



Gaz dvigatellari silindrlar gilzalari ishchi yuzasini lazer texnologiyalari usulida tadqiq qilish

Musurmanov Ravshan Kurbanmuratovich

Mirzo Ulugʻbek nomidagi Oʻzbekiston

Milliy universiteti professori, t.f.d.

Utaev Sobir Achilovich

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

Toshkent davlat Transport universiteti

mustaqil tadqiqotchisi

Turayev Abdugani Karimovich

Toshkent Irrigatsiya va qishloq xoʻjaligini

mexanizatsiyalash muxandislari instituti

Milliy tadqiqotlar universiteti mustaqil tadqiqotchisi

Email: utaev.s@list.ru

тел: +99890-517-05-36

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada gaz dvigatellari silindrlar gilzalari ishchi yuzasi koʻrsatkichlari oʻzgarishiga motor moylarining taʼsiri va bu koʻrsatkichlarni aniqlashda lazer texnologiyalaridan foydalanishning nazariy-hisoblash usullari keltirilgan. Gaz dvigatellari ishonchliligini va uzoq muddat ishlashini taʼminlashda motor moylari xususiyatlarini ishlatish sharoitida nazorat qilib turish, uning xizmat muddatini asoslash asoʻy yoʻnalishlardan hisoblanadi. Gaz dvigatellari ishonchlilik koʻrsatkichlariga cheklovchi taʼsir koʻrsatuvchi elementlardan biri silindrlar gilzalari hisoblanadi. Gaz dvigatellari ishlatishda silindrlar gilzalari porshen yuqorisida bosim keskin oʻzgarib turuvchi sharoitda ishlaydi. Porshen halqalarining yuqori radial bosimi taʼsirida moy pardasining buzilishi va natijada ishqalanishning ortib ketishi yuz beradi, bu esa oʻz navbatida silindrlar gilzalari yeyilish jadalligining ortib ketishiga olib keladi. Silindrlar gilzalari ishchi yuzasini nazorat qilishda bir qator usullardan foydalaniladi: mikrometraj, pnevmatik nazorat qilish, moy tarkibi boʻyicha, kompressiyani aniqlash boʻyicha, shuningdek, ishlatilgan motor moylarini laboratoriya sharoitida tahlil qilish usullari qoʻllaniladi. Biroq hozirgi kunda gilzalar ishchi yuzasi koʻrsatkichlarini nazorat qilishda lazer texnologiyalarini qoʻllash dolzarb hisoblanadi. Maqolada gaz dvigatellari silindrlar gilzalari ishchi yuzasini lazer texnologilari asosida tadqiq qilish boʻyicha tavsiyalar keltirilgan.

Keywords:

algorithm, gas
dvigateli, gilza,
motor moyi, lazer
texnologiyalari,
lazer nuri, piksel,
radial bosim

Investigation of the working surface of gas engine cylinder liners using laser technologies

ABSTRACT

This article presents the results of a study on the working surface parameters of gas engine cylinder liners using laser technology. Ensuring the reliability and durability of gas engines relies primarily on monitoring

Key words:

algorithm, gas
engine, cylinder
liner, engine oils,



the condition of engine oils during operation and determining their service life. The cylinder liner is a component that affects the reliability of gas engines. Cylinder liners in gas engines operate under conditions of fluctuating pressure in the space above the piston. The radial pressure exerted by the piston ring causes the oil film to break down, thereby increasing the rate of cylinder liner wear. A variety of methods are used to monitor the parameters of the cylinder liner working surface: micrometry, pneumatic inspection, analysis of wear products in the oil, compression testing, and analysis of engine oil parameters. However, the application of laser technologies for monitoring cylinder liner working surface parameters is currently a topic of significant interest.

laser echnologies,
laser beam, pixel,
radial pressure

Исследование рабочей поверхности гильз цилиндров газовых двигателей методами лазерных технологий

АННОТАЦИЯ

В данной статье приводятся результаты исследования параметров рабочей поверхности гильзы цилиндров газовых двигателей методом лазерных технологий. При обеспечении надежности и долговечности газовых двигателей контроль состояния моторных масел при эксплуатации и обоснование срок службы последних является основным направлением. Гильза цилиндров является элементом влияющим на надежность газовых двигателей. Гильза цилиндров газовых двигателей работает в условиях изменения давления над поршневого пространства. В результате влияния радиального давления поршневого кольца происходит разрушение масляной пленки, в результате этого увеличивается интенсивность износ гильзы цилиндра. При контроле параметров рабочей поверхности гильзы цилиндров используется ряд методов: микрометраж, пневматический контроль, по содержанию продуктов износа в масле, по значению компрессии и методы анализа параметров работающего масла двигателя. Однако, на сегодня применение лазерных технологий для контроля параметров рабочей поверхности гильзы цилиндров является актуальным.

Ключевые слова:

алгоритм, газовый двигатель, гильза, моторные масла, лазерные технологии, лазерный луч, пиксель, радиальное давление.

Kirish. Ichki yonuv dvigatellarini ishlatish sharoitida ishonchliligini va uzoq muddat ishlashini ta'minlash zarur vazifa hisoblanadi. Bunda eng asosiy yo'nalishlardan bo'lib, dvigatellarda ishlatilayotgan motor moylari xususiyatlarini ishlatish sharoitida nazorat qilib turish, xizmat muddatini asoslash hisoblanadi.

Ichki yonuv dvigatellarida asosiy mexanik yo'qotishlar manbai sifatida silindr-porshen guruhi detallari hisoblanadi. Ilmiy manbalarga ko'ra uning hisobiga ishqalanish hisobiga yo'qotishlarning 70 % to'g'ri keladi [1].

Gaz dvigatellarini ishonchlilik ko'rsatkichlariga cheklovchi ta'sir ko'rsatuvchi elementlardan biri silindrlar gilzalari hisoblanadi. Gaz dvigatellarini ishlatishda silindrlar gilzalari porshen yuqorisida bosim keskin o'zgarib turuvchi sharoitda ishlaydi. Porshen halqalarining yuqori radial bosimi ta'sirida moy pardasining buzilishi va natijada ishqalanishning ortib ketishi yuz beradi, bu esa o'z navbatida silindrlar gilzalari yeyilish jadalligining ortib ketishiga olib keladi. Silindr-porshen guruhi detallari xissasiga mexanik yo'qotishlarning 67 % to'g'ri keladi [1].



V.V. Kostritskiyning tadqiqotlarida lazer texnologiyalari yordamida yuza mikrorelyefini xosil qilishga e'tibor qaratilgan [2]. A.V. Makeyevning tadqiqotlarida ta'kidlanishicha, silindrlar gilzalari ishchi yuzasini lazer texnologiyalari yordamida tadqiq qilishning afzalligi shundaki, lazer nuri yuzaga shikast yetkazmaydi [4].

Gaz dvigatellar silindrlar gilzalari yeyilishi motor moylari tarkibidagi organik va noorganik ifloslovchilarning ta'siri natijasida yuz beradi [1,3,5-7].

Tadqiqot uslubi: Tadqiqotlar jarayonida, moylash nazariyasi, nazariy tadqiqot usullari, eksperimentlarni rejalashtirish usullari, matematik modellash usullari hamda meyoriy xujjatlarga asoslangan mavjud tadqiqot metodologiyasidan foydalanildi. Gaz dvigatellari silindrlar gilzalari ishchi yuzasi ko'p jixatdan dvigatelda ishlatilayotgan motor moylari xususiyatlariga bog'liq bo'ladi. Gaz dvigateli silindrlar gilzasi ishchi yuzasida moy qatlmaining porshen halqalari bomimi ta'sirida shikastlanishi ishqalanishning ortishiga va natijada yeyilish jadalligining ortishiga olib keladi. Silindrlar gilzalari ishchi yuzasini nazorat qilishda lazerli texnologiyalarni qo'llash yuza holatini aniq baholash imkonini beradi.

Gaz dvigatellari silindrlar gilzalari yeyilish miqdorini aniqlashda bir qator kompleks usullardan foydalaniladi: gilzalarining geometrik parametrlarini aniqlashda mikrometraj, pnevmatik nazorat qilish, moy sarfi, kompressiyani aniqlash, shuningdek, ishlatilgan motor moylarini laboratoriya sharoitida tahlil qilish usullari qo'llaniladi [5,6]. Mikrometraj gilzalar nuqsonini aniqlashda asosiy usul hisoblanadi.

Xozirgi kunga kelib fan va texnikaning rivojlanishi, silindrlar gilzalari o'lchamini va geometrik ko'rsatkichlarini aniqlashda turli xil kontaktsiz usullarni qo'llash imkonini yaratdi. Bu usullardan raqamli golografik interferometriya, elektromagnit to'lqinlar yordamida o'lchash, lazer texnologiyalarini qo'llash, optik usullardan foydalanish keng tarqalmoqda.

Tahlillar va natijalar. Gaz dvigatellari silindrlar gilzalari ichki diametrini va geometrik ko'rsatkichlarini aniqlashda optik usullardan foydalanish, geometrik optika va trigonometriya qonuniyatlariga asoslanadi. Optik usullardan foydalanish lazerli triangulyatsiya yoki optik tasvirlarning soya tasvirini tahlil qilishga asoslangan. Bu usul silindrlar oynasiga mexanik ta'sir qilmasdan, kontaktsiz usulda mikron aniqlikni ta'minlaydi.

Gaz dvigatellari silindrlar gilzasi ichki yuzasi ko'rsatkichlarini aniqlashda optik usullardan bo'lgan lazerli strukturalash usuli (3D-skaner) yordamida o'lchash istiqbolli usullardan hisoblanadi. Ushbu qurilma yordamida silindrlar gilzasi ishchi yuzasining raqamli qiymatlari olinib, CAD-model bilan taqqoslanadi. Taqqoslash natijalariga ko'ra, silindrlar gilzasi ichki yuzasining dastlabki CAD-modelga nisbatan chetga chiqishlari kartasi tayyorlanadi [4,5].

Lazerli skanerlar kuchlii nurlantiruvchi lazerdan tashkil topgan to'lqin uzunligi lazer quvvatiga bog'liq bo'ladi, ba'zi hollarda to'lqin uzunligi 680 nm bo'lgan lazerlar, qabul qilgich raqamli kameralar ishlatiladi. Lazer nuri tekshirilayotgan yuzaga ma'lum burchak ostida tushirilib, kamerada qayd etiladi.

Lazerli skaner yordamida olingan ma'lumotlarga maxsus ta'minot yordamida murakkab algoritmlar asosida ishlov beriladi va uch o'lchamli nuqtalar bulutiga aylantiriladi, bu nuqtalar o'lchanayotgan yuzaning ko'pgina koordinatalarini bir biriga nisbatan tavsiflaydi. Sungra dastur ma'lumotlarni filtrlaydi va qolgan nuqtalarni poligon to'riga yoki modelga joylashtiradi natijada o'lchanayotgan yuzaning uch o'lchamli tasviri xosil bo'ladi [4,5].

Kontaktsiz o'lchash usullarining afzalligi murakkab shakldagi detallarni, katta gabaritli detallarning geometrik ko'rsatkichlarini, chiziqli va burchak o'lchamlarni nazorat qilish, etalon detal o'lchamlariga nisbatan chetga chiqishlarni nazorat qilish imkonini mavjudligi, konstruktorlik xujjatlarini tayyorlash imkonini mavjud.

Lazerli 3D skanerlar yordamida o'lchashning kamchiligi shundaki, obyektlarga cheklovlarning paydo bo'lishi, ularni raqamlashtirish zarurati hisoblanadi. Bu kamchiliklar odatda yaltiroq, shaffof yuzalarda yuz beradi [4,5]. Lazerli 3D-skanerlash usuli detallar va ular yuzalarining aniq geometriyasini xosil qilish, murakkab ko'rinishdagi yuzalarni nazorat qilishni avtomatlashtirish imkonini beradi.



Lazerli triangulyatsiya prinsipi lazer nurlarini ma'lum burchak ostida silindrlar gilzalariga yo'naltirilgan proyeksiyasiga asoslanadi. Lazer datchigi markazidan tasvir nuqtasigacha bo'lgan (L) masofa quyidagi ifodadan aniqlanadi [7]:

$$L = \frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha+\beta)} \quad (1)$$

bu yerda: B- nurlantirgich va qabul qilgich orasidagi masofa;

α - lazer nurining tushish burchagi;

β – qaytish burchagi, u yorug'lik dog'ining fotoqabulqilgichdagi holatiga qarab aniqlanadi.

Gaz dvigateli silindrlar gilzalari ichki diametrini hisoblash algortimi gilzalar balandligini A-A va B-B tekisliklarda bir necha ketma-ket kesmalarga ajratishdan iborat bo'ladi. Lazerli o'lchash kallagi yoki gaz dvigateli silindrlar gilzasi 360° burchakda aylantirib turiladi, gilza balandligi bo'yicha 3D skaner yordamida gilzaning ichki yuzasi skaner qilinadi. Har bir kesimda diametr hisoblanadi. Agar lazerli datchik geometrik markaz bo'yicha aylanayotgan bo'lsa, gilza diametri barcha qarama-qarshi nuqtalar jufti uchun hisoblanadi [8,9]:

$$D = L_1 + L_2 + 2d_c \quad (2)$$

bu yerda: L_1 va L_2 – qarama- qarshi devorlargacha o'lchangan masofa, d_c – o'lchash kallagi diametri.

Silindrlar gilzasi ichki diametrini o'lchashda, datchikning noma'lum markazidagi xord usulidan foydalanish mumkin. Gilza ichki diametrini quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin [8]:

$$D = 2R = \frac{a^2}{4h} + h \quad (3)$$

bu yerda: a – ikkita nuqta orasidagi masofa, h – nur yoyigacha bo'lgan masofa.

O'lchash aniqligini baholash uchun instrumental va o'lchash usuli hatoliklari yig'indisi hisobga olinadi.

Matritsa yorug'ligi hatoligi quyidagi ifodadan aniqlanadi [8,9]:

$$\delta = \frac{p}{M \cdot \cos(\beta)} \quad (4)$$

bu yerda: p - piksel o'lchami, M – obyektivning ortishi.

Lazer uskunasi burchak hatoligi, lazer nurining radial yo'nalishda og'ishida yuzaga keladi.

Obyektiv linzalarining buzilishining optik abberatsiyalari o'lchov asbobini etalon halqalarga moslab sozlashni talab etadi.

Gaz dvigatellar silindrlar gilzalari ichki diametrining yeyilishini va geometrik ko'rsatkichlarini aniqlashda nominal o'lchamlar va geometrik ko'rsatkichlardan foydalaniladi.

Gaz dvigateli D-243 ning silindrlar gilzalari nominal o'lchamlari $D_{nom} = 110$ mm., qo'yim 0,02-0,04 mm, gilz balandligi $H = 245$ mm. O'lchash diapazoni yeyilish kattaligini hisobga olib, 110,00 . . . 110,50 mm. ni tashkil etadi. Gilza ichki diamterini o'lchash uchun, o'lchash kallagi diamteri $d = 50$ mm. tanlanadi. Bunda datchikdan gilza devorigacha bo'lgan (L_{nom}) masofani aniqlashda quyidagi ifodadan foydalaniladi:

$$L_{nom} = \frac{D_{nom} - d_c}{2} = \frac{110 - 50}{2} = 30 \text{ mm.}$$

Hisoblash uchun lazerli datchikning konstruktiv ko'rsatkichlarini ham kiritish kerak.

Datchik bazasi (B)- nurlantirgich va qabul qiluvchi matritsa markazi orasidagi masofa 20 mm. ni tashkil etadi.

Lazer nurining nominal tushish burchagi $\alpha = 90^\circ$, lazer nuri gilza ichki devoriga tik yo'naltirilgan. Nominal qaytish burchagi - β , uchburchak geometriyasidan aniqlanadi. Bunda $L_{nom} = 30$ mm.

$$\tan(\beta) = \frac{B}{L_{nom}} = \frac{20}{30} = 0,667 \rightarrow \beta \approx 33,69^\circ$$

Yeyilgan silindr gilzasini skanerlashda, $D = 140$ mm, L masofa 30,20 mm. gacha ortadi. β -burchak o'zgarishi quyidagicha aniqlanadi [7-11]:

$$\beta_{orz} = \arctan\left(\frac{20}{30,20}\right) \approx 33, 51^\circ$$



Gaz dvigateli silindrlar gilzasi ichki yuzasi geometriyasini – konuslik, ovalsimonlikni aniqlashda. O'lchash hatoligi 0,005 mm, dan, ya'ni 5 mkm. dan oshmasligi kerak. Matritsa pikseli $p = 4,5$ mkm. Bo'lganda va obyektivning optik uzayishi $M = 1$. O'lchash hatoligi va obyektiv uzayishini hisobga olib, ΔL masofani quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\Delta L = \frac{p}{M \cdot \sin(\beta)} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}}{1 \cdot \sin(33,69^\circ)} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{0,5547} \approx 0,0081 \text{ mm}, (8,1 \text{ mkm})$$

O'lchash aniqligining 5 mkm qiymatiga erishish uchun, $M \approx 1,6$ ga oshirilgan obyektivdan foydalanish, yoki subpiksel algortimi interpolyatsiyasidan foydalanish kerak, ya'ni, lazerning energetik dog' izini matritsada 0,5 piksel aniqlikda aniqlash kerak, u diskretlash qadamini ~ 4 mkm ga kamaytiradi.

Gaz dvigateli silindrlar gilzasi ishchi yuzasini skanerlashning matematik ifodalanishida ma'lumotlarni olish o'zgartirish funksiyasi bilan ifodalanadi [8-11]:

$$P_{scan} = M_{transform} \cdot P_{sensor} + \epsilon \quad (5)$$

bu yerda: P_{scan} - triangulyatsion lazer lokal tizimidagi nuqtalar koordinatalari;

P_{sensor} – skanerni gilza ichida siljishi yoki burilishi o'tish matritsasi;

ϵ - tasodifiy hatolik.

Gaz dvigateli silindr gilzasining butun balandligi bo'yicha ichki yuza geometriyasi algoritmini tuzamiz. Gilzaning ishchi yuzasi yeyilish miqdorini va geometriyasi o'zgarishini aniq baholash uchun, $H = 245$ mm balandlik bo'ylab 5 mm qadamda, gilzani 360° ga aylantirib skanerlash amalga oshiriladi.

Matritsa yorug'lik izining siljishini hisobga oladi- $\beta(\theta)$ burchak hisoblab topiladi. Radiusni aniqlashda quyidagi ifodadan foydalanamiz [7-11]:

$$R(\theta) = \frac{B}{\tan(\beta(\theta))} + \frac{d_c}{2} \quad (6)$$

Kesimdagi diametrni quyidagicha aniqlanadi:

$$D_{orl} = R(\theta) + R(\theta + 180)$$

$D(\theta, z)$ massiv ma'lumotlari asosida gaz dvigateli silindrlar gilzasi ishchi yuzasi ning shakldan og'ishini aniqlash mumkin.

bu yerda: z - gilza balandligi koordinatasi (0. . . 245 mm).

Gilza ovalligini quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$\Delta_{ov} = D_{\max}(z) - D_{\min}(z) \quad (7)$$

Ovallik qiymati har bir kesim uchun hisoblanadi.

Gaz dvigateli silindrlar gilzasi ishchi yuzasini o'lchashda ishlatilayotgan optik usul gilza ishchi yuzasini qiya yoki to'la yoritishga va yuza konturini matritsaga proyeksiyalashga asoslangan.

Silindrlar gilzasi ishchi yuzasi geometriyasi matematik ifodalanadi. Yeyilgan yoki deformatsiyalangan gilzaning ishchi yuzasi (r, φ, z), koordinatalarda ifodalanadi, radius (r) burchak (φ) ning va balandlik (z) ning funksiyasi hisoblanadi [8-11]:

$$r(\varphi, z) = R_0 \Delta + \Delta r_{og'ish}(\varphi, z) + \Delta r_{grad}(\varphi, z) \quad (8)$$

$$R_0 = \frac{D_0}{2} = 55 \text{ mm} - \text{gilzaning nominal radiusi};$$

$\Delta r_{og'ish}(\varphi, z)$ - shakldan makro chetga chiqish;

$\Delta r_{grad}(\varphi, z)$ - yuza mikroprofili.

Silindrik koordinatalardagi yeyilish funksiyasi $\Delta r_{ye}(\varphi, z)$ - quyidagicha ifodalanadi [8-11]:

$$\Delta r_{ye}(\varphi, z) = f_{prof}(z) \cdot [a_0 + a_2 \cos(2\varphi)], \quad (9)$$

a_0 - koeffitsiyent radiusning o'rtacha ortishini bildiradi;

a_2 - koeffitsiyent porshen kuchi ta'sirida gilza yuzasining o'zgarish geometriya- sini bildiradi.

Yeyilishdan makro chetga chiqishlar polinom bilan yoki Furye qatori bilan burchak

koordinatasida modellanadi [8-11]:

$$\Delta r_{grad}(\varphi, z) = a_0(z) + \sum_{k=1}^N a_k(z) \cos(k\varphi) + b_k(z) \sin(k\varphi) \quad (10)$$

$k = 2$ gilza ellipsligini bildiradi.



Gilza tashqi o'lchamlarini o'lchashdan farqli ravishda, ($D = 110 \text{ mm}$) ichki yuza uchun gilza ichiga kiritiladigan o'lchash optik kalibri sxemasidan foydalaniladi. Quyida aniq sxema uchun ichki konussimon kuzgu yoki telemarkaz optikasi uchun matematik modelni keltiramiz.

O'lchash optik kalibrini gilza ichiga (z)-o'qi bo'ylab kiritishdagi modelning fizikaviy matematikaviy sxemasi, yorug'lik manbai, konussimon ko'zgu va qabul qiluvchi matritsadan tashkil topgan- (CMOS). Yorug'lik nurlari gazodizel gilzasining ichki devoriga tushadi. Gilza devorlari bilan yopilgan qismi halqasimon soya kartinasini matritsada shakllantiradi.

Gilza ishchi yuzasini proyeksiyalash geometriyasi tenglamasini tuzamiz. Radiusni soya koordinatalari bo'yicha aniqlaymiz. Parallel yorug'lik nuri konussimon ko'zguga burchak ostida yo'naltirilgan, uning balandligi 2γ , yorug'lik nurini 90° ga burish uchun $\gamma = 45^\circ$ ga teng. Matritsa videokamerasidagi tasvir chegarasi koordinatasi r_{matr} silindr gilzasi ichki diametrining haqiqiy radiusiga R_{tsil} ga, obyektivni optik uzaytirish koeffitsiyenti β_{opt} orqali bog'liq. Bundan, gaz dvigateli silindrlar gilzasining o'lchanadigan diametri quyidagicha aniqlanadi [8-11]:

$$r_{\text{mat}} = \beta_{\text{opt}} \cdot R_{\text{ts}} \quad (11)$$

$$D_{\text{ts}} = 2 \cdot \frac{r_{\text{matr}}}{\beta_{\text{opt}}} \quad (12)$$

Matritsada soya tasvir koordinatasi pikselda ifodalanadi. Agar N_{pic} – matritsa optik markazidan “yorug'lik-soya” chegarasigacha pikseldagi masofa bo'lsa, p - matritsaning bir pikseli o'lchami (mm), unda:

$$r_{\text{mat}} = N_{\text{pic}} \cdot p \quad (13)$$

O'lchanayotgan diametrning to'liq matematik modelini quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$D_{\text{ts}} = \frac{2N_{\text{pic}}p}{\beta_{\text{opt}}} \quad (14)$$

Optik triangulyatsiya va bulut nuqtalarini shakllanishini amalga oshiramiz. Buning uchun, lazerli datchik yorug'lik nurini $\theta(t)$ burchak ostida yo'naltiradi deb hisoblaymiz. Yorug'lik nurining gilzaning haqiqiy yuzasi bilan kesishish nuqtasi nazariy koordinatalarga ega bo'ladi [8-11]:

$$\vec{P}_{\text{haq}}(t) = \begin{pmatrix} r(\theta, z) \cos(\theta) \\ r(\theta, z) \sin(\theta) \\ z \end{pmatrix}, \quad (15)$$

Datchik gilza devorigacha bo'lgan masofani qayd etadi. O'lchangan masofa $d_{ol}(t)$ haqiqiy masofani va yuza g'adir-budurligi natijasida yuzaga kelgan optik hatolik ϵ_{opt} dan iborat bo'ladi: O'lchangan masofa quyidagi ifodadan aniqlanadi [8-11]:

$$d_{ol}(t) [r(\varphi, z) - \sqrt{(X_o + \Delta x_s)^2 + (Y_o + \Delta y_s)^2}] + \epsilon_{\text{opt}} \quad (16)$$

Skanerlash burchagi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\theta(t) = \omega \cdot t \quad (17)$$

Har bir nuqtaning raqamli bulut $\vec{P}_{\text{bul}} = (X_{cl}, Y_{cl}, Z_{cl})$ koordinatasi quyidagi tenglamalar sistemasidan hisoblanadi [8-11]:

$$\begin{cases} X_{cl}(t) = X_0 + \Delta x_s(t) + d_{ol}(t) \cdot \cos(\omega t) \\ Y_{cl}(t) = Y_0 + \Delta y_s(t) + d_{ol}(t) \cdot \sin(\omega t) \\ Z_{cl}(t) = V_z \cdot t \end{cases} \quad (18)$$

Gaz dvigateli silindrlar gilzasi ichki yuzasini skanerlash uchun matritsa pikseli o'lchami (p) = $3,45 \text{ mkm} = 0,00345$ ga teng. Bu sony IMX o'lchash sensori uchun standart qiymat.

Optik ortish β_{opt} , ni diametri $D=110 \text{ mm}$ gilza ichiga, matritsa o'lchami, $\sim 12,8 \times 9,6 \text{ mm}$ bo'lganda joylashtirish uchun, yorug'lik nuri to'plamini kamaytirish kerak. $\beta_{\text{opt}} = 0,08$. Bo'lgan obyektivni tanlaymiz.

Tekshirilayotgan dvigatelning diametri $D=110,00 \text{ mm}$ bo'lgan gilzasi uchun:

$$N_{\text{pic}} = \frac{D_{\text{tsil}} \cdot \beta_{\text{opt}}}{2 \cdot p} = \frac{110 \cdot 0,08}{2 \cdot 0,00345} \approx 1275,36 \text{ piksel}$$

Matritsada soya halqasi radiusi taxminan 1275 pikselni tashkil etadi.



Soya chegarasining 1 pikselga siljishi $\Delta N_{pic} = 1$, gilza diametrining quyidagi qiymatga o'zgarishiga mos keladi:

$$\Delta D_{min} = \frac{2 \cdot 1 \cdot p}{\beta_{opt}} = \frac{2 \cdot 0,00345}{0,08} = 0,08625 \text{ mm} = 86,25 \text{ mkm}.$$

Yorug'lik intensivligi $I(x)$ ning "yorug'lik-soya" o'tishidagi taqsimlanishi Gauss funksiyasi bilan yoki hatolik integrali (ERF) bilan ifodalanadi.

Chegara koordinatalarini 0,05 pikselgacha aniqlikda aniqlash uchun, intensivlik gradiyenti massa markazi matematik modelidan foydalaniladi [8-11]:

$$N_{subpic} = \frac{\sum_{i=1}^{k+m} i \cdot |\nabla I_i|}{\sum_{i=1}^{k+m} i \cdot |\nabla I_i|} \quad (19)$$

bu yerda: I_i - i - pikselning o'tish zonasidagi intensivligi;

$\nabla I_i = I_{i+1} - I_{i-1}$ intensivlikning diskret gradiyenti.

Subpiksel aniqligi 0,05 piksel bo'lganda, modelning haqiqiy yorug'ligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$D_{real} = 86,25 \text{ mkm} \cdot 0,05 \approx 4,3 \text{ mkm}$$

Bu gaz dvigateli silindrlar gilzasi uchun belgilangan qo'yimni to'la qanoatlantiradi $\pm 5 \text{ mkm}$.

Gaz dvigateli silindrlar gilzalarida ichki yuza yeyilishi bilan bir qatorda yuza geometriyasi o'zgarishi kuzatiladi. Gilza yuzasining h balandlikdagi kesimda ovalligi (Δ_{ov}) bir tekislikda o'lchangan eng katta va eng kichik diametrlar farqi sifatida aniqlanadi:

$$\Delta_{ov}(h) = D_{mak}(h) - D_{min}(h) \quad (20)$$

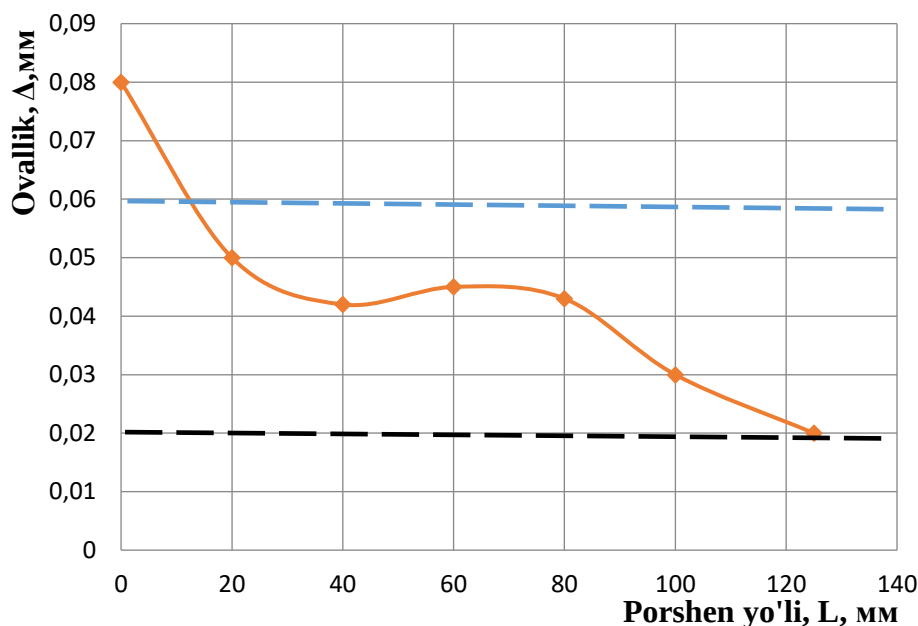
Gilza ovalligining namunaviy taqsimlanishi jadval 1 da keltirilgan.

Jadval 1

Gilza ovalligining namunaviy taqsimlanishi

Balandlik bo'yicha kesim	Ovallik ko'rinishi	Sababi
0–15 mm (YUCHN)	Maksimal (0.08–0.12 mm)	Gilza yuqorisida yuqori gaz bosimi va termik deformatsiya
60 mm (o'rta qismi)	meyorida (0.03–0.05 mm)	Porshen yubkasining yon yuklamasi
115 mm (PCHN)	Minimal (0.01–0.02 mm)	Kam yuklanishlar va porshenning barqarorlashishi

Gaz dvigatellarda gilza ishchi yuzasi ovalligi notekis taqsimlanadi. Ovallik qiymati yuqori chekka nuqtada yuqori porshen halqasi to'xtagan joyda eng katta qiymatda bo'ladi, asta sekin gilza balandligi bo'yicha pastga qarab kamayib boradi. Gilza pastki qismida porshenning gilza devoriga beradigan yuklamasi miqdori va termik yuklanishlar miqdori kam.



Rasm 1. Gaz dvigateli gilzasi ovalligining porshen yo'liga bog'liqligi

Xulosalar

1. Gaz dvigateli silindrlar gilzalari ishchi yuzasini ichki diametr o'lchamlari, shakl og'ishlarini nazorat qilishda kontaktsiz usullardan foydalanish o'lchash aniqligini oshiradi va o'lchashlarga sarflangan vaqt miqdori kamayadi.

2. Optik ortish β_{opt} , ni, matritsa o'lchami $\sim 12,8 \times 9,6$ mm bo'lganda, diametri $D=110$ mm bo'lgan gilza ichiga joylashtirish uchun, yorug'lik nuri to'plamini kamaytirish kerak $\beta_{opt} = 0,08$.

3. Silindrlar gilzasi ishchi yuzasini lazer texnologiyalari asosida nazorat qilishda subpiksel aniqligi 0,05 piksel bo'lganda, modelning haqiqiy yorug'ligi 4,3 bo'ladi

4. Gilza ovalligining eng katta qiymati yuqori chekka nuqtada, yuqori porshen halqasi to'xtagan qismida bo'ladi.

Adabiyotlar:

1. Журавель Д.П. Влияние процессов старения и загрязнения моторных масел на изнашивание основных узлов тракторных двигателей/ I Міжнародна науково-практична конференція «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» 01-24 квітня 2020 р
2. Лобза А. А., Васянина А. Ю., Ермоленко Д. А., Лобза В. С. Бесконтакт- ные методы 3d контроля геометрических параметров изделий. // Актуаль -ные проблемы авиации и космонавтики – 2018. Том 2 , с. 587-588
3. Кострицкий В.В., Лисовский А.Л., Дудан А.В. Создание микрорельефа на внутренней поверхности гильзы цилиндра с помощью лазерного излучения, // Вестник полоцкого государственного университета. Серия в промышленность. Прикладные науки. Машиноведение и машиностроение, 2015, № 3, с 45-53
4. Макеев А.В. Применение лазерных методов для контроля микрорельефа поверхности деталей.- 2015. С.43-50. <https://cyberleninka.ru/>
5. Прохоров В.Ю., Шамарин Ю.А., Краснов Н.Д. Исследования процесса изнашивания гильз блоков цилиндров дизельных двигателей. / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2017, том 2 238-240 стр.
6. Utaev C.A. Results of the study of wear products And contamination percentage of engine oils Of diesel and gas engines. Tractors and Agricultural Machinery Vol. 91 №6 2024.- p.1-8



7. Utaev C.A. Results of a study of the influence of oil contamination on wear of the working surface of diesel cylinder liners. Scientific and Technical Journal of NamIET vol.8 issue 4 2023. p 169-174
8. Buschinelli P, Pinto T, F Silva, J Santos и A Albertazzi Laser Triangulation Profilometer for Inner Surface Inspection of 100 millimeters (4”) Nominal Diameter Journal of Physics: Conference Series 648 (2015) 012010
9. Buschinelli P, T Pinto1 , F Silva, J Santos and A Albertazzi Laser triangulation profilometer for Inner surface inspection of 100 millimeters (4”) nominal diameter // Journal of Physics: Conference Series 648 (2015) 012010 doi:10.1088/1742-6596/648/1/012010
10. 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>
11. 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