SCIENCE HUB REVIEW
2026
Volume 1
Issue 5
www.sciencehubreview.uz
ILMIY ELEKTRON JURNAL

AVTOMOBIL KUZOVINING IÇKI YUZALARINI BÖYOQLAŞ TEXNOLOGIK JARAYONINI AVTOMATLAŞTIRIŞ VA ROBOTLAŞTIRILGAN TIZIMNING SAMARADORLIGINI OŞIRIŞ

Zakirov Aziz Uluğbekoviç

Farğona davlat texnika universiteti Mexatronika yönalişi (Magistratura)

Qöçqarov Davronbek Davlatbekoviç

Farğona davlat texnika universiteti Mexatronika yönalişi (Magistratura)

Annotatsiya

Uşbu maqolada avtomobil kuzovining eşik öyiqlari, ustunlari, pol va bagaj bölimi atrofidagi metall içki yuzalarni robotlaştirilgan usulda böyoqlaş jarayonini takomillaştiriş masalasi örganiladi. Beşta ilmiy manba qiyosiy tahlil qilinib, qoplama xossalari, purkaş aerodinamikasi, 3D nuqtalar buluti asosida trayektoriya rejalaş, hisoblaş gidrodinamikasi (CFD) va maşinaviy örganiş usullarini yagona boşqaruv konturiga birlaştiruvçi konseptual yeçim taklif etiladi. Böyoq qatlamining notekisligini, ortiqça purkaşni, sikl vaqtini va qayta böyoqlaş ehtiyojini bir vaqtda kamaytirişga xizmat qiluvçi maqsad funksiyasi hamda baholaş mezonlari bayon qilinadi. Maqola adabiyotlarga asoslangan nazariy tadqiqot bölib, taklif etilayotgan tizim böyiça mustaqil sanoat tajribasi natijalari keltirilmaydi.

Kalit sözlar

avtomobil kuzovi; içki metall yuzalar; robotlaştirilgan böyoqlaş; manipulyator; nuqtalar buluti; CFD; qoplama qalinligi; adaptiv boşqaruv; samaradorlik.

Avtomobil kuzovini böyoqlaş taşqi köriniş, korroziyadan himoyalaş hamda işlab çiqariş barqarorligini belgilaydigan muhim texnologik bosqiçdir. Köp qatlamli böyoqlaş tizimining kimyoviy va fizik asoslari, sirtni tayyorlaş, elektroforetik gruntlaş va keyingi qatlamlar özaro boğlangan jarayonlarni taşkil etadi [1]. Kuzovning içki metall yuzalari taşqi panellardan farqli ravişda tor kiriş zonalari, köplab burilişlar, qisman yopiq böşliqlar va purkagiçning holatini çeklovçi konstruktiv elementlarga ega. Şuning uçun robotning faqat geometrik yölini aniqlaş yetarli emas: purkaş burçagi, qoplama töplanişi, havoning oqimi, töqnaşuvlardan qoçiş va böyoq sarfini ham birgalikda hisobga oliş zarur. Toda,

Salazar va Saito tahriri ostidagi asarda avtomobil böyoqlaş jarayoni tajribaviy yondaşuv, aylanuvçi purkagiç fizikasi, raqamli modellaştiriş va vizual diagnostika nuqtayi nazaridan yoritilgan [2]. Nieto Bastida va Lin murakkab yuzalar uçun 3D nuqtalar bulutiga asoslangan avtonom trayektoriya yaratişni işlab çiqqan [3]. Verma va Wille sanoat böyoqlaş jarayonlari uçun yuqori unumdor CFD hisoblaş usullarini körib çiqqan [4]. Bhat va hammualliflar böyoqlaş parametrlarining qalinlik notekisligi va sirt ğadir-budurligiga ta'sirini tajriba dizayni va maşinaviy örganiş orqali örgangan [5]. Tadqiqot maqsadi - uşbu yondaşuvlarni birlaştiriş asosida avtomobil kuzovining içki metall yuzalarini böyoqlaş uçun robotlaştirilgan tizim arxitekturasi, texnologik algoritmi va samaradorlikni baholaş metodikasini işlab çiqiş. Bu işda "içki yuzalar" atamasi asosan kuzovning metall, böyoq bilan qoplanadigan içki zonalarini anglatadi; salonning alohida plastik bezak qismlari mustaqil texnologik obyekt sifatida qaralmaydi.

Tadqiqot usuli - beşta manbaning maqsadli qiyosiy şarhi, texnologik operatsiyalarni funksional dekompozitsiyalaş va köp mezonli optimallaştirişning konseptual matematik ifodasini tuziş. Manbalardagi usullarni kuzovning aniq bir modeliga tatbiq etiş uçun zarur dastlabki ma'lumotlar: CAD/3D skan modeli, robotning kinematik tavsiflari, purkagiçning çökiş profili, böyoq xossalari, havo almaşinuvi va sifat böyiça me'yorlardir.

Manba	Asosiy yondaşuv	Mazkur maqoladagi roli
[1] Streitberger, Dössel (2008)	Qoplama tizimlari va işlab çiqariş texnologiyasi	Texnologik talablar va qoplama sifati mezonlari
[2] Toda va boşq. (2013)	Purkaş fizikasi, vizualizatsiya, CFD	Böyoq purkaş va taşqi muhit omillarini tuşuntiriş
[3] Nieto Bastida, Lin (2023)	3D nuqtalar buluti, avtomatik yöl	Içki sirt uçun bazaviy trajektoriya rejalaş
[4] Verma, Wille (2021)	CFD va parallel hisoblaş	Murakkab zonalarda oqim va zarraça taqsimotini modellaştiriş
[5] Bhat va boşq. (2025)	Taguçi L27, regressiya, Random Forest	Texnologik parametrlar va qoplama sifatini boğlaş

Ilmiy çegaralaş: [3] va [5] dagi natijalar muayyan tadqiqot şaroitlari uçun olingan. Ularni avtomobil kuzovining barça içki yuzalariga bevosita umumlaştiriş mumkin emas; berilgan konstruksiya va böyoq turi böyiça qayta kalibrlaş talab etiladi.

Taklif etiladigan tizim oltita funksional modulni öz içiga oladi: (1) kuzov holati va yuzalar geometriyasini aniqlaş; (2) yuzalarni texnologik zonalarga ajratiş; (3) robot yölini va purkagiç orientatsiyasini yaratiş; (4) qoplama hosil bölişini raqamli baholaş; (5) robot

va purkagiç ijrosini sinxron boşqariş; (6) ölçaş natijalari asosida parametrlarni tuzatiş. Uşbu modullar yagona raqamli jarayon kartasiga biriktiriladi. Kuzovning eşik öyiqlari, A/B/C ustunlari, içki panel qayrilmalari va bagaj zonalari iş maydonlariga bölinadi. Har bir maydon uçun ötiş yönalişi, purkaş balandligi, burçagi va qöşni yölaklar qoplaniş darajasi belgilanadi. Robotning 6 erkinlik darajali manipulyatori purkagiçning sirt normaliga nisbatan yönalişini saqlaşi, töqnaşuvlarga yöl qöymasligi va böyalmagan “soya” zonalarni kamaytirişi kerak. Buning uçun texnologik ötişlar, böyaşsiz köçişlar va kiriş-çiqiş harakatlari alohida rejalaştiriladi.

Nuqtalar bulutiga asoslangan yondaşuvda yuzaning diskret nuqtalari $P = \{p_i\}$ beriladi. Lokal qöşniçilik böyiça sirt normali n_i baholanadi, böyoq purkagiçning kerakli markaziy nuqtasi esa sirtga nisbatan masofa d bilan siljitiladi. [3] da obyekt nuqtalari sferik tör orqali tartiblanadi, kerakli maydon ajratilib, raster tipidagi trayektoriya va qoplama qalinligini simulyatsiya qiliş tartibi taklif qilingan. Içki, berk yoki tor zonalarda bu yondaşuvni köriş çeklovi, robotning yetib borişi va töqnaşuvlarni hisobga oluvçi qöşimça filtrlar bilan kengaytiriş zarur.

$$q_i = p_i + d \cdot n_i \quad (1)$$

Bu yerda p_i - böyaladigan sirt nuqtasi; n_i - uning birlik normal vektori; d - purkagiçdan sirtgaça rejalaştirilgan masofa; q_i - purkagiç markazining nominal joylaşuvi. (1) ifoda ideal geometrik yaqinlaşuv bölib, amalda purkagiçning işçi öqi va robot kinematikasi bilan aniqlaştiriladi. Böyoq hosil bölişi purkaş fakelining şakli, zarraça tezligi va ölçami, sirtgaça masofa, purkagiç tezligi, qoplama yölaklarining ustma-ust tuşişi hamda kamera havo oqimiga boğliq [2,4]. Ayniqsa kuzov içki yoriği yoki ustun ortidagi zona purkaş yönalişini tösişi mumkin. Şuning uçun sodda geometrik qoplaş modeli dastlabki saralaş uçun, CFD esa xavfli zonalarni batafsil tekşiriş uçun işlatilişi maqsadga muvofiq. [4] da CFD yeçimining aniqligi va hisoblaş sarfi örtasidagi muvozanat, parallel hisoblaş hamda zarraçaga asoslangan metodlar tahlil qilingan. Içki sirtning ayrim qismlarini töliq böyaş purkaş yönalişini özgartiriş yoki bir neçta ötişni talab qilişi mumkin. Biroq ortiqça ötişlar qatlamning lokal qalinlaşişi va material yöqotilişiga olib keladi. Şu sababli böyaş marşruti faqat yuzaga yetib boriş darajasi bilan emas, qoplama bir xilligi va sarf bilan ham tekşiriladi.

Optimallaştiriş özgaruvçilari sifatida robot yölining geometriyasi Γ, harakat tezligi v, purkagiçdan sirtgaça masofa d, purkaş burçagi α va böyoq sarfi Q qabul qilinadi. Maqsad - sifat, vaqt va material resurslari böyiça muvozanatli qaror oliş. Quyidagi maqsad funksiyasi uşbu maqolada taklif etilgan konseptual formuladir; u yuklangan manbalardan aynan köçirilmagan.

$$\min J = w_1 \cdot CV(h) + w_2 \cdot (1 - \eta) + w_3 \cdot T/T_0 + w_4 \cdot R/R_0 + w_5 \cdot U \quad (2)$$

Bu yerda CV(h) - qoplama qalinligining variatsiya koeffitsiyenti; η - böyoqning yuzaga ötiş samaradorligi; T - texnologik sikl davomiyligi; R - qayta işlov beriş uluşi; U - böyalmagan yoki belgilangan me'yordan taşqarida qolgan yuza uluşi; T_0 va R_0 - soliştiriş bazalari; $w_1 \ldots w_5$ - işlab çiqariş ustuvorligiga köra tanlanadigan manfiy bölmagan vaznlar. Bu körsatkiçlar turli ölçov birliklariga ega bölgani uçun amaliy optimallaştirişda normalaş va vaznlar sezgirligi tekşirilişi şart.

$$CV(h) = \sigma(h) / \bar{h} \; ; \; \eta = m_s / m_p \quad (3)$$

Bu yerda $\bar{h}$ - ölçangan qatlam qalinligining örtaçasi, σ(h) - uning standart oğişi, m_s - sirtga ötgan böyoq massasi va m_p - purkalgan böyoq massasi. Parametrlarga qoplama turi uçun belgilangan $h_{min} \le h_i \le h_{max}$, robot böğinlari çegaralari, maksimal tezlik va tezlaniş, töqnaşuvsiz harakat, xavfsiz masofa hamda kamera xavfsizligi talablari qöyiladi.

Qoplama sifatini model asosida oldindan baholaş uçun [5] dagidek tajriba dizayni va regressiya / Random Forest usuli qöllanişi mumkin. Mazkur tadqiqotda oltita omil - qovuşoqlik, bosim, masofa, tezlik, harorat va nisbiy namlik örganilgan; mualliflar model uçun qalinlik özgarişi böyiça $R^2 = 0{,}9707$, sirt ğadir-budurligi böyiça $R^2 = 0{,}9224$ natijalarini bildirgan [5]. Uşbu körsatkiçlar [5] ning eksperimental şaroitiga tegişli; ular taklif etilayotgan içki yuzalarni böyaş tizimining ölçangan natijalari emas. Jarayonni taşkil etiş uçun quyidagi ketma-ketlik tavsiya etiladi: (i) kuzovni identifikatsiya qiliş va modelni sensor ölçovlariga moslaştiriş; (ii) içki yuzalarni böyoqlaş zonalariga ajratiş; (iii) har zonada yuzaga normal yönalişlarni topiş; (iv) robotning yetişiş qobiliyati, töqnaşuv va texnologik çeklovlarni tekşiriş; (v) yölni qalinlik çökişi modeli bilan baholaş; (vi) CFD orqali muammoli zonalarni tekşiriş; (vii) robot va purkagiçning sinxron dasturini yaratiş; (viii) sinov detalini böyaş va nazorat ölçovlarini bajariş; (ix) modelni yangilab, rejani takroriy optimallaştiriş. Adaptiv boşqaruvda ölçov sensori va dasturiy modelni boğlaş

muhim. 3D kamera kuzovning joriy joylaşuvi va şaklini aniqlaşi mumkin [3], ammo nam qoplamaning qatlam qalinligini uzluksiz bevosita ölçaş imkoni har doim ham mavjud emas. Şuning uçun operativ kuzatuvda sensorlardan olinadigan geometriya, purkaş holati va sarf körsatkiçlari bilan bir qatorda, nazorat namunasi yoki qoplama quriganidan keyingi qalinlik ölçovlari işlatiladi.

Baholaş körsatkiçi	**Ölçaş / hisoblaş usuli**	**Kutiladigan texnologik foyda**
Qoplama qalinligining CV qiymati	Tanlangan nuqtalarda qalinlik ölçovi	Qalinlik bir xilligini baholaş
Qoplaş töliqligi	3D model ustida nazorat zonalari xaritasi	“Soya” va ötkazib yuborilgan zonalarni topiş
Böyoqning ötiş samaradorligi η	Purkaş va sirtga ötgan massa balansi	Material isrofini tahlil qiliş
Bir kuzov uçun sikl vaqti T	Robot controller jurnali	Ötişlar va böş harakatlarni kamaytiriş
Qayta işlov beriş uluşi R	Sifat nazorati kartalari	Nuqsonli qismlar miqdorini soliştiriş
Töqnaşuvsiz bajariliş	Offline simulyatsiya va xavfsiz sinov	Robot harakati xavfsizligi

Taklif etilgan metodikani tekşiriş uçun boşlanğiç (amaldagi) va takomillaştirilgan trayektoriya alohida seriyalarda taqqoslanişi lozim. Qoplama turi, kuzov konfiguratsiyasi, muhit harorati va namlik, purkagiç va nazorat metodi bir xil saqlanişi; natijalar takroriy ölçovlar asosida statistik tahlil qilinişi zarur. Içki metall sirtlar bilan elektroforetik gruntlangan butun kuzovning birlamçi korroziyaga qarşi qoplamasini farqlaş lozim: elektroforetik qoplama şakllanişi purkaş yöliga emas, boşqa fizik mexanizmlarga tayanadi [1,4]. Adabiyotlar tahlili körsatadiki, birgina trayektoriyani qisqartiriş samaradorlikni töliq anglatmaydi. Masalan, purkagiç yölini qisqartiriş sikl vaqtini kamaytirişi mumkin, biroq murakkab içki burçaklarda qatlam notekisligi yoki qoplanmagan zonalar xavfini oşiradi. Aksinça, ortiqça qöşimça ötişlar qoplaşni yaxşilasa-da, böyoq sarfi va vaqtni oşirişi mumkin. Şu sababli (2) formuladagi birlaştirilgan mezon texnologik murosani aniq körsatişga xizmat qiladi.

[3] da murakkablik oşganda qalinlik özgaruvçanligi sezilarli qolişi, model aniqligi va robot kinematikasi qoplama sifatiga ta’sir qilişi qayd etilgan. Bu xulosa kuzovning tor içki böşliqlarida ayniqsa muhim. [2] va [4] dagi fizik va raqamli yondaşuvlar aerodinamik ta’sirni hisobga oliş zaruratini asoslaydi. [5] esa texnologik parametrlar örtasidagi çiziqsiz boğlanişlarni ma’lumotlar asosida baholaş imkoniyatini körsatadi. Biroq faqat manba

natijalariga tayanib, taklif etilayotgan tizim böyoq sarfini aniq neça foiz kamaytirişini aytiş ilmiy jihatdan asosli emas. Taklif etilayotgan tizimning istiqbolli ilmiy yangiligi - robotning yetib borişi, qoplama çökişi, CFD bilan aniqlangan havo oqimi va sifat başoratini yagona rejalaş jarayonida hisobga olişdir. Bu ilmiy taklifning haqiqiy yangiligi va ustunligi etalon algoritmlar bilan qiyosiy tajribada, konkret kuzov modeli va böyoqlaş şaroitida tasdiqlanişi kerak.

Avtomobil kuzovining içki metall yuzalarini robotlaştirilgan böyoqlaşda geometrik qoplaş, robot kinematikasi, purkaş aerodinamikasi va qoplama xossalarini özaro boğliq holda köriş lozim. 3D nuqtalar buluti asosida trayektoriya rejalaş, CFD modellaştiriş va ma'lumotlar asosidagi parametr tanlaş usullarini birlaştiruvçi konseptual boşqaruv arxitekturasi işlab çiqildi. Qatlam qalinligi variatsiyasi, ötiş samaradorligi, sikl vaqti, qayta işlov va qoplanmagan yuza uluşini öz içiga oluvçi köp mezonli maqsad funksiyasi hamda monitoring körsatkiçlari taklif qilindi. Keyingi bosqiçda robotlaştirilgan sinov stendi yoki işlab çiqariş yaçeykasida namuna kuzovning içki sirtlari böyiça sinovlar, parametrlar kalibrlanişi va statistik qiyosiy baholaş ötkazilişi zarur. Uşbu maqola böyiça mustaqil tajriba natijalari hali mavjud emas.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Streitberger H.-J., Dössel K.-F. (eds.). Automotive Paints and Coatings. 2nd revised and extended ed. Wiley-VCH, 2008. ISBN 978-3-527-30971-9.

2. Toda K., Salazar A., Saito K. (eds.). Automotive Painting Technology: A Monozukuri-Hitozukuri Perspective. Springer, 2013. DOI: 10.1007/978-94-007-5095-1.

3. Nieto Bastida S., Lin C.-Y. Autonomous Trajectory Planning for Spray Painting on Complex Surfaces Based on a Point Cloud Model. Sensors, 2023, 23(24), 9634. DOI: 10.3390/s23249634.

4. Verma K., Wille R. High Performance Simulation for Industrial Paint Shop Applications. Springer, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-71625-7.

5. Bhat R., Karuppasamy M., Maragatharajan M., Haldorai A., Nirmala E., Naik N. Optimization of robotic spray painting trajectories using machine learning for improved surface quality. Scientific Reports, 2025, 15, 18767. DOI: 10.1038/s41598-025-03448-z.