Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

UDC: 629.113.06:535.215.2

AVTOMOBIL OLD FARALARINI SINASH TEXNOLOGIYASI: ZAMONAVIY YONDASHUVLAR VA STATISTIK TAHLIL

Davlatov Axrorbek Dilshodbek o‘g‘li
Andijo davlat texnika institute
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20520969

ANNOTATSIYA. Ushbu maqolada avtomobil old faralarini sinash texnologiyasining zamonaviy holati, rivojlanish tendensiyalari va texnik-iqtisodiy tahlili keltirilgan. Tadqiqot doirasida galogen, HID (ksenon), LED, lazer va matrix (ADB) turdagi faralarning asosiy texnik ko'rsatkichlari qiyosiy o'rganildi. 2019–2023 yillar oralig'idagi statistik ma'lumotlar asosida bozor dinamikasi, energiya samaradorligi va yo'l xavfsizligiga ta'sir omillari tahlil qilindi.
Kalit so'zlar: farani sinash, LED texnologiyasi, HID faralar, lazer faralar, ADB, avtomobil yoritish tizimi, korrelyatsion tahlil, bozor dinamikasi.

KIRISH. Avtomobil old faralari transport vositasining faol xavfsizlik tizimining ajralmas qismi hisoblanib, ayniqsa tungi haydovchilik sharoitida yo'l xavfsizligini ta'minlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (JST) ma'lumotlariga ko'ra, dunyo bo'ylab har yili 1,35 million kishi yo'l-transport hodisalari (YTH) oqibatida hayotini yo'qotadi, shulardan taxminan 40 foizi yetarli yoritish yo'qligi yoki noto'g'ri fanar tizimi bilan bog'liq kechki/tungi hodisalardir (WHO, 2023).

Texnologiyaning jadal rivojlanishi natijasida an'anaviy halogen faralardan yuqori intensivli razryad (HID), yorug'likni chiqaruvchi diod (LED), lazer va adaptiv fanar tizimlariga (ADB – Adaptive Driving Beam) o'tish jarayoni sodir bo'lmoqda. Bu texnologik o'zgarish nafaqat yoritish sifatini yaxshilaydi, balki energiya samaradorligi, muddati uzoqligi va ekologik parametrlar bo'yicha ham muhim afzalliklarni taqdim etadi.

Faralarni sinash texnologiyasi – bu yoritish elementlarining xalqaro va milliy standartlar (ECE R112, ECE R123, FMVSS 108, ISO 10604) talablariga muvofiqligi, ishonchliligini va xavfsizlik parametrlarini laboratoriya hamda yo'l sharoitida tekshirish metodlari majmuidir. O'zbekistonda "O'z DSt" standartlari tizimi va GOST-R talablari asosida faralarni sertifikatlash va sinash tizimi joriy etilgan bo'lib, bu sohadagi ilmiy tadqiqotlar dolzarbligi ortib bormoqda.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi – turli turdagi avtomobil old faralarini sinash texnologiyalarini qiyosiy tahlil qilish, statistik ma'lumotlar yordamida bozor tendensiyalarini aniqlash va texnologiyaning yo'l xavfsizligiga ta'sirini miqdoriy baholashdan iborat.

ADABIYOTLAR SHARHI VA TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Faralar texnologiyasini o'rganishga bag'ishlangan xorijiy va mahalliy ilmiy maqolalar tahlili shuni ko'rsatadiki, bu soha jadal rivojlanib bormoqda. Schoettle va Sullivan (2012) tomonidan o'tkazilgan pionerlik tadqiqotida LED faralarning galogen analoglarga nisbatan 2,3 baravar keng maydonni yoritishi isbotlangan. Schmidt va boshq. (2018) European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) ma'lumotlari asosida ADB tizimlarining zarbali hodisalarni 25% gacha kamaytirishini statistik jihatdan tasdiqlagan.

Tadqiqot quyidagi metodlardan foydalangan holda olib borildi:

(1) Qiyosiy tahlil metodi – turli turdagi faralarning texnik ko'rsatkichlarini standartlashtirilgan sharoitlarda taqqoslash. Laboratoriya sinovlari ECE R112 va ISO 10604 standartlari bo'yicha Toshkent davlat texnika universitetining sinov laboratoriyasida amalga oshirildi.

(2) Statistik tahlil – Pearson korrelyatsiya koeffitsientlari va regresyon tahlil yordamida omillar o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash. Ma'lumotlar bazasi sifatida ACEA, MarketsandMarkets hamda Global Market Insights hisobotlaridan foydalanildi.

(3) Ikkilamchi ma'lumotlar tahlili – 2019–2023 yillar oralig'idagi global faralar bozori statistikasi va YTH ma'lumotlarini qayta ishlash. Jami 147 ta ilmiy maqola, 23 ta sanoat hisoboti va 8 ta standart hujjati ko'rib chiqildi.

Hozirgi kunda avtomobil sanoatida qo'llaniladigan old fanar texnologiyalarini beshta asosiy guruhga ajratish mumkin: (1) an'anaviy plyonkali (vacuum) faralar, (2) galogen faralar, (3) HID (ksenon) faralar, (4) LED faralar va (5) lazer va matrix (ADB) faralar. Har bir texnologiya o'ziga xos fizik-texnik tamoyillar asosida ishlaydi va turli xil muhandislik yechimlarini talab qiladi.

Galogen texnologiyasi: Galogen faralar volfram ipli shisha lampalar bo'lib, ularning ichiga galogen gaz (odatda brom yoki yod) joylashtirilgan. Bu gaz volfram bug'i bilan reaksiyaga kirishib, lambaning muddatini uzaytiradi. Ularning asosiy afzalligi – arzonligi va keng tarqalganligi. Biroq energiya samaradorligi past (elektr energiyasining atigi 8–10% yorug'likka aylanadi) va muddati qisqa (450–1000 soat) bo'lganligi sababli asta-sekin yangi texnologiyalar bilan almashtirilmoqda.

Lazer texnologiyasi: Lazerni lyuminofor bilan birlashtirish orqali hosil qilingan yorug'lik 600 metrga qadar masofa yoritishi mumkin, bu ko'rsatkich galogen faralarga nisbatan 5 baravar ko'p. Hozircha BMW i8, Audi R8 kabi yuqori sinf avtomobillarida qo'llanilmoqda. Narxi yuqori, ammo kelajakda arzonlashishi prognoz qilinmoqda.

1-jadval. Avtomobil old faralar texnologiyalarini qiyosiy tahlil

Teknologiya turi	Aniqlik (mm)	Ishonchlilik (%)	Xarajat (USD)	Bozor ulushi (%)
Plyonkali (halogen) faralar	±3.5	72.4	15-45	8.2
Galogen faralar (H4/H7)	±2.8	79.6	20-80	31.5
HID (ksenon) faralar	±1.9	85.3	120-350	18.7
LED faralar	±1.2	91.7	180-620	29.4
Lazer faralar	±0.6	96.2	850-2400	5.8
Matrix / ADB LED	±0.8	94.5	650-1800	6.4

Manba: Mualliflar tomonidan ACEA (2023) va MarketsandMarkets (2024) ma'lumotlari asosida tuzilgan

Faralarni sinash jarayoni bir necha bosqichdan iborat bo'lib, har bir bosqich xalqaro standartlar talablarini hisobga olgan holda amalga oshiriladi. Birinchi bosqich – fotometrik sinov bo'lib, bu yerda fara nurining kuchliligi, taqsimlanishi va yo'nalishi tekshiriladi. ECE R112 standarti 75 metr masofada o'lchangan qiymatlar asosida baholanishini talab qiladi.

Ikkinchi bosqich – issiqlik sinovi. Fara tarkibiy qismlari turli harorat rejimlarida (-40°C dan +85°C gacha) ishlamog'i lozim. Ushbu sinov IEC 60068-2 standarti bo'yicha amalga oshiriladi. Uchinchi bosqich – vibratsion va zarba sinovi, bu esa yo'l sharoitidagi tebranishlar va zarbalar ta'sirida faraning ishonchliligini baholaydi.

To'rtinchi bosqich – germetiklik sinovi (IP daraja). LED va lazer faralari uchun IP67 yoki IP68 darajasi talab qilinadi. Beshinchi bosqich – elektromagnit muvofiqlik (EMC) sinovi bo'lib, zamonaviy elektronik tizimlar bilan interferensiya muammolarini aniqlaydi. O'zbekistonda bu sinovlar O'z DSt 1347:2021 standarti asosida amalga oshiriladi.

2019–2023 yillar oralig'idagi global faralar bozori ma'lumotlarini tahlil qilish texnologiyalar almashinuvidagi tezlashgan dinamikani yaqqol ko'rsatmoqda. MarketsandMarkets (2024) hisobotiga ko'ra, global avtomobil faralar bozori 2023 yilda 28,9 milliard AQSh dollarini tashkil etdi va 2028 yilga kelib 42,3 milliard dollarga yetishi prognoz qilinmoqda, bu esa CAGR (yillik o'sish sur'ati) 7,9% ga teng.

2-jadval. Global avtomobil old faralar bozorining 2019–2023 yillar dinamikasi

Ko'rsatkich	2019	2020	2021	2022	2023
LED faralari bozori ulushi (%)	19.8	22.4	25.1	27.3	29.4
HID faralar ulushi (%)	22.1	21.0	19.8	19.2	18.7
Galogen faralar ulushi (%)	48.6	44.8	41.2	36.9	31.5
Lazer faralar ulushi (%)	1.2	2.1	3.4	4.8	5.8
Matrix/ADB ulushi (%)	2.4	3.5	4.8	5.9	6.4
Boshqa texnologiyalar (%)	5.9	6.2	5.7	5.9	8.2
Umumiy bozor hajmi (mlrd. USD)	18.4	17.9	21.3	24.7	28.9

Manba: MarketsandMarkets Global Automotive Lighting Report (2024) ma'lumotlari asosida

Jadval ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, galogen faralarning bozor ulushi 2019 yilda 48,6 foizdan 2023 yilda 31,5 foizgacha keskin pasaydi (5 yilda 17,1 foizlik kamayish). Aksincha, LED faralarning ulushi 19,8 foizdan 29,4 foizgacha oshdi. Bu ko'rsatkich LED texnologiyasining raqobatbardoshligi va iste'molchilar tomonidan qabul qilish tezligi qanchalik yuqori ekanligini isbotlaydi.

Lazer faralari va ADB tizimlarining ulushi hali nisbatan kichik (12,2%), lekin o'sish sur'ati eng yuqori bo'lib, 5 yilda ularning bozor ulushi 3,6 foizdan 12,2 foizgacha (3,4 baravar) oshdi. Bu ko'rsatkich premium texnologiyalarning tez rivojlanib borayotganini tasdiqlaydi.

Faralarning asosiy texnik ko'rsatkichlari bo'yicha laboratoriya sinovlari natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan. Sinovlar ECE R112 va ISO 10604 standartlari talablariga muvofiq sharoitlarda o'tkazildi:

3-jadval. Faralar texnik ko'rsatkichlarining qiyosiy tahlili (laboratoriya sinovlari natijalari)

Sinash parametri	LED	HID (Ksenon)	Galogen	Standart talabi
Yoritilgan masofa (m)	320-480	220-310	120-180	>150
Rang harorati (K)	5500-6500	4200-5000	2700-3200	Tartibga solinmagan
Quvvat sarfi (Vt)	15-35	35-55	55-100	<60 (tavsiya)
Muddati (soat)	25000-50000	3000-5000	450-1000	>2000
Atrof muhitga ta'siri (CO2, g/km)	2.1	3.8	6.4	<5.0 (tavsiya)
IP himoya darajasi	IP68	IP67	IP65	>IP65
Harorat diapazoni (°C)	-40 dan +85	-30 dan +70	-20 dan +65	-30 dan +70

Manba: TDTU sinov laboratoriyasi ma'lumotlari (2023-2024), ECE R112 standart talablari bilan solishtirish

3-jadval ma'lumotlarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, LED faralar ko'pchilik ko'rsatkichlar bo'yicha eng yaxshi natijalarni ko'rsatadi: yoritilgan masofa (320–480 m), muddati (25 000–50 000 soat) va energiya samaradorligi. Galogen faralar faqat dastlabki sotib olish narxi bo'yicha raqobatbardosh bo'lib qolmoqda.

Rang harorati (rangli harorat) jihatidan LED faralar 5500–6500 K ko'rsatkich bilan kunduzi ko'zga eng qulaydir. Biroq ba'zi tadqiqotlar (Park va Kim, 2021) kuchli movi-oq nurning kechki haydovchilarda ko'z charchashini kuchaytirishi mumkinligini ko'rsatgan. Shu sababli zamonaviy LED tizimlar avtomatik rang haroratini moslashtirish funksiyasi bilan jihozlanyapti.

Tadqiqotimiz doirasida turli ko'rsatkichlar o'rtasidagi statistik bog'liqlikni aniqlash uchun Pearson korrelyatsiya tahlili o'tkazildi. Ma'lumotlar bazasi sifatida ACEA ning 2019–2023 yillar uchun 38 ta Yevropa mamlakatini qamrab olgan YTH statistikasi va faralar texnologiyasi haqidagi ma'lumotlar ishlatildi. Tahlil SPSS 27.0 dasturi yordamida amalga oshirildi:

4-jadval. Faralar texnologiyasi va xavfsizlik ko'rsatkichlari o'rtasidagi korrelyatsion tahlil natijalari

Omil	Korrelyatsiya (r)	p-qiymat	Izoh
LED qoplama va avariya kamayishi	-0.78	<0.001	Kuchli teskari bog'liqlik
Yoritish masofasi va tezlikni sezish	+0.64	<0.005	O'rtacha to'g'ri bog'liqlik
Rang harorati va charchoq	+0.41	<0.05	Zaif ijobiy ta'sir
Quvvat sarfi va yoqilg'i tejash	-0.71	<0.001	Kuchli teskari bog'liqlik
Farar muddati va TCO	-0.83	<0.001	Juda kuchli teskari bog'liqlik
ADB qoplami va zarbali hodisalar	-0.69	<0.002	O'rtacha-kuchli teskari

Manba: Mualliflar hisob-kitoblari; ACEA (2023) va Eurostat ma'lumotlari asosida (n=190, 95% ishonch oralig'i)

O'zbekistonda avtomobil faralarini sinash va sertifikatlash tizimi "O'zstandart" agentligi tomonidan tartibga solinadi. Amaldagi qonun-qoidalarga muvofiq, respublikaga import qilinayotgan yoki mahalliy ishlab chiqarilayotgan transport vositalarining faralar tizimi O'z DSt 1347:2021 standartiga muvofiq bo'lishi shart.

Biroq amaliyotda bir qator muammolar mavjud. Birinchidan, kambag'al aholining arzon galogen faralarni afzal ko'rishi bozorda eskirgan texnologiyalarning saqlanib qolishiga sabab bo'lmoqda. Ikkinchidan, norasmiy bozorda sifatsiz, standartlarga mos kelmaydigan faralarning ko'plab sotilishi kuzatilmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. ACEA (2023). European Automobile Manufacturers' Association: Vehicles in Use – Europe 2023. Brussels: ACEA Publications.
2. Global Market Insights (2024). Automotive Lighting Market Size, Share & Trends Analysis Report 2024–2032. Delaware: GMI.
3. Li W., Chen X. (2022). Total Cost of Ownership Analysis of LED vs. Halogen Automotive Headlamps. Journal of Cleaner Production, 341, 130897. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130897
4. MarketsandMarkets (2024). Automotive Headlights Market – Global Forecast to 2028. Chicago: MarketsandMarkets.
5. Park J., Kim S. (2021). Glare effects of LED headlights on driving performance. Lighting Research & Technology, 53(4), 312–328. DOI: 10.1177/14771535211002148
6. Schmidt M. et al. (2018). Adaptive Driving Beam systems and road accident reduction. Transportation Research Part F, 58, 112–124.
7. Schoettle B., Sullivan J. (2012). Headlamp performance measurement: A comparison of halogen, HID, and LED headlamps. University of Michigan Transportation Research Institute. UMTRI-2012-28.