се образуват от продуктите на окисляване на маслото, горивото, попадане на вода в масло прах или други частици. В състава на утайките влизат главно масло, гориво и смоли (40-80 %), примесени с тѐврди частици от прах, пепел, карбени и карбоиди (10-30 %). Те представляват гѐста лепкава маса, наподобяваща масло с черен цвят.

Най-силно влияние върху стареенето на маслото в смазващата система оказват условията на работа на маслото в зоната на цилиндровата втулка. Тук маслото се намира в тѐнѐк слой 3-25 μm и е подложено на въздействие на продуктите на изгаряне (нагreti до 1200-1300°C). При всеки ход на буталото масления слой в цилиндѐра се обновява, осигурява се огромна площ на контакт на маслото с работните газове-няколко хиляди квадратни метра в час. Мигновените физико-химични процеси, протичащи в масления филм, оказват решаващо влияние на общият ход на процеса на стареене на маслото. Най-силно изменение на състава на маслото протича в началния период на неговата работа. Съдържанието на окислените продукти в дизеловия двигател нараства през първите 150-200 часа.

Получените продукти на окисление са неразтворими, образуват здрави асфалто-смолисти отложения, които формират уплѐтнени вискозни натрупвания в картѐри, филтри, маслени канали и радиатори, в мрежестите филтри на смукателите, горивните резервоари и др. Адхезията на утайките по отношение на металните повърхнини е сравнително ниска. Същите запушват маслените канали и филтриращите елементи, вследствие на което се получава ускорено износване на двигателя, създавайки условия за протичане на задиране. Наличието на утайки води до бѐрзо замърсяване на маслата. Те са разтворими в леките горива и други органични разтворители. За премахването им е необходимо механично въздействие, особено при почистването на центробежните филтри и каналите в колянвия вал.

Лаковите отложения, за разлика от утайките, се намират в тѐврдо състояние. Те са тѐврди тѐнки отлагания с тѐмнокафѐв до сиво-черен цвят. По химически състав те се състоят главно от карбени и карбоиди. Образуват се от тѐнѐк маслен слой под въздействието на кислорода от въздуха, в температурния интервал 80-150°C и катализиращото действие на метала. Дебелината им е от порядѐка на десети от милиметѐра, като в състава им влизат още масла, неутрални смоли, пепел и асфалтени. Те са нееднородни и техният състав зависи от условията на тяхното образуване. Те се формират предимно на тези повърхнини, при които отсъстват условия за изгаряне на маслото, но имат достатѐчно висока температура, която активизира процеса на окисляване.

Смолистите отлагания се образуват при сравнително ниски температури и окислителното действие на кислорода от въздуха. Те се състоят от масла и смоли, примесени с прах, нагар и други тѐврди частици, влизащи в състава на утайките, които могат да износят детайлите абразивно. Смолите се образуват даже и при съхраняване на маслата в резултат на окисляване и полимеризация на ненаситените въглеводороди. Първични продукти за образуване на смолите са прекисите. В резултат на окислителната полимеризация и поликондензация на продуктите от разпадането на прекисите с непределни и ароматни въглеводороди се образуват смоли.

Химическите замърсявания на маслото са от вода, антифриз и гориво.

Замърсяването с вода на маслото се счита за бич или бедствие за машините. Водата в маслото показва опасното си влияние в почти всеки двигател и/или машина. Най-сериозното

замърсяване възниква тогава, когато водата попадне в системата за смазване на двигателя поради течове в охладителната система. Водата в маслото има не само вредно влияние върху свойствата му, но влияе директно и върху машинните детайли. Най-вредни за смазващите системи са две от формите на присъствие на вода в маслото – емулгираната и свободната.

При наличие на емулгирана или свободна вода се променя вискозитета на маслото. Не може да се осигури хидродинамично налягане в плъзгащите лагери. Лагерите остават да работят в условията на гранично мазане, което води до повишени износвания. Намалването на дебелината и здравината на масления филм води до повишаване чувствителността към другите замърсявания, продукти от износване, утайки и др.

Водата в маслото намалява, повърхностното напрежение, като води до разтваряне на въздух, 0,1% вода в маслото е достатъчно за образуване на стабилна пяна при много масла. Наличието на вода може да предизвика ускорено окисление, което води до неговото стареене (потъмняване). Процеса се ускорява от наличието на катализатори, като: мед, олово, калай. По малко от 1 % вода в маслото може да доведе до скъсяване живота на плъзгащите лагери с 90 %. За търкалящите лагери положението е още по-лошо.

Антифризът може да попадне в моторното масло, от охладителната система на двигателя. Опасността от това явление е, че в автомобилното масло се образува утайка, която може да причини запушване на филтъра.

Замърсяването на маслото с гориво възниква, когато не работят добре свещите или дюзите, горивото преминава между буталните пръстени и цилиндъра, като попада в картера на двигателя. Двигателите с директно впръскване са особено предразположени към този вид замърсяване поради високото налягане на впръскване на горивото в цилиндъра

Разреждането на маслото с гориво намалява неговия вискозитет, което понижава носещата способност на масления клин и увеличава разхода на масло. В допълнение, горивото, попаднало в маслото, води до бързо износване на лагерите, допринася за образуването на утайки и лакови отложения по БЦГ, което е вредно за двигателя и изисква по-честа смяна на маслото.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Извършена е класификация на различните видове замърсяванията в отработените масла на двигател с вътрешно горене, като са посочени причините за тяхното появяване;
2. Установено е, че замърсяването на отработените двигателни масла се осъществява от три източника, деградиране на маслото, механически и химически замърсители;
3. Разрушаването (деградирането) на маслото става по няколко механизма: окисление, термично разлагане и хидролиза.

REFERENCES

Addison J. A., W. M. Needelman, Diesel Engine Lubricant Contamination And Wear, Pall Corporation, 30 Sea Cliff Avenue, Glen Cove, NY 11542

Antoniev A., Bekana D., Kangalov P. (2012) Analysis of waste oils in the maintenance of agro-industrial equipment. В: Scientific works of Angel Kanchev University, Vol. 51, s. 1.1, Ruse, pp. 201-205, ISBN 1311-3321, (**Оригинално заглавие:** *Антониев А. Бекана Д., Кангалов П., (2012) Анализ на отработили масла при поддържане на аграрно-индустриалната техника, Научни Трудове РУ "Ангел Кънчев", том 51, серия 1.1, стр. 201-205, ISBN 1311-3321).*

Bekana D. (2020) Optimizing the maintenance of agro-industrial equipment, Academic Publishing House University of Ruse, p. 130, ISBN 978-954-712-800-2, (**Оригинално заглавие:** *Бекана Д. (2020) Оптимизиране поддържането на аграрно-индустриалната техника, Русе: Академично издателство Русенски университет, с. 150, ISBN 978-954-712-800-2).*

Bekana D. A. Antoniev, M. Zach, J. Mareček, (2015) Monitoring of agricultural machines with used engine oil analysis IN: Mendeltech International 2015 – International Scientific Conference, Vol. 63, No 1, Brno, ISBN 978-80-7375-625-3.

Delikostov T., (2020) Management of fuel combustion of internal combustion engines from agricultural and tractor equipment by maintaining the food system. Scientific Monograph. Ruse, Academic Publishing House University of Ruse, p.136, ISBN 978-954-712-799-9. (**Оригинално заглавие:** Деликостов Т. (2020) Управление разгода на гориво на ДВГ от земеделската и автотракторна техника чрез поддържане на хранителната система – научна монография. Русе: Академично издателство Русенски университет, р.136, ISBN 978-954-712-799-9).

Dimitrov M., Gospidinova N., (2020). Investigation Of The Exploitation Capacity Of Semisynthetic Oil With Friction Modifier In Real Working Conditions, In Journal of the Balkan Tribological Association, vol. 26, no 3, pp. 546-551, ISSN 1310-4772.

Kangalov P. (2019) Rebuilding electrolytic alloys coatings. Scientific Monograph. Academic Publishing House University of Ruse, p. 170, ISBN 978-954-712-785-2 (**Оригинално заглавие:** Кангалов П. (2019) Възстановителни покрития от електролитни сплави – научна монография. Русе: Академично издателство Русенски университет, с. 170, ISBN 978-954-712-785-2).

Marinov S., O Alipiev, T Uzunov. (2019) Interference of the profiles when meshing internal straight splines with gear shapers. MATEC Web of Conferences, No 287, 01015.

Nikolov M, (2019) Rebuilding Overlaid Coatings Obtained Through Vibrating Arc Overlaying Process in an Atmosphere of Shielding Gas and its Mixtures - Scientific Monograph, Academic Publishing House University of Ruse, p. 144. ISBN 978-954-712-756-2 (**Оригинално заглавие:** Николов М. (2019), Възстановителни вибрационни покрития в защитни газове и техните смеси - научна монография, Русе: Академично издателство „Русенски университет, р. 144, ISBN 978-954-712-756-2).

Nikolov M., D. Bekana. (2020) Repair and recovery technology, Ruse, Academic Publishing House University of Ruse, p. 255, ISBN 978-954-712-805-7. (**Оригинално заглавие:** Николов М., Д. Бекана (2020) Технология на ремонта и възстановяването, Русе: Академично издателство „Русенски университет, с. 255, ISBN 978-954-712-805-7).

Nikolov M., P. Kangalov. (2012) Benefits from maintenance and repair in utilization of resources. IN: Mendeltech International 2012 – International Scientific Conference, No 1, Brno, ISBN 978-80-7375-625-3.

Nikolov M., Kangalov P. (2018) Total production maintenance as a means to ensure the quality of repaired machines. V: Agricultural Machinery 2018, Volume 1, Burgas, pp. 40-42, ISBN 2535-0269, (**Оригинално заглавие:** Николов М., Кангалов П., (2018) Пълното производствено поддържане като средство за осигуряване качеството на ремонтираните машини. В: Agricultural Machinery 2018, Volume 1, Бургас, с. 40-42, ISBN 2535-0269).

Nikolov M., G. Tonchv, V. Stoynov, (2012) Basics of machine maintenance, Ruse, Ruse University Publishing Centre, p. 128, ISBN 978-954-712-550-6, (**Оригинално заглавие:** Николов М., Г. Тончев, В. Стоянов. (2012) Основи на поддържането на машините. Русе, Издателски център при Русенски университет, с. 128, ISBN 978-954-712-550-6).

Todorov I. (2019) A Research about Wear Process of Details from Belt Conveyor.// Agricultural, forest and transport machinery and technologies, Vol. VI, pp. 5-10, ISSN 2367-5888.

Valov, N., Valova, I. (2019) Raspberry Pi as a Tool to Combine Different Courses Part of University Education IN 18th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET 2019) ISBN: 9781728124643.

Valov, N., Valova, I. (2020) Home automation system with Raspberry Pi. International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, EE and AE 2020 - Proceedings, doi:10.1109/EEAE49144.2020.9278998.

Rațiu S. A., L. Mihon A Review On The Contamination Of Used Engine Oil, Ingineria automobilului Nr. 57 / decembrie 2020, ISSN 1842-4074

Used Engine Oil Analysis - User Interpretation Guide, CIMAC Central Secretariat, c/o VDMA e.V., Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt/Main: Germany Number 30 2011, <http://www.cimac.com>