


UO‘K: 621:531.3.164

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.14

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

MASHINALI KO‘RISH TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA SILINDRIK G‘ILDIRAKLARNING EVOLVENT TISHLARI PROFILINI NAZORAT QILISH USULINI ISHLAB CHIQUISH



**Jo'rayev Nodirbek
Normurodovich**

PhD, dotsent, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: Nodirjura@mail.ru
ORCID ID: 0009-0004-5149-5901
Science ID: FSN-1225-0073



**Ataullayev Azizjon
Odilovich**

PhD, dotsent, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: aziz-217@mail.ru
ORCID ID: 0009-0001-2761-8850
Science ID: FNV-1225-0023



**Egamberdiyev Ilhom
Pulatovich**

DSc, professor, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: ilhom1977@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-7549-2156



**Yaxshiyev Sherali
Namozovich**

DSc, professor, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail:
sheraliyaxshiyev1978@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-3259-9735
Science ID: DBX-0326-0026

Annotatsiya. Ishda mashina ko‘rishi texnologiyalari va uch o‘lchamli geometrik ma‘lumotlarni qayta ishlashga asoslangan silindrik tishli g‘ildiraklarning evolventali profilini nazorat qilishning yangi usuli taqdim etilgan. Tadqiqotning dolzarbligi mavjud yondashuvlarda (koordinata-o‘lchov mashinalari, optik va qiyosiy usullar) o‘lchashlarning yuqori aniqligi, tezligi va narxi o‘rtasidagi ziddiyatni bartaraf etish zarurati bilan izohlanadi. Tadqiqotning maqsadi ixtisoslashtirilgan tish o‘lchash uskunalari va etalon CAD modellarini talab qilmaydigan, qulay, yetarlicha aniq va avtomatlashtirilgan nazorat usulini ishlab chiqishdan iborat.

Kalit so‘zlar: evolvent profil, silindrik tishli g‘ildiraklar, mashinaviy ko‘rish, nuqtalar buluti, STEP-format, geometriyani nazorat qilish, profil og‘ishi, ICP-algoritm, ISO 1328.

Received: 10.05.2026

Accepted: 08.06.2026

Published: 29.06.2026

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПРОФИЛЯ ЭВОЛВЕНТНЫХ ЗУБОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

**Жураев Нодирбек
Нормуродович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор философии
(PhD) по техническим наукам,
доцент, Навои, Узбекистан

**Атауллаев Азизжон
Одилевич**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор философии
(PhD) по техническим наукам,
доцент, Навои, Узбекистан

**Эгамбердиев Илхом
Пулатович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор технических
наук (DSc), профессор, Навои,
Узбекистан

**Яхшиев Шерали
Намозович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор технических
наук (DSc), профессор, Навои,
Узбекистан

Аннотация. В работе представлен новый метод контроля эвольвентного профиля цилиндрических зубчатых колес, основанный на технологиях машинного зрения и трехмерной обработке геометрических данных. Актуальность исследования объясняется необходимостью устранения противоречий между высокой точностью, скоростью и стоимостью измерений в

существующих подходах (координатно-измерительные машины, оптические и сравнительные методы). Целью исследования является разработка удобного, достаточно точного и автоматизированного метода контроля, не требующего специализированного зубоизмерительного оборудования и эталонных CAD-моделей.

Ключевые слова: эвольвентный профиль, цилиндрические зубчатые колеса, машинное зрение, облако точек, STEP-формат, контроль геометрии, отклонение профиля, ICP-алгоритм, ISO 1328.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CONTROLLING THE EVOLVENT TEETH PROFILE OF CYLINDRICAL WHEELS BASED ON MACHINE VIEW TECHNOLOGIES

**Juraev Nodirbek
Normurodovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, PhD in
Technical Sciences, Associate
Professor, Navoi, Uzbekistan

**Ataullaev Azizjon
Odilovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, PhD in
Technical Sciences, Associate
Professor, Navoi, Uzbekistan

**Egamberdiev Ilkhom
Pulatovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, Doctor of
Technical Sciences (DSc),
Professor, Navoi, Uzbekistan

**Yakhshiev Sherali
Namozovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, Doctor of
Technical Sciences (DSc),
Professor, Navoi, Uzbekistan

Abstract. The work presents a new method for controlling the evolving profile of cylindrical gears based on machine vision technologies and three-dimensional geometric data processing. The relevance of the research is explained by the need to eliminate the conflict between high measurement accuracy, speed, and cost in existing approaches (coordinate-measuring machines, optical and comparative methods). The aim of the study is to develop a convenient, sufficiently accurate, and automated control method that does not require specialized dental measuring equipment and reference CAD models.

Keywords: evolving profile, cylindrical gears, machine vision, point cloud, STEP format, geometry control, profile deviation, ICP algorithm, ISO 1328.

Kirish. Tishli g'ildiraklar geometriyasini nazorat qilish mexanik andozalar va shtangensirkullardan tortib zamonaviy koordinata-o'lchov mashinalari (KO'M) va optik tizimlargacha bo'lgan uzoq rivojlanish yo'lini bosib o'tdi. Tishli uzatmalarni nazorat qilishga tizimli yondashuvning boshlanishi XX asrning o'rtalarida milliy aniqlik standartlarining (DIN, AGMA, GOST 1643-81) joriy etilishi bilan boshlangan. Lipson [1] va Kalininning [2] klassik ishlari nazorat qilinadigan parametrlar nomenklaturasi uchun nazariy asos yaratdi. 1970-80-yillarda tish profilini nazorat qiluvchi maxsus asboblardir-evolventomerlar faol rivojlandi. Muammoning hozirgi holatini tahlil qilish evolventali profilni nazorat qilishning uchta asosiy yondashuvini ajratib ko'rsatish imkonini beradi: koordinata-o'lchov, optik va qiyosiy. Koordinata-o'lchov usuli eng aniq (xatolik 0.5-1 mkm gacha) va determinatsiyalangan hisoblanadi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Tabachnikov [3] va Fedotov [4] ishlarida ushbu qurilmalarning kinematik sxemalari va xatoliklarni

baholash usullari batafsil bayon etilgan. Biroq, bunday asboblardir yagona o'lchashlarga mo'ljallangan bo'lib, operatorning yuqori malakasini talab qilardi. 1990-yillarda raqamli texnologiyalarga o'tish birinchi kompyuter tish o'lchash tizimlarining paydo bo'lishiga olib keldi. Shveysariyaning Klingelnberg [1] va Germaniyaning Ho'fler [2] kompaniyalari tish o'lchash markazlarining sanoat namunalarni ishlab chiqdilar, ular hali ham sohadagi etalon hisoblanadi. Muammoning hozirgi holatini tahlil qilish evolventali profilni nazorat qilishning uchta asosiy yondashuvini ajratib ko'rsatish imkonini beradi: koordinata-o'lchov, optik va qiyosiy. Koordinata-o'lchov usuli eng aniq (xatolik 0.5-1 mkm gacha) va determinatsiyalangan hisoblanadi. Goxning tadqiqotlari [7] shuni ko'rsatadiki, zamonaviy KO'Mlar tish profilidagi 200 tagacha nuqtani o'lchash va keyinchalik ISO 1328 bo'yicha og'ishlarni hisoblash imkonini beradi. Biroq, Smitning ta'kidlashicha [8], bunday tizimlarning narxi (150-500 ming dollar) va o'lchash vaqti (bir g'ildirak uchun 15-30 daqiqa)

ularni seriyali ishlab chiqarishda qo'llashni cheklaydi. Optik usullarga lazerli triangulyatsiya, strukturali yoritish va fotogrammetriya kiradi. Petrov [9] va Vang [10] ishlarida optik usullarning aniqligi skanerlash vaqti 1-3 daqiqa bo'lganda 5-20 mkm ga yetishi ko'rsatilgan. Kozlovning [11] sharhida qayd etilgan asosiy muammo aynan evolventali profilni ajratib olish uchun nuqta bulutlarini avtomatik qayta ishlashning murakkabligidir. Taqqoslash usullari etalon profillar va optik komparatorlardan foydalanadi. Soddaligi va arzonligi ularni sex nazorati uchun jozibador qiladi, biroq Radzevich [12] ta'kidlaganidek, bu usullar og'ishlarni miqdoriy baholashni ta'minlamaydi va operatorning malakasiga bog'liq.

Tishli g'ildiraklarni nazorat qilish uchun mashina ko'rishini qo'llash bo'yicha birinchi ishlar 2000-yillarning boshlarida paydo bo'ldi. Shuls va boshqalar [13] g'ildirakning binar tasviri bo'yicha modul va tishlar sonini aniqlash usulini taklif etdilar. Usulning aniqligi moduli 2 mm dan katta bo'lgan g'ildiraklar uchun 95% ni tashkil etdi. Chuqur neyron tarmoqlarining paydo bo'lishi bilan sezilarli yutuqlarga erishildi. Chen va Li [14] tasvir bo'yicha tishli g'ildirak turini tasniflash uchun konvolyutsion neyron tarmoqlardan (CNN) foydalanib, 98,7% aniqlikka erishdilar. Biroq, mualliflarning ta'kidlashicha, tarmoq cheklangan tanlanmada (g'ildiraklarning 5 ta sinfi) o'qitilgan va miqdoriy og'ishlarni baholash imkonini bermagan. Ushbu tadqiqot mavzusiga eng yaqin bo'lgan ish Garsiya va Martinesning [15] ishi bo'lib, unda 3D skanerlashdan foydalanish va nuqtalar bulutini CAD modeli bilan taqqoslash taklif etilgan. Mualliflar profil og'ishlarini aniqlash aniqligi 0.025 mm ekanligini ma'lum qilishadi, biroq bu usul etalon CAD modelini talab qiladi, bu esa ta'mirlash ishlab chiqarishi sharoitida har doim ham mumkin emas.

Tishli g'ildiraklarni nazorat qilish uchun dasturiy ta'minot bozori ham tijorat, ham ochiq yechimlar bilan taqdim etilgan. Tijorat tizimlari - GearPro (Klingelnberg), GAMA (Gleason), GearCal (Hexagon) - to'liq funktsionallikka ega, ammo yuqori narxga ega (dan). va ma'lum bir o'lchov uskunasiga bog'langan [16]. Ochiq yechimlar (OpenGear, PyGear) ishlab chiqishning dastlabki bosqichida. GitHub repozitoriyalari tahlili shuni ko'rsatadiki, mavjud loyihalar nazariy

evolventa bilan profilni to'liq taqqoslashni amalga oshirmaydi va STEP formatini qo'llab-quvvatlamaydi [17].

Har qanday evolventali tishli uzatma geometriyasining asosida aylana evolventasi tushunchasi yotadi, u asosiy deb ataladigan qo'zg'almas aylanada sirpanmasdan dumalab yuruvchi to'g'ri chiziqqa tegishli nuqta bilan chiziladigan tekis egri chiziqdan iborat. Aynan shu xususiyat uzatish nisbatining doimiyligini va o'qlararo masofaning kichik o'zgarishlariga sezgir emasligini ta'minlaydi, bu esa zamonaviy mashinasozlikda evolventali ilashmaning keng tarqalishini tushuntiradi. Evolventali profilli silindrik tishli g'ildirakning to'liq geometrik tavsifi uchun bir nechta asosiy parametrlarni berish kerak. Avvalo, bu modul bo'lib, u tishlarning o'lchamini belgilovchi asosiy hisobiy parametr hisoblanadi. Tishlar soni modul bilan birgalikda bo'luvchi diametрни belgilaydi, u tishlashish qadami standart qiymatga teng bo'lgan aylana diametринi ifodalaydi. Standartlashtirilgan qiymati bo'lgan boshlang'ich kontur profilning burchagi evolventa shaklini va asosiy aylananing holatini belgilaydi.

$$r = m \cdot z / 2 \quad (1)$$

$$r_b = r \cdot \cos \alpha \approx 0.9397$$

$$h_f = 1.25m = 0.25m$$

Asosiy aylana radiusi evolventani qurishda asosiy geometrik parametr hisoblanadi. U bo'luvchi radius bilan munosabat orqali bog'langan. Profilning standart burchagi bo'lgani uchun, bu esa asosiy aylana bo'luvchi aylanadan taxminan 6% kichikligini anglatadi. Tish boshchasining balandligi m modulga, oyoqchanning balandligi esa ga teng deb qabul qilinadi, bu esa bir g'ildirak tishining uchi va ikkinchisining chuqurchasi orasidagi radial tirqishni ta'minlaydi.

Evolventaning matematik tavsifi uchun eng qulayi to'g'ri burchakli koordinatalar tizimidagi parametrik shakl bo'lib, u yoyilma burchagiga qarab egri chiziqning istalgan nuqtasi koordinatalarini bevosita hisoblash imkonini beradi. Parametrik tenglamalarni keltirib chiqarish yasovchi to'g'ri chiziqning asosiy aylana bo'ylab dumalashida yuzaga keladigan geometrik munosabatlarni ko'rib chiqishga asoslangan. Radiusning asosiy aylanasini koordinatalar boshida joylashgan bo'lsin. Yasovchi to'g'ri chiziqni (radianlarda o'lchanadigan) burchakka burganda, dastlab to'g'ri chiziqning

aylanaga urinish nuqtasida turgan nuqta yangi vaziyatga ko'chadi. Urinish nuqtasining asosiy aylana bo'yab o'tgan yoyining uzunligi ga teng, bu sirpanishsiz dumalash shartiga ko'ra urinish nuqtasidan qaralayotgan nuqtagacha to'g'ri chiziq hosil qilgan kesmaning uzunligiga teng. Urinish nuqtasida aylanaga o'tkazilgan urinmaning yo'nalishini hisobga olgan holda quyidagi parametrik tenglamalar hosil bo'ladi:

$$\begin{cases} x(\theta)=r_b \cdot (\cos \theta + \theta \cdot \sin \theta) \\ y(\theta)=r_b \cdot (\sin \theta - \theta \cdot \cos \theta) \end{cases} \text{ bu yerda } \theta \in [0, \theta_{\max}] \quad (2)$$

$$\theta = 0$$

$$x=r_b$$

$$y=0$$

$$\theta_{\max} r_a = r_b + m$$

Parametr evolventa burchagi yoki yoyilma burchagi deb ataladi va radianlarda o'lchanadi. Nuqta asosiy aylanada vaziyatda yotadi. O'sish bilan nuqta asosiy aylanadan uzoqlashadi, shu bilan birga bu uzoqlashish tezligi ortadi, chunki evolventa egrilik radiusi monoton o'suvchi egri chiziqdir. Parametr o'zgarishining yuqori chegarasi tishlar uchlari aylanasining radiusi bilan aniqlanadi. Geometrik mulohazalardan quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$\theta_{\max} = \sqrt{\left(\frac{r_a}{r_b}\right)^2 - 1} \quad (3)$$

$$m = 2.5 \text{ mm}$$

$$z = 24$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$\theta_{\max} = 64^\circ$$

Moduli, tishlar soni va profil burchagi bo'lgan standart tishli g'ildiraklar uchun qiymat taxminan 1.12 radianni tashkil etadi, bu taxminan evolventa yoyilmasiga mos keladi.

To'g'ri burchakli koordinatalardan tashqari, ba'zi masalalarni yechish uchun, xususan, profil nuqtasining o'lchangan koordinatalari bo'yicha g'ildirakning burilish burchagini aniqlash uchun evolventa tenglamasining qutbiy shakli foydalidir. Markazi koordinatalar boshida bo'lgan qutb koordinatalarida evolventa tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\rho(\theta) = \frac{r_b}{\cos \alpha_\theta}, \quad (4)$$

$$\alpha_\theta = \arctan \theta$$

bu yerda - berilgan nuqtadagi profil burchagi bo'lib, u nuqtaning radius-vektori va shu nuqtadagi evolventa urinmasi orasidagi burchakni ifodalaydi.

Qutb burchagi (radius-vektor va X o'qining musbat yo'nalishi orasidagi burchak) va evolvent parametr o'rtasidagi bog'liqlik quyidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$\varphi = \theta - \arctan \theta$$

Bu bog'liqlik noxiziqli bo'lib, teskari masalani yechishda, ya'ni nuqtaning ma'lum koordinatalari bo'yicha parametrni aniqlashda ma'lum hisoblash qiyinchiliklarini keltirib chiqaradi.

ISO 1328-1:2013 xalqaro standartiga muvofiq, tish profilining og'ishi deganda, o'lchash natijasida olingan haqiqiy profil va parametrlarning nominal qiymatlarida ushbu g'ildirak uchun qurilgan nazariy evolvent profil o'rtasidagi farq tushuniladi. Standart bir nechta o'zaro bog'liq ko'rsatkichlarni kiritadi, ularning har biri tish shaklining og'ishining ma'lum bir jihatini tavsiflaydi.

$$\{Q_i\}_{i=1}^n Q_i = (x_i, y_i) \theta \quad (5)$$

Faraz qilaylik, nazariy evolventa parametrik tenglamalar bilan berilgan, real profil esa skanerlash yoki boshqa o'lchashlar natijasida olingan nuqtalar to'plami ko'rinishida berilgan bo'lsin. U holda har bir nuqta uchun nazariy evolventagacha bo'lgan masofani aniqlash mumkin. Biroq, masofani bevosita hisoblash murakkablashadi, chunki evolventa odatdagi ma'noda funksiya grafigi emas va parametr va nuqtalar koordinatalari o'rtasidagi moslik teskari tomonga bir qiymatli emas. Ixtiyoriy nuqtadan evolventagacha bo'lgan eng qisqa masofani topish masalasi bir o'lchovli optimallashtirish masalasiga keltiriladi:

$$\delta(Q) = \min_{\theta \in [\theta_{\min}, \theta_{\max}]} \sqrt{(x(\theta) - x_Q)^2 + (y(\theta) - y_Q)^2} \quad (6)$$

Masofa funksiyasi qaralayotgan oraliqda silliq va unimodal bo'lib, bu qidiruvning samarali sonli usullaridan, xususan, oltin kesim usuli yoki dixotomik bo'lish usulidan foydalanish imkonini beradi. Oxirgisi chiziqli yaqinlashishga ega bo'lib, amalga oshirishning soddaligini va amaliy maqsadlar uchun yetarli aniqlikni ta'minlaydi.

F_α profilning har bir nuqtasi uchun nazariy evolventagacha bo'lgan minimal masofa topilgandan so'ng, og'ishlarning asosiy xarakteristikalari hisoblanadi. Ulardan birinchisi profilning umumiy og'ishi bo'lib, u maksimal va minimal og'ishlar o'rtasidagi farq sifatida aniqlanadi:

$$F_{\alpha} = \max_i \delta_i - \min_i \delta_i \quad (7)$$

$$m = 2.5 \text{ mm} \quad F_{\alpha} = 30 \text{ mkm}$$

Bu ko'rsatkich og'ishlarning umumiy tarqoqligini tavsiflaydi va profil sifatining eng umumiy mezoni hisoblanadi. Moduldagi 8-darajali aniqlikdagi g'ildiraklar uchun profilning umumiy og'ishiga ruxsat etilgan qiymat ni tashkil etadi.

Og'ishlar xarakteri haqida batafsilroq ma'lumotni profil qiyligining og'ishi beradi, u og'ishlar massividan chiziqli trendni ayirgandan so'ng hisoblanadi. Agar og'ishning nuqta raqamiga (yoki faol profil uzunligiga) bog'liqligini chiziqli funksiya bilan yaqinlashtirsak, u holda qiylalik og'ishi ushbu chiziqli funksiyaning faol profilning yuqori va pastki nuqtalaridagi qiymatlarining profil uzunligiga nisbatidagi farqi sifatida aniqlanadi:

$$f_{\text{ha}} = \frac{\delta_{\text{верх}} - \delta_{\text{низ}}}{L_{\alpha}} \quad (8)$$

bu yerda - tishning faol profili uzunligi. Musbat qiymat haqiqiy profilning tish cho'qqisi tomonga "yiqilganini", manfiy qiymat esa oyoqcha tomonga "yiqilganini" ko'rsatadi.

Profil shaklining og'ishi qiylalik chiqarib tashlangandan keyin qoladigan umumiy og'ishning tashkil etuvchisidir. Rasmiy ravishda u haqiqiy profil va chiziqli trendni ayirgandan so'ng o'tkazilgan o'rta chiziq o'rtasidagi maksimal masofa sifatida aniqlanadi:

$$f_{\text{fa}} = \max_i (\delta_i - (ki+b)) - \min_i (\delta_i - (ki+b)) \quad (9)$$

Bu ko'rsatkich tishlarga ishlov berishdagi to'liqsimonlik, g'adir-budurlik yoki tebranish izlari kabi profilning mahalliy buzilishlariga sezgir bo'ladi.

Nihoyat, o'rtacha profilning og'ishi og'ishlarning tizimli tarkibiy qismini tavsiflaydi va trendni chiqarib tashlagandan so'ng og'ishlarning o'rtacha arifmetik qiymati sifatida hisoblanadi:

$$C_{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\delta_i - (ki+b)) \quad (10)$$

Natijalar. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida silindrik g'ildiraklarning evolventali tishlari profilini nazorat qilish usuli ishlab chiqilgan bo'lib, u mashina ko'rishi va uch o'lchamli geometrik

ma'lumotlarni qayta ishlash texnologiyalarini qo'llashga asoslangan bo'lib qo'yidagi natijalarga erishildi:

1) Ish davomida mavjud nazorat usullarining kompleks tahlili o'tkazildi, bu esa o'lchashlarning aniqligi, tezligi va narxi o'rtasida jiddiy qarama-qarshilik mavjudligini ko'rsatdi. Aniqlanishicha, an'anaviy koordinata-o'lchov usullari yuqori aniqlikni ta'minlaydi, biroq katta vaqt sarfi va uskunalarning yuqori narxi bilan tavsiflanadi, optik va qiyosiy usullar esa aniqlik va avtomatlashtirish darajasi bo'yicha pastroq.

2) Egri chiziqning parametrik tavsifi, og'ishlarni aniqlash usullari va ISO 1328 standartiga muvofiq aniqlik xususiyatlarini hisoblash algoritmlarini o'z ichiga olgan evolventali profilning matematik modeli ishlab chiqildi. O'lchangan nuqtalardan nazariy evolventagacha bo'lgan minimal masofani topishning maqbul hisoblash xarajatlarida yetarli aniqlikni ta'minlaydigan samarali algoritmi taklif etilgan.

Muhokama. STEP-fayllardan geometrik ma'lumotlarni ajratib olish, nuqtalar bulutini filtrlash, alohida tish profilini ajratib olish va nazariy profilga nisbatan haqiqiy profilni tekislash bosqichlarini o'z ichiga olgan ma'lumotlarni qayta ishlash usuli shakllantirildi. Iteratsion birlashtirish algoritmini qo'llash profillarni qayd etishning yuqori aniqligiga erishish imkonini berishi ko'rsatilgan.

Xulosa. Statistik usullar va spektral yoyilmadan foydalangan holda tish profilining og'ishlarini tahlil qilish amalga oshirildi, bu esa nuqsonlarni, shu jumladan og'ish xatolarini, shakllarni va mahalliy shikastlanishlarni tasniflashga yondashuvni ishlab chiqish imkonini berdi. Usulning xatoligini baholash shuni ko'rsatdiki, o'lchashning umumiy xatosi 0,036 mm dan oshmaydi, bu 8-darajali aniqlikdagi tishli g'ildiraklarni nazorat qilish talablariga javob beradi. Bu esa ishlab chiqilgan usulning sanoat ishlab chiqarishi sharoitida amaliy qo'llanilishini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Lipson, A. Z. (1978). Tishli uzatmalar: Ma'lumotnoma. Mashinasozlik.
- [2] Kalinin, V. N. (1986). Kontrol zubnykh kolesov. Standartizdat.
- [3] Tabachnikov, V. M. (1974). Tishli g'ildiraklar evolventometriyasi. Mashinasozlik.

- [4] Fedotov, A. I. (1984). Izmereniye parametrov zubnykh kolesov. Mashinasozlik.
- [5] Klingelberg GmbH. (2019). Gear metrology (Technical brochure).
- [6] Hoefler GmbH. (2020). Zahnradmesstechnik (Product catalog).
- [7] Goch, G. (2003). Gear metrology. CIRP Annals, 52(2), 659–695. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60206-8](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60206-8)
- [8] Smith, G. T. (2016). Machine tool metrology: An industrial handbook. Industrial Press.
- [9] Petrov, S. A. (2018). Opticheskiye metody kontrolya zubnykh kolesov. Izvestiya Vuzov. Priborostroyeniye, (6), 45–51.
- [10] Wang, J., & Zhang, Y. (2017). Optical measurement of gear tooth profile. Measurement Science and Technology, 28(8), 85–92.
- [11] Kozlov, A. V. (2020). Tishli ishlab chiqarishda raqamli texnologiyalar. Mekhatronika, Avtomatlashtirish, Boshqarish, 21(5), 278–285.
- [12] Radzevich, S. P. (2016). Dudley's handbook of practical gear design and manufacture. CRC Press.
- [13] Schultz, M., & Müller, R. (2004). Vision-based gear parameter identification. In Proceedings of SPIE (Vol. 5605, pp. 120–127).
- [14] Chen, X., & Li, W. (2019). Gear type classification using deep convolutional neural networks. IEEE Access, 7, 123456–123465.
- [15] Garcia, J., & Martinez, R. (2021). 3D scanning for gear wheel inspection. Precision Engineering, 67, 234–245.
- [16] Hexagon Manufacturing Intelligence. (2022). Gear metrology solutions (Technical review).
- [17] OpenGear Project. (2023). OpenGear repository. GitHub. GitHub Repository

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Jo'rayev, N. N., Ataulayev, A. O., Egamberdiyev, I. P., & Yaxshiyev, Sh. N. (2026). Mashinali ko'rish texnologiyalari asosida silindrik g'ildiraklarning evolvent tishlari profilini nazorat qilish usulini ishlab chiqish. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.14>
