



Tribomexanik barqarorlashtiruvchili moylarning gaz dvigatellari silindrlar gilzalari ishchi yuzasiga ta'sirini tadqiq qilish

Utayev Sobir Achilovich

Qarshi davlat universiteti dotsenti, t.f.f.d.,
Toshkent davlat Transport universiteti
mustaqil tadqiqotchisi
Email: utaev.s@list.ru
тел: +99890-517-05-36

ANNOTATSIYA

Mazkur maqolada tribomexanik barqarorlashtiruvchili motor moylarining xususiyatlari o'zgarishini gaz dvigatellari silindrlar gilzalari ishchi yuzasiga ta'sirining kompleks nazariy tenglamalari keltirilgan. Tavsiya etilgan Reynoldsning modifikatsiyalangan tenglamasini yuza notekisliklarini hisobga oluvchi Patir-Cheng tenglamasi ko'rinishida ifodalangan., Shuningdek, gaz dvigatellari silindrlar gilzasi ishchi yuzasining yeyilishi gilza yuzasidagi moy qatlamining qalinligiga bog'liqligi A.V. Rozenberg va Xamrok-Douson tomonidan taklif etilgan differensial tenglamalar asoida aniqlandi. Taklif etilga nazariy tenglamalar gidrodinamik moylash konsepsiyasi asosida taklif etilgan. Bunda tashqi yuklanish moy qatlamining gidrodinamik bosimi va ishqalanuvchi yuzalarning kontakt bosimi mikronotekisliklari tomonidan qabul qilinadi.

Kalit so'zlar:

silindr-porshen guruhi,
silindr gilzasi,
matematik
modellash
Reynolds tenglamasi,
moylash qatlami
qalinligi, aralash
moylash, ishqalanish va
yeyilish, motor moyi.

Исследование влияния моторных масел с трибомеханическими стабилизаторами на рабочей поверхности гильзы цилиндров газовых двигателей

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается влияния изменения свойства моторного масла с трибомеханическими стабилизаторами на рабочую поверхность гильзы цилиндров газовых двигателей. Предложенные теоритические уравнение, уравнение Рейнольдса учитывают влияние масла на рабочую поверхность, определение контактных усилий осуществляется с помощью модели Патира и Ченга. А также, зависимость износа гильзы цилиндров газовых двигателей от толщины масляной пленки определена уравнением В.А. Розенберга и дифференциальным уравнением Хамрока-Доусона. Предложенные теоритические уравнение учитывают гидродинамические смазки, где нагрузка воспринимается гидродинамическим давлением масляного слоя и микронеровностями контактных давлений контактируемых поверхностей.

Ключевые слова:

цилиндропоршневая группа, гильза цилиндра,
математическое моделирование,
уравнение Рейнольдса,
толщина смазочного слоя, смешанная смазка, трение и износ, моторное масло.



Research on the effect of motor oils with tribomechanical stabilizers on the working surface of gas engine cylinder liners

ABSTRACT

This article examines the effect of changes in the properties of engine oil—modified with tribomechanical stabilizers - on the working surface of cylinder liners in gas engines. The theoretical equations presented, including the Reynolds equation, account for the oil's influence on the working surface, while contact forces are determined using the Patir and Cheng model. Furthermore, the dependence of cylinder liner wear in gas engines on the thickness of the oil film is defined by V. A. Rozenberg's equation and the Hamrock-Dowson differential equation. These theoretical equations account for hydrodynamic lubrication, wherein the load is supported by both the hydrodynamic pressure of the oil film and the contact pressures arising from the micro-irregularities of the mating surfaces.

Keywords:

cylinder liner, piston ring, mathematical modeling, Reynolds equation, oil film thickness, mixed lubrication, friction and wear, engine oil.

Kirish. Gaz dvigatellarida silindrlar gilzasi boshqa detallar bilan taqqoslaganda og'ir ish sharoitida ishlaydi. U yuqori temperatura va bosim ta'sirida va porshen halqasining gilzaga nisbatan juda tez siljish holatida ishlaydi. Silindrlar gilzasi ishlash davomida yuqori zarbiy yuklanishlarga, yonilg'i va moy tarkibidagi kislotalar ta'sirida va juda yuqori temperaturada qizigan gaz ta'sirida ishlaydi.

Silindrlar gilzasining pastki qismida porshen yubkasining ishqalanishi hisobiga yeyilish yuz beradi. Biroq, u yerda temperatura pastligi, moy fatlami mustahkamligi, bosimga nisbatan kontakt yuzalari kattaligi hisobiga yeyilish miqdori katta bo'lmagan [1].

Ma'lumki ichki yonuv dvigatellari silindrlar gilzalari yeyilishi va geometrik shakl o'zgarishi 0,05 mm dan 0,60 mm gacha oraliqda bo'lishi mumkin. Tadqiqot natijalariga ko'ra 56,7 % gilzalar yuqori porshen halqasi ning porshen yuqori chekka nuqtada bo'lgan holatida yeyilish 0,5 mm dan oshmaydi. Bunda 18,1 % silindrlar gilzalari 0,11-0,20 mm oralig'ida yeyilish kattaligiga ega bo'ladi. Gilza ovalligi 21, 8 % gilzalarda 0,06-0,10 bo'lishi aniqlangan [2,3].

Dvigatel texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarining foydalanish boshlangundan to xizmat muddati oxirigacha o'zgarishi silindr-porshen detallarining holatiga bog'liq bo'ladi [4].

Silindrlar gilzalari ishchi yuzasining shikastlanishi va yeyilishi uning yuzasidagi moy pardasining qalinligiga va shikastlanishiga bog'liq. Moylash tizimidagi moy xususiyatlarining o'zgarishi gilza ishchi yuzasiga ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa gilzalar yeyilishi motor moylarining qovushqoqligiga bog'liq bo'ladi.

Gaz dvigatellari silindrlar gilzasi ishchi yuzasiga motor moylari xususiyati o'zgarishining ta'siri bir qator nazariy tadqiqotlarda ko'rib o'tilgan [3,5-12].

Tadqiqot metodi. Tadqiqotlarda nazariy tadqiqotlar metodlari, differensial tenglamalar usullari, moylash nazariyasi qonunlaridan va tribomexanik barqarorlashtiruvchili moylarni gaz dvigatellari silindrlar gilzalari ishchi yuzasiga ta'sirini kompleks baholashga tizimli yondashuv usullaridan foydalanilgan.

Tahlillar va natijalar. Gaz dvigatellari motor moylarining xususiyatlari o'zgarishining gilza yuzasiga ta'siri turli omillar ta'sirida yuz beradi, qovushqoqlik o'zgarishi, yuza temperaturasining va porshen halqalari bosimining o'zgarishi va boshqalar.

Tribomexanik barqarorlashtiruvchili motor moylarining gilza ishchi yuzasidagi holatini o'rganishda Reynolds tenglamasidan foydalanish mumkin. Reynolds tenglamasi gaz dvigatelining moylanuvchi elementlarini suyuq qatlamli moylashni o'rganish uchun ishlatiladi [10].

Reynolds tenglamasida yuza mikronotekisliklarini hisobga olganda R bosimning moy qatlamiga ta'siri ifodalanadi [10]:



$$\frac{d}{dx} \left(\Phi_x \frac{\rho h^3}{12\mu} \frac{dp}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(\Phi_x \frac{\rho h^3}{12\mu} \frac{dp}{dy} \right) = \frac{U}{2} \frac{d(\rho \bar{h}_T)}{dx} + \frac{d(\rho \bar{h}_T)}{dt} \quad (1)$$

bu yerda: P – moy pardasiga ta'sir qiluvchi bosim;

h – moy qatlami nominal qalinligi;

μ – moyning temperatura va bosimga bog'liq bo'lgan dinamik qovushqoqligi;

ρ – moy zichligi;

Φ_x, Φ_y – yuza mikrolyefining moy oqimiga ta'sirini hisobga oluvchi oqim omillari.

Kontakt kuchlanishning silindrlar gilzasi va porshen halqasi xududida taqsimlanishini Reynoldsning quyida keltirilgan bir o'lchamli tenglamasi yordamida aniqlash mumkin:

$$\frac{d}{dh} \frac{h^3}{\eta} \frac{dP}{dx} = 6 \left\{ \frac{d}{dh} (U_1 + U_2)h + 2(W_{s1} - W_{s2}) \right\} \quad (2)$$

Gaz dvigatellari gilzalari ishchi yuzasi ideal silliq emas. Gilza yuzasini modellashtirishda xoninglash ko'rsatkichlari hisobga olinadi, ular moyni yuzada turishini ta'minlaydi. Aralash moylash qo'llanilganda, moy qatlami qalinligi h notekisliklar balandligi bilan taqqoslansa, σ ($h/\sigma < 3$) notekisliklar balandligini hisobga oluvchi Patir-Cheng modelidan fodalanish mumkin [12]:

$$\frac{d}{dx} \left(\varphi_x \frac{\rho h^2}{12\mu} \frac{dP}{dx} \right) + \frac{d}{dz} \left(\varphi_z \frac{\rho h^2}{12\mu} \frac{dP}{dz} \right) = \frac{\bar{U}}{2} \frac{d\rho h}{dt} + \frac{d\varphi_s}{dx} \quad (3)$$

Porshen halqasiga ta'sir qiluvchi kuchni aniqlashda, halqa va moy qatlami holatini hisobga olib radial yo'nalishdagi kuchlar balansi tenglamasi yechiladi:

$$W_A + F_L = F_g + F_E \quad (4)$$

F_L - moy qatlamining gidrodinamik kuchi ;

F_g - halqani gilzaga siquvchi gaz bosimi kuchi ;

F_E - halqaning elastiklik kuchi;

W_A - notekisliklarning ta'sirlashuv kuchi.

Gaz dvigateli silindrlar gilzasi ishchi yuzasidagi moy qatlamining qalinligi motor moyining qovushqoqlik-temperatura ko'rsatkichiga bog'liq bo'ladi, qovushqoqlikning temperaturaga bog'liqligini Andrade tenglamasidan foydalanib aniqlash mumkin [14]:

$$\mu(T) = \mu_0 \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (5)$$

bu yerda: $\mu(T)$ - joriy temperaturada moyning dinamik qovushqoqligi, T;

μ_0 - moyning T_0 temperaturadagi boshlang'ich dinamik qovushqoqligi, T_0 ;

exp- eksponensial funksiya (matematik konstanta $e \approx 2,718$);

β - qovushqoqlikning temperatura koeffitsiyenti, K;

T- joriy absolyut temperatura, bunda qovushqoqlik μ_0 ma'lum, K;

T_0 - qovushqoqlik μ_0 ma'lum bo'lgan boshlang'ich temperatura, K;

Chegaraviy ishqalanish koeffitsiyenti yuqori bo'lganda ishqalanuvchi yuzalardan ko'p issiqlik ajralib chiqadi. Ajralib chiqqan issiqlikni quyidagi tenglamadan foydalanib aniqlash mumkin [13]:

$$Q = \mu_k PV \quad (6)$$

bu yerda: Q- solishtirma issiqlik quvvati;

μ_k – kinetik (dinamik) ishqalanish koeffitsiyenti. Chegaraviy ishqalanishda uning qiymati 0,05-0,15 ga teng ;

P- kontakt yuzalardagi mahalliy bosim, N/ m²;

V- yuzalarning nisbiy siljish tezligi (porshenning gilzaga nisbatan siljishi), m/c.

Gaz dvigateli silindrlar gilzalari ishchi yuzasidagi moy qatlamining temperaturasi, moy qovushqoqligi o'zgarishiga olib keladi. Ishqalanishda xosil bo'ladigan temperatura ta'sirida qovushqoqlik o'zgarishini quyidagi issiqlik balansi tenglamasidan aniqlash mumkin:

$$k_p \frac{d^2 T}{dz^2} = -\mu \left[\left(\frac{du}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dv}{dz} \right)^2 \right] \quad (7)$$

bu yerda: k_p – moyning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, W/(m · K);

T- moy qatlamining lokal temperaturasi (K) yoki °C;



z- moy qatlami qalinligi koordinatasi (gilza devoridan porshen halqasi devoriga perpendikulyar yo'nalgan);

$\frac{d^2 T}{dz^2}$ – moy qatlami qalinligi bo'yicha ikkinchi xosilaviy temperatura;

μ – moyning dinamik qovushqoqligi, Pa·c;

u va ϑ - moyning asosiy o'qi bo'yicha oqish tezligi tashkil etvuvchisi, m/c;

$\frac{du}{dz}$ va $\frac{dv}{dz}$ – moy qatlami bo'yicha tezlik gradiyentlari;

$(\frac{du}{dz})^2 + (\frac{dv}{dz})^2$ – siljish tezligining kvadratik yig'indisi. Moy qatlamining siljishi mexanik energiyasi issiqlik energiyasiga aylanadi.

Gilza ishchi yuzasidagi moy qatlami qalinligini A.V. Rozenberg tomonidan taklif etilgan tenglamadan aniqlash mumkin [3]:

$$h = \rho \left(\frac{b \cdot \mu_0 \cdot V_{\Sigma N}}{H} \right)^{0,7} \cdot \left(\frac{H \cdot \beta}{\rho} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{Z \cdot P_{1,2}^{0,5}}{\lambda \cdot \mu_0 \cdot V_{CK}^2} \right)^{0,32} \quad (8)$$

bu yerda: h- moy qatlami qalinligi;

ρ - porshen halqasining keltirilgan egrilik radiusi;

b- kontakt izining kengligi;

H- halqa uzunligiga ta'sir qiluvchi yuklanish;

μ_0 - yuzalar o'zaro ta'sirlashganda moy qovushqoqligi;

$V_{\Sigma N}$ - samarali gidrodinamik tezlik;

β - moy qovushqoqligi pyezokoeffitsiyenti;

λ – qovushqoqlikning temperaturaga bog'liqlik koeffitsiyenti;

Z- moyning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti;

V_{CK} - sirpanish tezligi;

$P_{1,2}$ - yuzalar o'zaro ta'sirlashganda Pekle soni o'rtacha qiymati.

Gaz dvigatellari motor moylari tarkibiga tribomexanik barqarorlashtiruvhilarni kiritishning fizik mohiyati muxitning reologik xususiyatlari o'zgarishi va asosan, yeyilishning noxiziqli kamayishi orqali ifodalanadi $k_{TMC} = f(C_{barq}, \bar{p}_c)$.

bu yerda: C_{barq} – tribomexanik barqarorlashtiruvchining konsentratsiyasi va turi.

Yuqori sifatli motor moylarini ishlatishyuqori kuchlanishlarda moyning asosiy xususiyatlarini saqlanib qolishini ta'minlaydi. Moy sarfi yonilg'i sarfiga nisbatan 0,02-0,05% ni tashkil etadi. Silindrlar gilzasida past temperaturali ish tartibi moyning silindr devorida kondensatsiyalanishiga olib keladi va abraziv yeyilini keltirib chiqaradi.

Gilza yuzasidagi minemal moy qatlami qalinligini h_{min} A.V. Rozenberg taklif etgan tenglamadan yoki Xamrok-Douson tenglamasidan aniqlash mumkin [9]:

$$H_{min} = 3,63 \cdot R' \cdot \left(\frac{U \mu}{R' \cdot E'} \right)^{0,68} \cdot (\alpha \cdot E')^{0,49} \cdot \left(\frac{W}{E' \cdot R'^2} \right)^{-0,073} \quad (9)$$

bu yerda: R' – porshen halqasi profilining egrilik radiusi, m;

E' - material bikrligining keltirilgan moduli, Pa;

α - bosim ta'siridagi ishqalanish koeffitsiyenti, (m²/N);

W- halqa uzunligiga to'g'ri kelgan normal yuklanish, (N/m).

Tezlik ko'rsatkichi (U)- gilza va porshen halqasi juftligi orasiga moyning yetib borish tezligini ifodalaydi. Moyning kontakt yuzalarga yetib borish tezligini quyidagi tenglamadan aniqlash mumkin [11]:

$$U = \frac{\eta_0 u}{E' R_x} \quad (10)$$

bu yerda: η_0 - qovushqoqlikning dinamik koeffitsiyenti;

u- yuzalar harakati tezligi:

$$u = \frac{u_1 + u_2}{2} \quad (11)$$

E' - material bikrligining keltirilgan moduli, Pa;

G - material ko'rsatkchi, material va moy xususiyatlarini hisobga oladi.

$$G = \alpha \cdot E'$$

W' - yuklama ko'rsatkichi, keltirilgan kuchni ifodalaydi;

$$W' = \frac{F}{E'R_x^2} \quad (12)$$

bu yerda: F- kontaktdagi normal yuklanish;

R_x – harakat yo'nalishi bo'ylab keltirilgan egrilik radiusi.

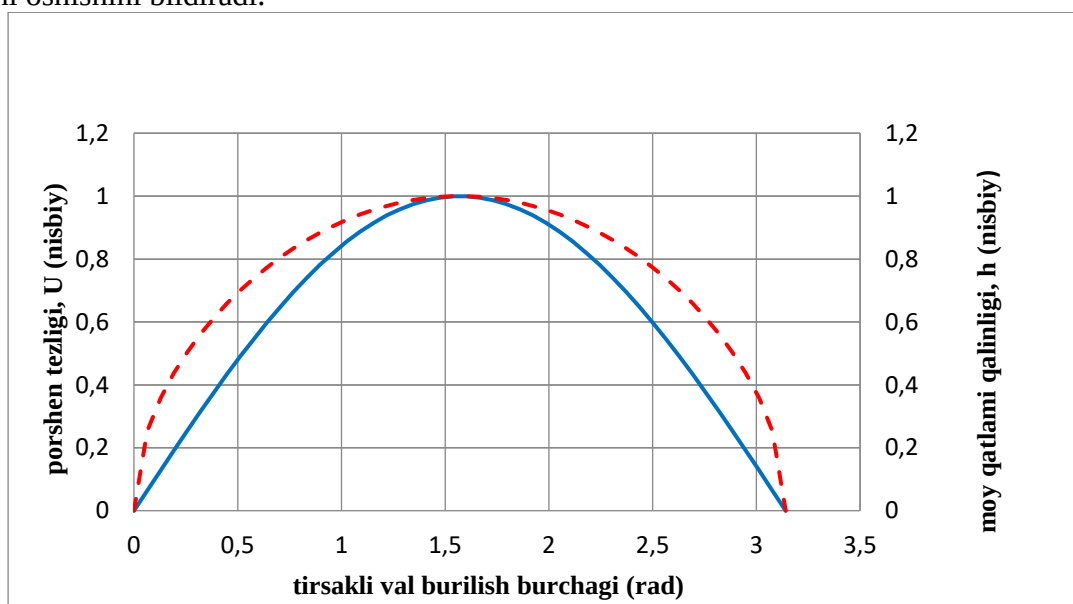
Ellipslik ko'rsatkichi (k): kontakt izi shaklini hisobga oladi [11]:

$$k = 1,03 \left(\frac{R_y}{R_x} \right)^{0,64} \quad (13)$$

Agar kontakt chiziqli bo'lsa, formulani soddalashtirish mumkin, qavs ichidagi ifoda bir yqiyatiga intiladi.

u (0,68)- daraja ko'rsatkichi, dvigatel oboroti ozgina kamayganda ham yuqori chekka nuqtada moy qatlami yupqalashishini bildiradi.

W ning daraja ko'rsatkichi - 0,073 ga teng. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, gidrodinamik moylash tartibida moy qatlami silindrda bosim ortishiga turg'un bo'ladi. G- ko'rsatkich, pezkoeffitsiyenti yuqori bo'lgan moylarni ishlatish moy qatlamining yurgizish qobiliyatini oshishini bildiradi.



— Porshen tezligi — moy qatlami qalinligi

1-rasm. Porshen tezligining moy qatlamiga bog'liqligi

Grafikdan ko'rinadiki, silindrning yuqori qismida "yuqori chekka nuqtada" moy qatlami qalinligi minemal, bunda mexanik yeyilish ortish extimoli yuqori.

Porshen tezligi sikl davomida o'zgarib turgani uchun, u D-243 gaz dvigateli krivoship-shatun mexanizmi ko'rsatkichlariga bog'liq hisoblanadi, (porshen diametri 110 mm, porshen yo'li 125 mm):

$$U(\theta) = \omega \cdot R \cdot \left(\sin\theta + \frac{\lambda}{2} \sin 2\theta \right) \quad (14)$$

bu yerda: θ – tirsakli val burilish burchagi;

ω - burchak tezlanish;

λ - shatunning tirsakli valga uzatish nisbati.

D-243 gaz dvigatelining aylanishlar soni 2200 ayl/min bo'lgan holatida moy qatlamining eng yuklanish katta bo'lgan qismdagi qalinligini Xamrok – Douson tenglamasi yordamida hisoblash mumkin.

Xamrok- Douson tenglamasi (22) yordamida moy qatlami qalinligini nazariy hisoblash mumkin. Buning uchun D-243 gaz dvigateli uchun dastlabki ma'lumotlarni qabul qilamiz: porshen yo'li $S = 125$ mm, krivoship radiusi $R = 62,5$ mm, shatun uzunligi $L = 230$ mm.



Quyidagi tenglamadan foydalanib:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 2200}{60}$$

$n=2200$ ayl/min dagi burchak tezlikni aniqlash mumkin:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 2200}{60} \approx 230,4 \text{ rad/c.}$$

Porshen tezligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$u \approx \omega R$$

yoki porshen tezligini quyidagi oddiy bog'lanishdan aniqlash mumkin:

$$u = \frac{L \cdot n}{30}$$

D-243 gaz dvigateli traktori porshen tezligi quyidagiga teng:

$$u = \frac{L \cdot n}{30} = \frac{0,125 \cdot 2200}{30} = 9,9 \text{ m/c}$$

Qovushqoqlik pyezokoeffitsiyenti $\alpha \approx 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Па}^{-1}$

Silindrlar gilzasi chuyandan tayyorlangan, chuyan gilza uchun elastiklik moduli $E' = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$.

Porshen halqasi uzunligi birligiga to'g'ri kelgan normal yuklanish $W' \approx 10^5 \text{ (N/m)}$.

Yuqorida keltirilgan tenglamalardan foydalanib, moyning gaz dvigateli gilzasi ishchi yuzasidagi holatining o'lchamsiz ko'rsatkichlarini aniqlash mumkin:

Tezlik ko'rsatkichi quyidagi nisbatdan aniqlanadi:

$$U = \frac{\eta_0 u}{E' R_x} = \frac{0,01 \cdot 9,9}{1,5 \cdot 10^{11} \cdot 0,2} \approx 3,3 \cdot 10^{-10}$$

Material ko'rsatkichi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$G = \alpha \cdot E' = 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot 1,5 \cdot 10^5 = 2250$$

Yuklama ko'rsatkichi quyidagicha aniqlanadi:

$$W = \frac{W'}{E' R_x} = \frac{10^5}{1,5 \cdot 10^{11} \cdot 0,2} \approx 3,3 \cdot 10^{-6}$$

Motor moyining D-243 gaz dvigateli silindrlar gilzasi ishchi yuzasi yeyilishiga ta'sirini modellashtirish uchun, qiymatlarni Xamrok-Dousonning chiziqli yuklanish uchun soddalashtirilgan tenglamasiga qo'yamiz:

$$H_{min} = 2,65 \cdot U^{0,7} \cdot G^{0,54} \cdot W^{-0,13}$$

bu yerda: $U^{0,7} \approx (4,8 \cdot 10^{-12})^{0,7} \approx 1,17 \cdot 10^{-8}$

$$G^{0,54} \approx 22500^{0,54} \approx 64,5$$

$$W^{-0,13} \approx (3,3 \cdot 10^{-6})^{-0,13} \approx 5,2$$

Moy qatlami qalinligining O'lchamsiz qiymatini Xamrok-Douson tenglamasi yordamida aniqlaymiz:

$$H_{min} = 2,65 \cdot 1,17 \cdot 10^{-8} \cdot 64,5 \cdot 5,2 \approx 1,04 \cdot 10^{-5}$$

Moy qatlamining haqiqiy qalinligi quyidagicha aniqlanadi:

$$h_{min} \approx H_{min} \cdot R_x \approx 1,04 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2 \approx 2,1 \text{ mkm.}$$

Yuqorida keltirilganlarga ko'ra, $n=2200$ ayl/min bo'lganda, moy qatlami qalinligi 2,1 mkm ni tashkil etadi deb xulosa qilish mumkin.

Gaz dvigateli silindrlar gilzasining yuqori qismida, yuqori chekka nuqtasida, porshen tezligi $u \rightarrow 0$ ga intiladi, hisoblash natijalari moy qatlami qalinligi kamayganini ko'rsatadi. D-243 gaz dvigateli silindrlar gilzasi ishchi yuzasi yeyilishini modellashtirish uchun quyidagi chegaraviy shartlarni qabul qilamiz: eng katta ruxsat etilgan yeyilish 0,4-0,5 mm, ovallik 0,05 mm, konussimonlik 0,07 mm. traktorning 500 moto-soat ishlagan ish rejimidagi yeyilish 1,1-1,6 mkm ni tashkil etadi.



D-243 gaz dvigateli silindrlar gilzasi yeyilishini hisoblash ishchi temperaturada turli markadagi moylar ishlatilganda yeyilish tezligining moy qovushqoqligiga bog'liqligiga asoslanadi. Biz ko'ratgan holat uchun M-10G₂ markali moy ishlatilganda, 1000 moto-s, ishlganda yuzaning yeyilishi nazariy hisoblashlarga ko'ra, 0,014 – 0,016 mm. D-243 gaz dvigatelini ishlatishda qovushqoqligi 100⁰ C da 11 mm²/c bo'lgan moydan foydalanish tavsiya etiladi.

Jadval 1.

D-243 gaz dvigateli uchun hisoblash ko'rsatkichlari

Moy markasi	1000 C dagi qovushqoqlik SsT	Hisobiy yeyilish mm/1000 moto-C)	Ta'mirlashgacha resurs (moto-C)
M-10G ₂	11	0,015	600-800
10W-40	14,5	0,012	900-1000
M-8G ₂ K	8,0	0,019	400-450

M-10G₂ motor moyi ishlatilganda yuqori chekka nuqtada moy qatlamining eng minimal qiymatda bo'ladi. Agar D-243 gaz dvigatelining sovitish suyuqligi temperaturasi 95⁰ C daan ortsa, bu markadagi moy qovushqoqligi kamayadi va yeyilish qiymati 1-1,5 barobar ortadi. Moy tarkibiga tribomexanik barqarorlashtiruvchilar qo'shilishi gilza ishchi yuzasi temperaturasi ortganda moy qatlamini yuzada turishini ta'minlaydi.

Xulosalar

1. Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, "gilza-halqa" juftligi og'ir ish sharoitlarida ishlaydi. Gaz dvigateli silindrlar gilzasining yeyilishi dvigatelning temperatura, tezlik, yuklama rejimlariga, shuningdek, moylash holatiga bog'liq bo'ladi.

2. Tribomexanik barqarorlashtiruvchi moylarning silindrlar gaz dvigatellari silindrlar gilzalari ishchi yuzasiga ta'sirini matematik modeli reynolds tenglamasiga asoslanadi

3. Matematik modelni ishlab chiqishda gidrodinamik moylash rejimi uchun Patir-Cheng modelidan foydalanildi.

4. Gaz dvigatellari silindrlar gilzalari va porshen halqalari o'rtasidagi kontakt ta'sirlashuvni aniqlashda Grinvud-Tripp modelini qo'llash maqsadga muvofiq hisoblanadi

Adabiyotlar

1. Лазарь В.В. Особенности микрометража гильз цилиндров двигателей ЯМЗ // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 3. С. 51-55. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-51-55>
2. Леонтьев Л. Б. Особенности изнашивания втулок цилиндров судовых среднеоборотных дизелей / Л. Б. Леонтьев, А. В. Погодаев, В. П. Болотова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 6. — С. 1088–1095. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1088-1095.
3. Розенберг А.О. Влияние смазочных масел на долговечность и надежность деталей машин, М.: Машиностроение 1970, 315 ст.
4. Шабанов А.Ю., Зайцев А.Б., Метелев А.А., Пустовалов Ю.П. Моделирование параметров трения и износа цилиндропоршневой группы двигателя в реальном эксплуатационном цикле. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 1(214) 2015
5. [Froelund K., J. Schramm, T. Tian, V. Wong, S. Hochgreb](#) Analysis of the Piston Ring/Liner Oil Film Development During Warm-Up for an SI-Engine Engineering for gas turbines and power volume 123, issue 1 <https://doi.org/10.1115/1.1341206>
6. Jianxiong Kang, Chang Shu, Haoran Yang, Yaofeng Liu, Changfeng Yan, Feifei Zhang. Wear prediction of internal combustion engine cylinder liners based on adaptive generative adversarial networks, // Results in Engineering 27 (2025) 105740
7. Jianqiao Hu, Hengxu Song, Stefan Sandfeld, Xiaoming Liu, Yueguang Wei Breakdown of Archard law due to transition of wear mechanism from plasticity to fracture / Tribology International, Volume 173, 2022, 107660
8. Kong, L., Ma, L., Wang, Q., Peng, S., Geng, N. Three-dimensional scanning of pipe inner walls based on a linear laser. Sensors 2024 24, 3554. <https://doi.org/10.3390/s24113554>



9. Lingyuan Kong, Linqian Ma, Keyuan Wang, Xingshuo Peng and Nan Geng Three-Dimensional-Scanning of Pipe Inner Walls Based on Line Laser, MDPI, Basel, Switzerland, Sensors 2024, 24, 3554. <https://doi.org/10.3390/s24113554>
10. Marian Max, Marcel Bartz, Sandro Wartack Non-Dimensional Groups, Film Thickness Equations and Correction Factors for Elastohydrodynamic, [Journals Lubricants Volume 8 Issue 10 10.3390/lubricants8100095](https://doi.org/10.3390/lubricants8100095)
11. Ng , S. H. Hamdan , W. W. F. Chong Development of a mathematical tool to predict engine in-cylinder friction Jurnal Tribologi 17 (2018) 29-39
12. Nadel J. , T.S. Eyre Cylinder liner wear in low speed diesel engines, Tribology International, Volume 11, Issue 5, October 1978, Pages 267-271
13. Nolan Ryan Chu, Robert L Jackson, Hamed Ghaednia and Arup Gangopadhyay A Mixed Lubrication Model of Piston Rings on Cylinder Liner Contacts Considering Temperature-Dependent Shear Thinning and Elastic-Plastic Contact