



Gaz dvigateli motor moylari tarkibidagi yeyilish mahsulotlarini aniqlashning nazariy bog'liqliklari va rentgeno fluoressent spektrometriya usulida tadqiq qilish

Musurmanov Ravshan Kurbanmuratovich

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston

Milliy universiteti professori, t.f.d.

Utayev Sobir Achilovich

Qarshi davlat universiteti dotsenti, t.f.f.d.,

Toshkent davlat Transport universiteti mustaqil tadqiqotchisi

Turayev Abdugani Karimovich

Toshkent Irrigatsiya va qishloq xo'jaligini

mexanizatsiyalash muxandislari instituti

Milliy tadqiqotlar universiteti mustaqil tadqiqotchisi

Email: utaev.s@list.ru тел: +99890-517-05-36

ANNOTATSIYA

Mazkur maqolada gaz dvigateli motor moylari tarkibida yeyilish mahsulotlarini nazariy baholash tenglamalari keltirilgan. Motor moylari tarkibidagi yeyilish mahsulotlarini spektral tahlil qilish, ishlatish sharoitida yeyilish mahsulotlarining to'planib borishi tezligini aniqlovchi, gaz dvigateli motor moylari tarkibida yeyilish mahsulotlarining, nazariy tenglamalar tizimi keltirilgan. Tajriba natijalari asosida yeyilish mahsulotlarining motor moylari ishlatish muddatiga bog'liq konsentratsiyalari aniqlangan. Energodispersion rentgeno fluoressent spektrometriya (EDXRF) motor moylari tarkibidagi yeyilish mahsulotlarini aniqlashda zamonaviy va samarali usullardan xisoblanadi.

Kalit so'zlar:

gaz dvigateli, dvigatel, yeyilish mahsuloti, motor moyi, rentgeno fluorissent, spektrometriya, energodispersion.

Теоретические зависимости и результаты исследования определения продуктов износа в масле газовых двигателей методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается вопрос теоретической и экспериментальной оценки накопления продуктов износа в масле газодвигателей. Система теоретических уравнение позволяют проведения теоретического расчета скорости поступления продуктов износа в масло. Обоснованы определения продуктов износа методом спектральноого анализа. По результатам экспериментальных исследований методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометрии (EDXRF) обоснованы зависимости концентрации продуктов износа от продолжительности работы масла газодвигателя.

Ключевые слова:

газодизель, двигатель, моторная масла, продукты износа, рентгенофлуорисцентная, спектрометрия, энергодисперсионная.



Theoretical relationships and research results for determining wear products in gas engine oil using x-ray fluorescence spectrometry

ABSTRACT

This article examines the theoretical and experimental assessment of wear product accumulation in gas engine oil. A system of theoretical equations enables the calculation of the rate at which wear products enter the oil. The determination of wear products via spectral analysis methods is substantiated. Based on experimental results obtained using energy-dispersive x-ray fluorescence (EDXRF) spectrometry, the relationships between wear product concentration and the service life of the gas engine oil are established.

Keywords:

gas-diesel, engine, engine oils, wear products, x-ray fluorescence, spectrometry, energy-dispersive.

Kirish. Gaz dvigatelilar ishlashida silindr-porshen guruhi detallari yuqori temperatura va bosim ta'sirida bo'ladi, ushbu ta'sirlar natijasida dvigatel detallari yeyilishi yuz beradi. Dvigatel porshen halqalarining yuqori radial bosimi ta'sirida detallar yuzasidagi moy qatlami shikastlanib, ishqalanish ortishi xisobiga gilza, porshen va porshen halqaalari yeyilishi kuzatiladi [1].

Gaz dvigatelilar ishonchligini motor moylari tarkibidagi yeyilish mahsulotlariga qarab baholash iqtisodiy jihatdan samarali va detallar resursiga qisqa vaqtda baho berish imkonini beradi. Moy tarkibidagi yeyilish mahsulotlarini aniqlashda bir qator usullardan, lazerli texnologiyalar, optik spektrometriya usullari va boshqa usullardan foydalaniladi [2-3].

Gaz dvigateli dvigateli detallari yeyilishini moy tarkibidagi yeyilish mahsulotlari miqdoriga qarab aniqlash laboratoriya tahlillari asosida amalga oshiriladi. Dvigatellarda asosiy yo'qotishlar manbai bo'lib, silindr-porshen guruhi detallari xisoblanadi [1,5-7]. Ilmiy manbalarda keltirilishicha silindr-porshen guruhi detallari yeyilishi umumiy yeyilishlarning 70 % qismini tashkil etadi [1,6,7].

Tadqiqot metodlari

Tadqiqotlarda motor moylari tarkibidagi yeyilish mahsulotlarini aniqlashning nazariy va tajriba metodlaridan, standart metodlardan foydalanilgan.

Gaz dvigatelilar ishonchligi va ta'mirlashag yaroqligiga baho berishda dvigatelni qismlarga ajratish iqtisodiy jihatdan sarf harajatlarni va katta vaqtni talab etadi. Motor moylari tarkibidagi yeyilish mahsulotlari miqdoriga qarab baho berish eng samarali usul xisoblanadi [8,9].

Moy tarkibida yeyilish mahsulotlari asosan dvigatel karterida to'planib boradi, filtrlarda to'planib, ma'lum miqdorda moylash tizimida sarflanayotgan moy bilan birgalikda chiqib ketadi. Gaz dvigateli motor moylari tarkibida yeyilish mahsulotlarining to'planib borishini aniqlashda mualliflar tomonidan taklif etilgan [10] nazariy tenglamalar tizimi bilan ifodalash mumkin:

$$A = [A_0 - A_1(1 - e^{-c_1 t})](1 + K_1^{\beta_1} \cdot P_e) \quad (1)$$

$$B + [B_0 - B_1(1 - e^{-c_2 t})](1 + K_1^{\beta_2} \cdot P_e) \quad (2)$$

bu yerda A_0 – yeyilish mahsulotlarini moy tarkibiga tushishi dastlabki tezligi, kg/c;

A_1 – yeyilish mahsulotlarining detallarning ishqalanib moslashishida moy tarkibiga tushish tezligi o'zgarishi kattaligi, kg/c;

e – натурал логарифм асоси;

c_1, c_2 – detallarning ishqalanib moslashish jadalligini ifodalovchi koeffitsiyentlar;

K_1, K_2 – moy tarkibidagi yeyilish mahsulotlari miqdorining o'rtacha effektiv bosimga bog'liq o'zgarishini tavsiflovchi koeffitsiyentlar;

β_1, β_2 – daraja ko'rsatkichlari;



P_e – oʻrtacha effektiv bosim, MPa;

B_0 – dastlabki moy sarfi, kg/c;

B_1 – detallarning ishqalanib moslashishida moysarfi oʻzgarishi miqdori, kg/c.

$$0,01V_y = 0,01y_0 + \int_0^t A dt - 0,01 \int_0^t (Q\varphi + B) y dt, \quad (3)$$

$$y t = f(x) + \lambda \int_0^t K(t) dt, \quad (4)$$

Yuqorida keltirilgan tenglamalarning tashkil etuvchilarini tahlil qilamiz. Bunda bu kattaliklarning dvigatelni taʼmirlashga bogʻliqligini eʼtiborga olamiz. Moyning toʻla oqimli tozalanish jadalligini quyidagi nazariy tenglama yordamida aniqlash mumkin [10]:

$$Q\varphi_0 = \frac{200g}{(y_0+y_k)t} = \frac{200g_H\varepsilon}{(y_0+y_k)t} \approx \frac{200g_H\varepsilon}{yt}, \quad (5)$$

bu yerda g_H – tozalash agregatidagi nam choʻkindilar massasi, kg;

ε - tozalash agregati rotoridagi mexanik aralashmalar miqdorini xisobga oluvchi koeffitsiyent.

Motor moylarini tozalash jadalligi tozalash agregatlari samaradorligiga bogʻliq, moyni tozalash jadalligini quyidagi tenglamadan aniqlaymiz [10]:

$$y = y_0 e^{-\frac{Q\varphi+B}{V}t} + \frac{100A}{Q\varphi+B} \left(1 - e^{-\frac{Q\varphi+B}{V}t}\right), \quad (6)$$

$y_0 = 0$ deb qabul qilsak, bu yerda $A(t)$ va $B(t)$ funksiyalar (1) va (2) bilan ifodalanadi. Moyni tozalash samaradorligini quyidagi parametr bilan ifodalash qulay $\frac{yt}{S}$.

bu yerda S – moylash tizimiga t -vaqtda tushgan yeyilish mahsulotlari miqdorining shu vaqtda moylash tizimidagi moy miqdoriga nisbati.

Gaz dvigateli moylash tizimiga yangi moy toʻldirilmaganda uni quyidagicha aniqlash mumkin [10]:

$$S = \frac{At}{V_0}, \quad (7)$$

Moylash tizimiga uzluksiz moy quyib turilganda:

$$S = \frac{At}{V_0+Bt}, \quad (8)$$

bu yerda V_0 – moylash tizimidagi moyning dastlabki hajmi;

B – qoʻshimcha quyilgan moy miqdori.

Shuni qayd etish kerakki, aniqlanishicha moy tarkibidagi yeyilish mahsulotlari miqdoriga baho berishda asosan temir miqdoriga qarab baholanadi, tozalash agregatlarida ushlab qolingan yeyilish mahsulotlarining 70-80 % temir xissasiga toʻgʻri keladi, yeyilish mahsulotlarining asosiy qismi karter tubiga tushadi. Masalan D-243 gaz dizellari moylari tarkibida 35-45% tashkil etsa, yeyilish mahsulotlari umuiy miqdorining 11- 40 % moylash tizimidan moy sarfi bilan chiqib ketadi.

Gaz dvigateli moylash tizimidagi moy miqdori V_T ham yeyilish mahsulotlariga baho berishda asosiy koʻrsatkichlardan xisoblanadi. Uning miqdorini quyidagi tenglamadan aniqlash mumkin [10]:

$$V_T = V_0 - \int_0^t B dt + \sum_{i=1}^n \Delta V_i \quad (9)$$

bu yerda ΔV_i – gaz dvigateli moylash tizimiga davriy ravishda quyilgan moy miqdori, kg.

Yeyilish mahsulotlarining miqdorini moylash tizimidagi moy miqdoriga bogʻliqligini moylash nasosi unumdorligi oʻzgarish boʻlganda, moyning qizigan detallar zonasiga borish chastotasi kamayishi bilan izohlanadi. Ikkinchi xolat esa moyning moy filtrlaridan oʻtish chastotasi oʻzgarishiga bogʻliq boʻladi.



Gaz dvigateli moylash tizimidagi moy sarfi (V) dvigatel silindr-porshen detallari xolatiga, konstruksiyasig va moyning qovushqoqligiga bog'liq bo'ladi. Bundan tashqari moylash tizimidagi moy sarfi dvigatelni ta'mirlashdagi yoki tayyorlash texnologiyasi bilan bog'liq tasodifiy chetga chiqishlarga ega bo'ladi. Bu chetga chiqishlar tasodifiy bo'lganligi uchun, moy sarfini vaqtga bog'liq tasodifiy kattalik deb qarash kerak. Dvigatelni ta'mirlashdan keyingi davrida moy sarfi tashqi ta'sirlarga, dvigatel ish rejimiga va silindr-porshen guruhi detallari yeyilish tezligiga bog'liq bo'ladi. Tadqiqotlarda keltirilishicha [10], traktor dvigateli moy sarfini aniqlashda kvazideterminant modeldan foydalanish mumkinligi nazariy asoslangan. Dvigatellarni chiniqtirishda moy sarfi eksponensial o'zgaradi [10]:

$$B = B_0 - B_1(1 - e^{-c_2 t}) \quad (10)$$

D-243 gaz dvigateli uchun $C_2 = 0,085-0,092, c^{-1}$

Gaz dvigateli tirsakli val aylanishlar soni ortishi bilan yeyilish tezligi ortadi, bu xolat silindr-porshen guruhi detallari temperaturasi ortishi bilan va dinamik yuklanishlar, ishqalanish kuchi ortishi bilan izohlanadi. Xozirgi vaqtda $A(t)$ dvigatellarni ta'mirlashdan sung chiniqtirishda yuklama rejimiga bog'liqligi isbotlangan [10]. Yeyilish mahsulotlarining moy tarkibiga tushish tezligi quyidagi bog'liqlik asosida ifodalanadi:

$$A(t) = [A_0 - A_1(1 - e^{-c_1 t})] (1 + K_1^{\beta_1} \cdot P_e) \quad (11)$$

Motor moylari tarkibidagi yeyilish mahsulotlarining miqdorini aniqlashda, bu mahsulotlarning moy tarkibiga tushish tezligi muhim ahamiyatga ega. Bunda yeyilish mahsulotlari miqdori $A(t)$ ga bog'liq ravishda 60 ... 150 g/yo bo'lishi mumkin [10].

Gaz dvigatelilarning ishlash jarayonida detallarning yeyilish mahsulotlari zarracha ko'rinishida bo'lib, detallar sirtidan moy bilan yuvilib turadi va dvigatel karteriga tushadi. Ishlatilgan moylarni laboratoriya tahlilida ularning tarkibida Al, Cr, Fe, Sn, Pb, Cu va moy tarkibiga qo'shilgan qo'shilmalar tarkibidagi metallar tashqi muxitdan tushgan zarrachalar bo'lishi aniqlangan.

Yuqorida qayd etib o'tilganidek, gaz dvigateli motor moyi tarkibidagi yeyilish mahsulotlari miqdori moyni tozalash agregatlarida tozalash tezligiga va yeyilish mahsulotlarining moy tarkibiga tushish tezligiga bog'liq. Dvigatel normal ish rejimda ishlaganda moyni tozalash jadalligi va kuyishga bo'lgan sarfi o'zgarmas. Bizning xolat uchun:

$$g_a = 0,1 \text{ kg/c va } g_k = 0,2 \text{ kg/c.}$$

Yeyilish mahsulotlarining moy tarkibiga tushish tezligini quyidagi ifodadan aniqlaymiz [10]:

$$g_A = \sum_{i=1}^n g_{Ai}$$

$$g_{Ai} = \gamma_i \cdot s_i \cdot \Pi_{Ai} 10, \text{ mg/c}$$

bu yerda γ_i - i - detalning yeyilishi, mkm/c ;

S_i - i - detal ishqalanuvchi yuzasi maydoni, m^2

P_i - detal materiali zichligi, kg/m^3

Π_{Ai} - A elementning i - detaldagi miqdori, %.

Tadqiqot natijalari

Motor moyi tarkibidagi yeyilish mahsulotlarini aniqlash uchun, gazodvigatel to'xtatilgandan sung motor moyi namunalari olingan. Olingan namunalar laboratoriya sharoitida GOST 33305-2015, DIN 51399 standartlari asosida yeyilish mahsulotlarining elementar tarkibi bo'yicha tahlil qilindi. Tahlilarning takrorlanishi 5-10 namunadan iborat.

Energodispersion rentgenofluoressent spektrometriya (EDXRF) motor moylari tarkibidagi yeyilish mahsulotlarini aniqlashda zamonaviy va samarali usullardan xisoblanadi. Bu usulning mohiyati

qisqa vaqt ichida ikkilamchi rentgen nurlanish energiyasini aniqlash orqali moy tarkibidagi yeyilish mahsulotlarining elementar tarkibini aniqlashdan iborat [11,12].

Gaz dvigateli motor moylari tarkibidagi yeyilish mahsulotlari elementar tarkibini rentgenofluorescent spektrometriya (EDXRF) usulida aniqlashda namunani tayyorlash qisqa vaqtda to'g'ridan- to'g'ri amalga oshiriladi, bunda moy tarkibidagi zarrachalar namunani qo'lda chayqash orqali yoki laboratoriya vorteksi yordamida 2-5 minut harakatga keltiriladi. Agar moyning kinematik qovushqoqligi yuqori bo'lsa, yoki moy temperaturasi past bo'lsa uni suv banyasida 40-60° C temperaturagacha qizdiriladi. Bu usul moyning qovushqoqligini kamaytiradi va yeyilish zarrachalarini butun hajm bo'yicha bir tekis taqsimlanishini ta'minlaydi.

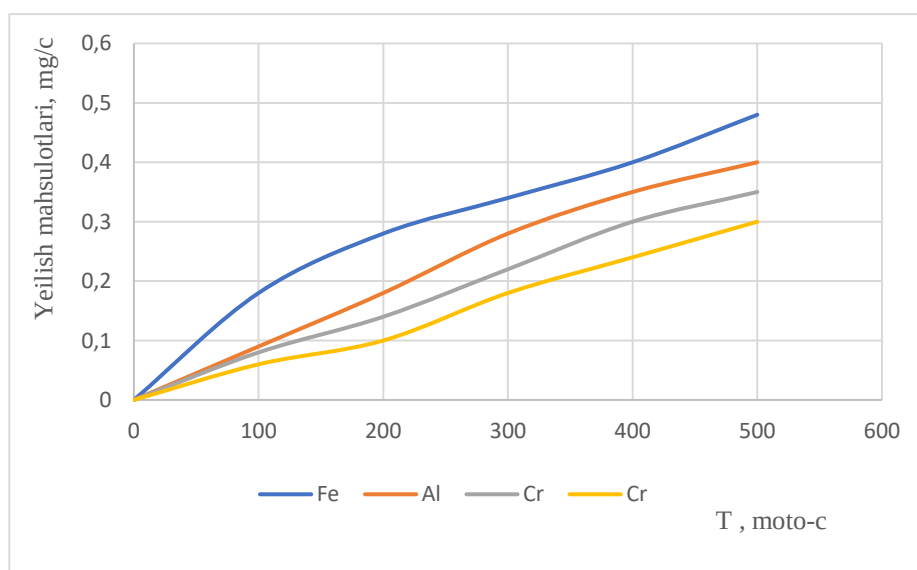
Moy namunasi chayqatilgach, uni 1-2 minut tutib turib namunani ultratovush vannasiga 30-60 sekundga joylashtiriladi. Motor moyidan rentgen nuri yahshi o'tishi uchun moy tarkibidagi havo pufaklari chiqarib yuboriladi. Olingan namuna, odatda 3-5 mg hajmda rentgenofluorescent spektrometriya (EDXRF) uchun mahsus plastik kyuvetaga quyiladi.

Tadqiqot maqsadi moy tarkibidagi yeyilish mahsulotlari miqdorini nazariy va tajribada aniqlashdan iborat. Bizning xolatda silindrlar gilzalari yeyilishi miqdorini aniqlash muhim xisoblanadi. Odatda gilza yeyilishiga baho berishda "gilza-porshen halqalari" juftligiga baho beriladi. Shuning uchun jadval 1 da faqat tadqiqot uchun zarur bo'lgan detallar yeyilishi to'g'risida ma'lumot keltirilgan.

Jadval 1

Gaz dvigateli motor moyi tarkibiga yeyilish mahsulotlarining tushish tezligi

Detal	Yeyilish ko'lami, mkm/c	Ishqalanuvchi yuza maydoni, m ²	Material zichligi, ρ 10 ³ kg/m ³	Element miqdori, %	Moyga tushgan element, mg/s
Porshen	0,0227 - 0,0887	0,022323	2,72	Al - 26	0,18
halqa: yuqori kompression moy sidirish	0,03 - 0,1272 0,0057 - 1,1	0,001428 0,003266	5,0 7,0	Cr - 4	0,06 0,04
Gilza	0,00039 - 0,125	0,09062	7,0	Fe - 70	0,48



Rasm 1. Gaz dvigateli moyi tarkibida yeyilish mahsulotlari miqdori



Xulosalar

1. Moy tarkibidagi yeyilish mahsulotlari miqdoriga baho berishda asosan temir miqdoriga qarab baholanadi, tozalash agregatlarida ushlab qolingani yeyilish mahsulotlarining 70-80 % temir xissasiga to'g'ri keladi
2. Gaz dvigateli silindrlar gilzasi yeyilishiga baho berish uchun "gilza-porshen halqasi" juftligining moy tarkibidagi miqdori aniqlandi: (Fe) 0,48, Al 0,18, Cr 0,4 mg/s bo'lishi tahlil natijasida aniqlandi
3. Gaz dvigateli motor moylari tarkibidagi yeyilish mahsulotlari elementar tarkibini rentgeno fluoressent spektrometriya (EDXRF) usulida aniqlashda namunani tayyorlash qisqa vaqtda to'g'ridan- to'g'ri amalga oshiriladi
4. Agar moyning kinematik qovushqoqligi yuqori bo'lsa, yoki moy temperaturasi past bo'lsa uni suv banyasida 40-60⁰ C temperaturagacha qizdiriladi.

Adabiyotlar

1. Акинин Д.В., Прохоров В. Ю., Токарева О.В. Особенности методики измерения износа с использованием активации поверхности; /Современные проблемы теории машин. – 2023. – № 15. с. 54–57, doi.org/10.26160/2307-342X-2023-15-54-59
2. Дунаев А.В., Тарасенко В.Е., Жешко А.А. Спектральный анализ масел как основа углубленной диагностики узлов машин. /Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2020;(54): с. 69–76.
3. Bernhard Rossegger. Lubricating Oil Consumption Measurement on Large Gas Engines / Bernhard Rossegger, Albrecht Leis, Martin Vareka, Maykl Engelmayer, Andreas Wimmer // Lubricants 2022, 10 (3), 40; doi.org/10.3390/lubricants10030040
4. Прохоров В.Ю., Шамарин Ю.А., Краснов Н.Д. Исследование процесса износа гильз блока цилиндров дизельного двигателя // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2017, том 2. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. С. 238–240.
5. Полюшкин Н.Г. Основы теории трения, износа и смазки: учебное пособие / Н.Г. Полюшкин; Красноярский государственный аграрный университет. - Красноярск, 2013. - 192 с.
6. Равин А. А. Диагностическое обеспечение судового энергетического оборудования: проблемы и решения /диссертация ... доктора технических наук : 05.08.05 Санкт-Петербург 2015
7. Сергеев К. О. Анализ масла на содержание продуктов износа как метод диагностирования технического состояния судового редуктора. /Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технологии. 2020. № 1. С. 13–21. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-13-21.
8. Utaev S.A. Results of the analysis of the continuous introduction of additives into the lubrication system of an engine running on gaseous fuel // Tractors and Agricultural Machinery. Moscow. – 2023 90(3). 265–272 pp. doi.org/10.17816/0321-4443-321243. (In Russ.)
9. Utaev SA. Results of the study of wear products and contamination percentage of engine oils of diesel and gas engines. Tractors and Agricultural Machinery. 2024;91(6):801–807. DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-633588 (In Russ.)
10. Федин Н. А., Рябов С. С. Анализ математической модели процесса накопления продуктов износа в моторном масле и обоснование номенклатуры основных сопряжений двигателя, диагностируемых методом спектрального анализа масла // Мир транспорта и технологических машин №3 (46), - 2014. -с. 3-12
11. Никонов, Л. А. Рентгенофлуоресцентный метод анализа моторного масла / Л. А. Никонов, Н. Е. Росляков, Д. Е. Молочников // Материалы III Международной студенческой научной конференции (Ульяновск, 2019 г.). — Ульяновск : УлГАУ, 2019. - С. 307–309.
12. Утаев С.А. Результаты исследования определения продуктов износа в масле газовых двигателей методом лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии // Машиностроение. - №1.-2026. – с. 19-25