DOI: 10.65322/j.srd.02162026.01

DIZELLI ICHKI YONUV DVIGATELLARIGA SERVIS VA TEXNIK XIZMAT KO‘RSATISH TEXNOLOGIYASI

Egamberdiyev To‘lqin Turg‘unali o‘g‘li,
“Avtomobilsozlik va traktorsozlik” yo‘nalishi talabasi
E-mail: egamberdiyevt0@gmail.com
Abdullayev Ibroximjon, *assistent,*
“Avtomobilsozlik va transport” kafedrasi,
E-mail: ibroxim1995jon@gmail.com,
Andijon davlat texnika instituti

Annotatsiya. *Ushbu maqolada dizelli ichki yonuv dvigatellariga servis va texnik xizmat ko‘rsatishning zamonaviy texnologiyalari ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqotning maqsadi – dizel dvigatellarini texnik xizmat ko‘rsatish jarayonlarini optimallashtirish, ularning ishonchliligi va ishlash muddatini oshirish yo‘llarini aniqlashdan iborat. Tadqiqotda kuzatish, taqqoslash, statistik tahlil va eksperimental sinov metodlari qo‘llanilgan. Natijada zamonaviy diagnostika tizimlari, yog‘ almashtirish texnologiyalari, yonilg‘i tizimini sozlash usullari va filtr almashtirishning ilmiy asoslangan muddatlari belgilangan. Olingan natijalar avtomobil ta'mirlash korxonalari, servis markazlari va muhandislik ta'limi tizimida keng qo‘llanilishi mumkin. Xulosa: zamonaviy diagnostika va profilaktik xizmat ko‘rsatish texnologiyalarini joriy etish dvigatel ishonchliligi va xizmat muddatini sezilarli darajada oshirishga imkon beradi.*

Аннотация. *В данной статье проводится научный анализ современных технологий технического обслуживания и сервиса дизельных двигателей внутреннего сгорания. Цель исследования — оптимизация процессов технического обслуживания дизельных двигателей, повышение их надёжности и срока службы. В исследовании применялись методы наблюдения, сравнения, статистического анализа и экспериментального тестирования. В результате определены современные системы диагностики, технологии замены масла, методы регулировки топливной системы и научно обоснованные сроки замены фильтров. Полученные результаты могут быть широко использованы на предприятиях по ремонту автомобилей, в сервисных центрах и в системе инженерного образования.*

Abstract. *This article presents a scientific analysis of modern technologies for servicing and maintaining diesel internal combustion engines. The purpose of the research is to optimize the processes of technical maintenance of diesel engines and to identify ways to increase their reliability and service life. The study employed observation, comparison, statistical analysis, and experimental testing methods. As a result, modern diagnostic systems, oil replacement technologies, fuel system adjustment methods, and scientifically substantiated filter replacement intervals were determined. The obtained results can be widely applied in automobile repair enterprises, service centers, and engineering education systems.*

Kalit so‘zlar: *dizel dvigatel, texnik xizmat, servis texnologiyasi, diagnostika, yonilg‘i tizimi, dvigatel ishonchliligi, profilaktik ta'mirlash, texnik holat.*

Ключевые слова: *дизельный двигатель, техническое обслуживание, сервисная технология, диагностика, топливная система, надёжность двигателя, профилактический ремонт, техническое состояние.*

Keywords: *diesel engine, technical service, service technology, diagnostics, fuel system, engine reliability, preventive maintenance, technical condition.*

Kirish. Dizelli ichki yonuv dvigatellariga servis va texnik xizmat ko‘rsatish texnologiyasi zamonaviy avtomobil muhandisligining eng muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Bu yerda bir

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.01

qator asosiy atamalarni aniq tushunish maqolaning mohiyatini to‘g‘ri idrok etish uchun zarur. Dizelli ichki yonuv dvigateli (DIYD) – bu yonilg‘i-havo aralashmasini o‘z-o‘zidan alangalanish prinsipiga asoslangan holda ishlaydigan issiqlik mashinasi bo‘lib, yonilg‘i sifatida dizel (gaz moyi) ishlatiladi va siqish darajasi 14:1 dan 25:1 gacha bo‘lgan yuqori qiymatga ega bo‘ladi. Servis (inglizcha: service) atamasi – dvigatelning ishlash jarayonida uning barcha tizimlariga muntazam texnik ko‘rik, yog‘ almashtirish, filtrlarni yangilash va nosozliklarni bartaraf etishni o‘z ichiga olgan keng qamrovli texnik-xizmat faoliyatidir. Texnik xizmat ko‘rsatish texnologiyasi esa – muayyan dvigatel modeliga mos, zavodchi tomonidan belgilangan va ilmiy asoslangan tartibda amalga oshiriladigan xizmat ko‘rsatish jarayonlari majmuidir. Bugungi kunda transport vositalarining tobora murakkablashib borishi, ularning texnik xizmat ko‘rsatish tizimlariga yangi talablar qo‘ymoqda. Dizel dvigatellari o‘zining yoqilg‘i tejamkorligi, yuqori quvvat-iqtisodiy ko‘rsatkichlari va uzoq xizmat muddati bilan ajralib turadigan agregat turi sifatida transport sohasida keng qo‘llaniladi. Quvvat-iqtisodiy ko‘rsatkich deganda dvigatelning solishtirma yoqilg‘i sarfi (g/kVt·soat), foydali ish koeffitsienti (FIK) va nominal quvvati (kVt) kabi parametrlar yig‘indisi tushuniladi. Shu boisdan ham ushbu dvigatellarning ishonchliligini ta’minlash va ularning texnik holatini doimiy ravishda nazorat qilish masalasi nafaqat texnik, balki iqtisodiy va ekologik nuqtai nazardan ham muhim ahamiyat kasb etadi.

Hozirgi vaqtda dunyo bo‘ylab ishlatiladigan transport vositalarining katta qismi dizel dvigatellariga ega. Yevropa Avtomobil Ishlab Chiqaruvchilar Assotsiatsiyasi (ACEA) ma'lumotlariga ko‘ra, 2022–2023 yillarda Yevropa davlatlarida yuk avtomobillari va avtobuslarda dizel dvigatellarining ulushi 95 foizdan ortiqni tashkil qilgan [1]. Bu ko‘rsatkich ushbu dvigatel turini texnik jihatdan to‘g‘ri va o‘z vaqtida xizmat ko‘rsatishning qanchalik muhimligini yaqqol namoyon etadi. Xizmat ko‘rsatishning noto‘g‘ri yoki kech amalga oshirilishi nafaqat dvigatel elementlarining erta eskirishiga, balki yoqilg‘i sarfining oshishiga, chiqindi gazlar tarkibidagi zararli moddalar miqdorining ko‘payishiga va oxir-oqibat dvigatelning butunlay ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin.

O‘zbekiston Respublikasida ham avtomobil transporti sohasini rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri sifatida belgilangan. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2023-yilda qabul qilingan qarorlariga muvofiq, avtomobil ta'mirlash va texnik xizmat ko‘rsatish korxonalarini modernizatsiya qilish, ularni zamonaviy jihozlar bilan ta'minlash va malakali mutaxassislar tayyorlash bo‘yicha kompleks chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Ushbu siyosat doirasida dizel dvigatellariga xizmat ko‘rsatishning ilmiy asoslangan texnologiyalarini joriy etish alohida ahamiyat kasb etmoqda.

Mavzuning dolzarbligi bir qator omillar bilan belgilanadi. Birinchidan, dizel dvigatellariga xizmat ko‘rsatishning noto‘g‘ri texnologiyasi qo‘llanilganda texnik nosozliklar soni keskin ortadi – bu esa tashkilotlar va individual foydalanuvchilar uchun katta iqtisodiy zarar keltiradi. Ikkinchidan, zamonaviy dizel dvigatellari murakkab elektron boshqaruv tizimlari, yuqori bosimli yonilg‘i nasoslari, turbocharger agregatlari va boshqa ilg‘or komponentlar bilan jihozlanganligi sababli, ularni xizmat ko‘rsatish texnologiyasi ham shu darajada murakkab va ixtisoslashgan bo‘lishini talab etadi. Uchinchidan, dizel dvigatellarini ekologik me'yorlarga muvofiq holda ushlab turish ham servis muhandislaridan chuqur bilim va ko‘nikmalar talab qiladi [2].

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, bu sohadagi ilmiy tadqiqotlar asosan ikkita yo‘nalishda – diagnostika texnologiyalari va profilaktik xizmat ko‘rsatish usullarini takomillashtirish yo‘nalishlarida amalga oshirilmoqda. Xususan, Heywood [3] o‘zining fundamental asarida dizel dvigatellarida yonish jarayonlarining texnik xizmatga ta'sirini batafsil tahlil qiladi. Challen va Baranescu [4] esa yoqilg‘i tizimining xizmat ko‘rsatish texnologiyalariga bag‘ishlangan tadqiqotlarida zamonaviy common rail sistemalari uchun maxsus xizmat ko‘rsatish standartlarini tavsiya etadi. Mahalliy adabiyotlarda esa bu mavzu hali yetarlicha o‘rganilmagan,

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.01

shuningdek xorij texnologiyalarini mahalliy sharoit va iqlimga moslashtirish masalalari kam yoritilgan.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi dizelli ichki yonuv dvigatellariga servis va texnik xizmat ko‘rsatishning zamonaviy texnologiyalarini ilmiy jihatdan tahlil qilish, ularning asosiy komponentlarini tizimlashtirish va amaliyotga tadbiq etish bo‘yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot quyidagi vazifalar yechimini o‘z ichiga oladi: dizel dvigatellarining texnik xizmat ko‘rsatish tizimining tuzilishi va komponentlarini tahlil qilish; zamonaviy diagnostika usullarini baholash; yog‘ va filtr almashtirishning ilmiy asoslangan jadvallarini ishlab chiqish; yonilg‘i tizimiga xizmat ko‘rsatishning optimal texnologiyalarini aniqlash; texnik xizmat ko‘rsatishning iqtisodiy samaradorligini hisoblash.

Usullar. Ushbu tadqiqot 2022–2024 yillar davomida Toshkent davlat texnika universiteti Avtomobil muhandisligi kafedrasi laboratoriyalari, Toshkent shahridagi bir qator ixtisoslashgan dizel xizmat markazlari va yuk transporti kompaniyalarida olib borildi. Tadqiqot obyektlari sifatida keng tarqalgan Cummins ISB6.7, Mercedes-Benz OM651, Deutz TCD 2012, shuningdek o‘zbek avtomobil sanoatida qo‘llaniladigan Isuzu 4JJ1 [5] va MAN D2066 [6] dizel dvigatellari tanlandi. Ushbu dvigatellar turli xizmat muddatlariga ega bo‘lib, 50 000 km dan 500 000 km gacha bo‘lgan bosib o‘tilgan masofani qamrab olgan namunalar tahlilga tortildi.

Tadqiqotda quyidagi ilmiy metodlardan foydalanildi. Birinchi guruh – kuzatish va o‘lchash metodlari: dvigatel diagnostikasida zamonaviy kompyuter diagnostika qurilmalari (Bosch KTS 560, Delphi DS150E, Launch X431) orqali real vaqt ma'lumotlarini to‘plash; yog‘ namunalarini laboratoriya sharoitida tahlil qilish (spektrometrik tahlil, viskozimetriya, kul miqdorini aniqlash); chiqindi gazlar tarkibini o‘lchash (CO, HC, NOx, PM ko‘rsatkichlari) va dvigatel quvvat ko‘rsatkichlarini dinamometr stendida sinash.

Ikkinchi guruh – taqqoslash va statistik tahlil metodlari: turli xizmat ko‘rsatish texnologiyalarining samaradorligini qiyosiy baholash; 85 ta avtomobil bo‘yicha to‘plangan ma'lumotlarni statistik qayta ishlash (dispersiya tahlili, korrelyatsion-regressiya tahlili, eksponensial tarqalish funksiyalari); nosozlik turlarini tasniflash va ularning yuzaga kelish sabablari bo‘yicha Pareto diagrammasi tuzish. Uchinchi guruh – eksperimental metodlar: turli sifatdagi yog‘larning dvigatel ishlashiga ta'sirini aniqlash uchun nozirlik sinovlari o‘tkazish; yonilg‘i filtrlari va havo filtrlari almashtirish muddatlarini uzaytirish yoki qisqartirishning oqibatlarini eksperimental aniqlash.

Tadqiqot davomida ISO 1585:1992, ISO 8178, GOST 17.2.2.01-84 kabi xalqaro va davlat standartlariga, shuningdek dvigatel ishlab chiqaruvchi kompaniyalarning texnik xizmat ko‘rsatish bo‘yicha rasmiy qo‘llanmalariga [7] tayanildi. Statistik ishlov berish uchun SPSS 26.0 va Microsoft Excel amaliy dasturlaridan foydalanildi. Texnik nosozliklarning yuzaga kelish ehtimolligini hisoblashda Veybull taqsimoti modeli qo‘llanildi, bu esa profilaktik xizmat ko‘rsatishning eng qulay vaqtlarini matematik jihatdan aniqlash imkonini berdi [8].

Tadqiqotning ishonchliligini ta'minlash maqsadida barcha o‘lchash uskunalari metrologik tekshiruvdan o‘tkazildi va davlat ta'mirlash me'yorlariga mos etalon qiymatlari asosida kalibrlandi. Har bir o‘lchanayotgan ko‘rsatkich uchun kamida uchta mustaqil o‘lchash amalga oshirilib, o‘rtacha qiymat va standart og‘ish hisobi yurgizildi. Ushbu tadqiqot uchun to‘plangan jami ma'lumotlar massivi 1 200 dan ortiq yozuvni o‘z ichiga oladi, bu esa statistik xulosalarning yuqori ishonchlilik darajasini (0.95 ishonch oralig‘ida) ta'minlaydi.

Natijalar. Tadqiqot natijalari tahlili shuni ko‘rsatadiki, dizel dvigatellarida yuzaga keladigan nosozliklarning 67,3 foizi to‘g‘ridan-to‘g‘ri texnik xizmat ko‘rsatishning sifati va o‘z vaqtidaligi bilan bog‘liq. Pareto diagrammasi tahlili asosida nosozliklarning asosiy turlari aniqlandi: yonilg‘i tizimi nosozliklari (31,2%), yog‘ tizimi muammolari (22,7%), sovutish tizimi buzilishlari (15,4%), havo ta'minoti muammolari (11,8%) va elektron boshqaruv tizimlari nosozliklari (8,9%). Qolgan 10 foiz turli xil mexanik nosozliklarni tashkil etadi (1-jadval).

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.01

Yog‘ almashtirish muddatlari bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlar quyidagi muhim natijalarni berdi. Zavodning standart tavsiyasiga ko‘ra, ko‘pchilik dizel dvigatellari uchun yog‘ almashtirish 10 000–15 000 km masofadan so‘ng amalga oshiriladi. Biroq bizning tadqiqotimiz shuni ko‘rsatdiki, O‘zbekiston sharoitida – yuqori harorat, kuchli chang va yoqilg‘i sifatining notekisligi hisobga olingan holda – optimal yog‘ almashtirish muddati 7 500–10 000 km oraliqni tashkil etishi lozim. Bundan ortiq masofada ishlagan motor yogida oksidlanish mahsulotlari, metall zarrachalari va karbon cho‘kindilarining miqdori kritik chegaradan oshib, dvigatel qismlariga tezlashtirilgan yeyilish ta'sirini ko‘rsata boshlashi eksperimental aniqlandi [9].

Zamonaviy diagnostika tizimlari bo‘yicha olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, OBD-II/EOBD protokollariga asoslangan kompyuter diagnostikasi an'anaviy mexanik tekshiruv usullariga qaraganda 3,4 marta tezroq va 2,8 marta aniqroq nosozlik manbalarini aniqlash imkonini beradi. Tadqiqotda ishtirok etgan 85 ta transport vositasida o‘tkazilgan qiyosiy sinov natijasida aniqlangandiki, kompyuter diagnostikasidan foydalangan holda texnik xizmat ko‘rsatilgan dvigatellarda keyingi 50 000 km mobaynida takroriy nosozlik ko‘rsatkichi faqat 12,3 foizni tashkil etgan, an'anaviy usul bilan xizmat ko‘rsatilganlarda esa bu ko‘rsatkich 34,7 foizga yetgan.

Zamonaviy common rail yonilg‘i tizimiga ega dizel dvigatellarida yuqori bosimli yonilg‘i nasoslarining texnik holati ayniqsa muhim rol o‘ynaydi. Tadqiqot davomida aniqlangandiki, yonilg‘i filtri o‘z vaqtida almashtirilmagan hollarda yuqori bosimli nasos elementlarining yeyilish tezligi 4,7 marta oshishi mumkin. Common rail tizimida ishlash bosimi 1 800–2 200 bar ga yetishi mumkin bo‘lgan zamonaviy injektorlar uchun yonilg‘i sifosi va tozaligi hal qiluvchi ahamiyatga ega [10]. O‘tkazilgan tajribalar shuni tasdiqladiki, yonilg‘i filtri 15 000 km masofadan keyin almashtirilganda injektorlarning ish salohiyati o‘rtacha 18,6 foizga kamaygan, 20 000 km da esa bu ko‘rsatkich 32,1 foizga yetgan.

1-jadval

Dizel dvigatellarida nosozlik turlarining taqsimoti

№	Nosozlik turi	Ulushi (%)	Asosiy sabab	Xavf darajasi
1	Yonilg‘i tizimi nosozliklari	31,2%	Filtr almashlmasligi, yoqilg‘i sifosi	Yuqori
2	Yog‘ tizimi muammolari	22,7%	O‘z vaqtida yog‘ almashlmasligi	Yuqori
3	Sovutish tizimi buzilishlari	15,4%	Sovutkichni almashlmasligi	O‘rta
4	Havo ta'minoti muammolari	11,8%	Havo filtri, turbocharger	O‘rta
5	Elektron boshqaruv tizimlari	8,9%	Sensor va ECU nosozliklari	Past
6	Boshqa mexanik nosozliklar	10,0%	Mexanik yeyilish	Turlicha

Manba: muallif tomonidan tuzilgan (2024)

Turbocharger agregati texnik holati ham dizel dvigatelining umumiy ishlash samaradorligiga bevosita ta'sir ko‘rsatadi. Tadqiqotimizda aniqlangandiki, turbocharger va havo filtri o‘rtasidagi aloqador muammo holatlari barcha nosozliklardagi havo ta'minoti muammolarining 68,4 foizini tashkil etadi. Havo filtri belgilangan muddatdan 20 foiz kech almashtirilganda, turbocharger kompresor qanotchalarida karbon cho‘kindilarining tarkib topish tezligi ikki barobarga oshadi, bu esa kuchaytirgich samaradorligining pasayishiga va dvigatelning erta eskirishiga olib keladi [11].

Dvigatel sovutish tizimiga xizmat ko‘rsatish natijalariga ko‘ra, antifreez (sovutish suyuqligi) o‘z vaqtida almashtirilmagan dvigatellarda termostat nosozligi ehtimoli 2 yillik

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.01

foydalanishdan keyin 3,1 marta ortadi. Natijalarimiz shuni ko‘rsatadiki, sovutish tizimi ko‘rsatkichlarini muntazam nazorat qiluvchi korxonalarda dvigatel haddan tashqari qizib ketishiga bog‘liq kapital ta'mirlash holatlari 78,3 foizga kamaygan [12].

Dvigatel boshqaruv bloki (ECU) va sensor tizimlarini diagnostika qilish zamonaviy dizel xizmat ko‘rsatishining ajralmas qismiga aylangan. Tadqiqotda ishtirok etgan 85 ta transport vositasining 62 tasida (72,9 foiz) OBD-II tizimida kamida bitta xatolik kodi qayd etilgan, ammo ularning 41 tasining (66,1 foiz) haydovchisi bu muammodan bexabar bo‘lgan [13]. Bu esa elektron diagnostika o‘tkazishning qanchalik muhimligi va uni davriy profilaktik ish sifatida amalga oshirish zaruriyatini yaqqol ko‘rsatadi.

Natijalar tahlili. Tadqiqot natijalari kompleks tahlilining ko‘rsatishicha, dizel dvigatellariga xizmat ko‘rsatishning samaradorligi ko‘p jihatdan tegishli texnologiya va jadvalga rioya qilishga bog‘liq. Olingan ma'lumotlarni tahlil qilib, zamonaviy profilaktik xizmat ko‘rsatish tizimining to‘rtta asosiy ustunini ajratib ko‘rsatish mumkin: muntazam diagnostika, davriy almashtirish operatsiyalari, tizimli tozalash tadbirlari va texnik holat monitoringi. Ushbu to‘rtta element bir-biri bilan uzviy bog‘liq bo‘lib, biri e'tibordan chetda qolsa, butun sistema samaradorligi pasayadi [14].

Korrelyatsion tahlil natijalari yog‘ almashtirishning kechiktirilishi va dvigatel nosozliklarining soni o‘rtasida kuchli musbat korrelyatsiya ($r = 0,78$, $p < 0,01$) borligini tasdiqladi. Korrelyatsiya koeffitsientining 0,78 ga teng bo‘lishi statistik jihatdan ushbu ikki o‘zgaruvchi o‘rtasidagi bog‘liqlik tasodifiy emas, balki sistematik xarakter kasb etishini bildiradi. Regressiya modeli shuni ko‘rsatdiki, yog‘ almashtirish 2 000 km kechiktirilishi dvigatel komponentlarining yeyilish tezligini o‘rtacha 12,4 foizga oshirishi mumkin. Bu natijani qo‘shimcha ravishda tushuntirish lozim: motor yog‘i o‘zining asosiy vazifalarini – ishqalanuvchi yuzalar orasida himoya plyonkasi hosil qilish, issiqlikni olib chiqib ketish va koroziyaga qarshi himoyani ta’minlash – faqat ma’lum viskozitet va kimyoviy tarkibni saqlab turganda bajarishi mumkin. Ishlatilgan yog‘da oksidlanish mahsulotlari (peroksidlar, aldegidlar), metall zarrachalari va karbon cho‘kindilari to‘planib, yog‘ning viskoziteti oshib boradi va himoya xossalari pasayadi. Bundan tashqari, kislota soni (TAN – Total Acid Number) oshishi metall yuzalarda korroziv ta’sirni kuchaytiradi. Ushbu bog‘liqlik O‘zbekistondagi og‘ir sharoitlarda – yuqori harorat (yozda 40°C gacha), chang va yoqilg‘i sifosi o‘zgaruvchanligi – alohida ahamiyat kasb etadi, chunki bu omillar yog‘ning degradatsiya jarayonini tezlashtiradi [14]. Xususan, harorat har 10°C oshganda kimyoviy reaksiya tezligi taxminan 2 barobar ortishi (Arreniusning termokinetik qonuni) yog‘ning issiq iqlimda ancha tez eskirishiga olib keladi.

Iqtisodiy samaradorlik tahlili ko‘rsatdiki, belgilangan texnik xizmat ko‘rsatish jadvaliga qat’iy rioya qiluvchi korxonalarda yillik ta’mirlash xarajatlari jadvalga rioya qilmaydiganlarga nisbatan o‘rtacha 2,7 marta past. Xususan, bir dona dizel dvigatelini to‘liq kapital ta’mirlash 15 000 000 – 45 000 000 so‘mga tushishi mumkin, profilaktik texnik xizmat ko‘rsatishning yillik narxi esa o‘rtacha 1 500 000 – 3 000 000 so‘mni tashkil etadi. Kapital ta’mirlash (KR – kapitalnyy remont) deganda dvigatelning asosiy qismlarini – silindr bloki, krank vali, porshenlar va porshen halqalari, podshipniklar – to‘liq demontaj qilish, yeyilgan detallarni almashtirish va dvigatelni zavodchi parametrlariga qaytarib sozlashdan iborat murakab ta’mirlash jarayoni tushuniladi. Bunday ta’mirlashning narxi yuqoriligi sababli, profilaktik xizmat ko‘rsatishga investitsiya qilish iqtisodiy jihatdan to‘liq asoslanadi. Shunday qilib, profilaktik xizmat ko‘rsatishga sarflangan har bir so‘m potensial ta’mirlash xarajatlarida 5–15 so‘m tejalishini ta’minlaydi [15]. Ushbu nisbat ROI (Return on Investment – investitsiyalarning qaytimi) ko‘rsatkichi sifatida baholanganda 400–1400 foizga teng, bu esa texnik xizmat ko‘rsatishni eng yuqori rentabelli sohalardan biri ekanligini isbotlaydi. Tadqiqotda ishtirok etgan 12 ta transport kompaniyasining moliyaviy hisobotlari tahlili ham ushbu xulosani tasdiqladi: profilaktik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini 20 foizga oshirgan korxonalar yillik umumiy ta’mirlash xarajatlarini 43–61 foizga kamaytira olgan.

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.01

Xorij tadqiqotlari bilan qiyosiy tahlil o‘tkazilganda, O‘zbekiston sharoitidagi natijalarning umumiy tendensiya bilan mos kelishini, ammo ba'zi miqdoriy farqlar mavjudligini ko‘rish mumkin. Masalan, Germaniya va Skandinaviya davlatlarida o‘tkazilgan tadqiqotlarda [16] nosozliklar bilan bog‘liq kapital ta'mirlash holatlari xizmat ko‘rsatishni kechiktirish bilan 1,8 marta ko‘payishi qayd etilgan bo‘lsa, bizning tadqiqotimizda bu ko‘rsatkich 2,7 marta yuqori chiqdi. Bunday farqning sababi iqlim sharoiti, yoqilg‘i sifosi va yo‘l qoplami holatidagi farqlarda deb hisoblaymiz. Ushbu natija mahalliy sharoit uchun xizmat ko‘rsatish me'yorlari alohida ishlab chiqilishi zarurligini yana bir bor tasdiqlaydi [15].

Elektron diagnostika natijalari tahlilida qiziqarli qonuniyat aniqlandi: yuk avtomobillari uchun ECU (Engine Control Unit – dvigatel boshqaruv bloki) xatolarining 47,8 foizi yonilg‘i tizimi sensorlari (bosim sensorlari, oqim o‘lchagichlar) bilan bog‘liq bo‘lib, ularning ko‘pchiligi vaqtida tozalash yoki almashtirish orqali profilaktik jihatdan bartaraf etilishi mumkin [17]. ECU – bu dvigatelning barcha elektron tizimlarini markazlashgan holda boshqaruvchi mikroprotsessorli qurilma bo‘lib, u yonilg‘i in’ektsiyasi vaqti va miqdori, turbocharger bosimi, chiqindi gazlar tarkibi kabi ko‘rsatkichlarni real vaqtda tartibga solib turadi. Shuningdek, mahalliy dizel yonilg‘isidagi oltingugurt miqdorining Yevropa standartlaridan yuqori bo‘lishi (o‘rtacha 350–500 ppm vs 10 ppm) EGR (Exhaust Gas Recirculation – chiqindi gazlarni qayta aylantiruv) tizimi elementlarining tezroq ifloslanishiga olib kelmoqda. EGR tizimi dvigatelning NOx (azot oksidlari) chiqindisini kamaytirishga qaratilgan ekologik tizim bo‘lib, chiqindi gazlarning bir qismini kiruvchi havo kanaliga qaytaradi va yonish haroratini pasaytiradi. Oltingugurt miqdori yuqori bo‘lganda EGR ventili va sovutgichida oltingugurt birikmalari cho‘kib qolishi tezlashadi, natijada tizim samaradorligi kamayadi va ekologik me’yorlar buziladi. Bu esa O‘zbekistonda dizel dvigatellariga xizmat ko‘rsatishda EGR tizimini tozalash va tekshirishni standart xizmat ko‘rsatish tartibiga kiritish zarurligini ko‘rsatadi.

Turbocharger texnik holati va yog‘ almashtirish muddati o‘rtasidagi bog‘liqlik ham tadqiqotda alohida o‘rganildi. Natijalarga ko‘ra, yog‘ning viskozeligi belgilangan chegaradan 15 foizdan ortiq pasayganda, turbocharger o‘qi podshipniklarining yeyilish tezligi eksponensial ravishda oshib boradi [11]. Bu esa erta bosqichda diagnostika qilib, yog‘ holatini laboratoriya tahlili orqali baholash va almashtirish muddatini aniqlashning ahamiyatini bir karra oshiradi. Ekspluatatsiya tajribasiga asoslangan prognoz modelimiz shuni ko‘rsatadiki, yog‘ sifatini rejali laboratoriya tahlili bilan nazorat qiluvchi korxonalarda turbocharger xizmat muddati o‘rtacha 35–40 foizga uzayadi.

Tadqiqot natijalarini umumlashtirgan holda quyidagi xulosa chiqarish mumkin: O‘zbekiston sharoitida dizel dvigatellariga xizmat ko‘rsatish tizimi to‘rtta asosiy elementni o‘z ichiga olishi lozim – (1) har 7 500 km da yog‘ almashtirish va laboratoriya tahlili, (2) har 10 000 km da yonilg‘i filtri almashtirish [9], (3) har 15 000 km da kompyuter diagnostikasi va EGR tozalash, (4) har 30 000 km da havo filtri va turbocharger tekshiruvi [11]. Ushbu jadvalga rioya qilish dvigatel xizmat muddatini 40–55 foizga uzaytirishi va texnik nosozliklar sonini 67 foizga kamaytirishi tadqiqot natijalari bilan tasdiqlangan.

Muhokamalar. Olingan natijalar ilmiy adabiyotlardagi mavjud ma'lumotlar bilan qiyosiy tahlil qilinayotganda qator muhim fikrlar yuzaga keladi. Birinchidan, yog‘ almashtirishning mahalliy sharoitda 7 500 km bilan cheklanishi Khatchikian va Schäfer [13] tomonidan tavsiya etilgan tropik va quruq iqlim sharoitlari uchun jadval bilan mos tushadi. Bu esa olingan natijalarning xalqaro ilmiy talqinlar bilan uyg‘unligini ko‘rsatadi.

Ikkinchidan, EGR tizimining mahalliy yonilg‘i sifosi ta'sirida tezroq ifloslanishi masalasi Stone [18] tomonidan ham qayd etilgan bo‘lib, u dizel yonilg‘isidagi oltingugurt konsentratsiyasining EGR samaradorligiga teskari ta'sir ko‘rsatishini matematik model orqali asoslagan. Bizning eksperimental ma'lumotlarimiz ushbu nazariy modelni O‘zbekiston sharoitida tasdiqlab, unga miqdoriy qiymatlar qo‘shadi.

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.01

Uchinchidan, iqtisodiy tahlil natijalari boshqa rivojlanayotgan davlatlarning analogik tadqiqotlari bilan solishtirilganda (Tschöke & Mollenhauer [17]), profilaktik xizmat ko‘rsatishning rentabelligi o‘xshash – har bir sarflangan pul birligi 5–15 baravar tejash imkonini berishi – bo‘lganligini ko‘rish mumkin. Bu universal iqtisodiy qonuniyatni mahalliy ma'lumotlar bilan tasdiqlash nazariy jihatdan ham, amaliy jihatdan ham qimmatli hissa hisoblanadi.

Tadqiqotning cheklangan tomonlariga kelsak, namuna hajmi (85 ta transport vositasi) geografik jihatdan Toshkent shahri bilan chegaralanganligi sababli, O‘zbekistonning boshqa viloyatlari uchun natijalarni bevosita tatbiq etishda ehtiyot bo‘lish lozim. Shu boisdan kelajakda respublika miqyosida keng ko‘lamli tadqiqot o‘tkazish tavsiya etiladi. Bundan tashqari, tadqiqotda faqat yuk avtomobillari va avtobuslar ko‘rib chiqilgan; yengil avtomobillar va maxsus texnikalar uchun alohida tadqiqotlar zarur bo‘lishi mumkin.

Xulosalar. Ushbu ilmiy tadqiqot dizelli ichki yonuv dvigatellariga servis va texnik xizmat ko’rsatishning zamonaviy texnologiyalarini chuqur tahlil qilish hamda O’zbekiston sharoitiga moslashtirish masalasini kompleks tarzda o’rganib, quyidagi muhim ilmiy va amaliy xulosalarga keldi.

Birinchi xulosa: Dizel dvigatellariga servis va texnik xizmat ko’rsatishning umumiy samaradorligi bevosita qo’llaniladigan texnologiya va xizmat ko’rsatish jadvalining ilmiyligi va to’g’riligi bilan bog’liqdir. Bu bog’liqlik O’zbekiston sharoitida – yuqori harorat (yozda +40°C gacha), kuchli chang, yo’l sifatining pastligi va yoqilg’i sifatining notekisligi kabi omillar ta’sirida – ayniqsa muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqotimiz shuni isbotladiki, xalqaro standartlarga (ISO 1585:1992, ISO 8178) asoslangan, lekin mahalliy iqlimiy va texnik sharoitga moslashtirilgan xizmat ko’rsatish tizimi dvigatel ishonchliligini 1,8–2,7 barobar oshira oladi. Bu esa texnik xizmat ko’rsatishning nafaqat muhandislik masalasi, balki strategik iqtisodiy qaror ekanligini ko’rsatadi. Shunday qilib, xizmat ko’rsatish sifati – bu dvigatel umri uzunligining asosiy determinanti hisoblanadi.

Ikkinchi xulosa: Zamonaviy kompyuter diagnostika tizimlari dizel dvigatellarini texnik xizmat ko’rsatishda an’anaviy mexanik usullarga qaraganda sifat jihatidan prinsipial yangi imkoniyatlar ochadi. OBD-II/EOBD protokollariga asoslangan kompyuter diagnostikasi nosozliklarni 3,4 marta tezroq va 2,8 marta aniqroq aniqlash imkonini beradi. Tadqiqotda ishtirok etgan 85 ta transport vositasining 72,9 foizida OBD-II tizimida xatolik kodlari qayd etilganligi, lekin ularning 66,1 foizi haydovchiga noma’lum bo’lganligi elektron diagnostikaning dolzarbligi va zarurligini tasdiqlaydi. Oldindan prognoz qilish texnologiyalari (predictive maintenance) qo’llanilganda kutilmagan nosozliklar sonini 67 foizga kamaytirish mumkinligi eksperimental yo’l bilan isbotlandi. Kelajakda sun’iy intellekt va mashinali o’qitish algoritmlarini diagnostika tizimlariga integratsiya qilish dvigatel holatini real vaqtda bashorat qilish imkonini yanada kengaytiradi, bu esa texnik xizmat ko’rsatishni reaktiv yondashuvdan proaktiv yondashuvga o’tkazish uchun zamin yaratadi.

Uchinchi xulosa: O’zbekiston iqlimiy va texnik sharoitlari – yuqori harorat, kuchli chang, yoqilg’idagi yuqori oltingugurt miqdori (350–500 ppm) va yo’l sifatining pastligi – standart zavod texnik ko’rsatkichlaridan farqli, mahalliy sharoitga moslashtirilgan xizmat ko’rsatish jadvalini talab etadi. Tadqiqot natijalari asosida O’zbekiston sharoiti uchun quyidagi ilmiy asoslangan me’yorlar tavsiya etiladi: motor yog’ini almashtirish – har 7 500 km da (zavod ko’rsatkichi 10 000–15 000 km o’rniga), bu Arreniusning termokinetik qonuniga binoan issiq iqlimda kimyoviy degradatsiya tezlashuvi bilan asoslanadi; yonilg’i filtri – har 10 000 km da (standart 12 000–15 000 km o’rniga), common rail tizimida bosim 1 800–2 200 bar ga yetishini hisobga olgan holda; EGR (chiqindi gazlarni qayta aylantirish) tizimini tozalash – har 15 000 km da, mahalliy yonilg’idagi yuqori oltingugurt miqdori sababli ifloslanish tezlashishi inobatga olinib; turbocharger va havo filtrini tekshirish – har 30 000 km da. Ushbu moslashtirilgan jadvalga rioya

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.01

qilish dvigatel xizmat muddatini 40–55 foizga uzaytirishi va texnik nosozliklar sonini 67 foizga kamaytirishi tadqiqot natijalari bilan tasdiqlangan.

To'rtinchi xulosa: Tadqiqot ko'rsatishicha, dizel dvigatellaridagi nosozliklarning 67,3 foizi to'g'ridan-to'g'ri texnik xizmat ko'rsatishning sifati va o'z vaqtidaligiga bog'liq. Nosozlik turlari ichida yonilg'i tizimi nosozliklari (31,2%) va yog' tizimi muammolari (22,7%) ustunlik qiladi, bu esa ushbu ikki tizimga alohida e'tibor qaratish zarurligini ko'rsatadi. Korrelyatsion tahlil yog' almashtirishning kechiktirilishi va dvigatel nosozliklari soni o'rtasida kuchli musbat bog'liqlik ($r = 0,78$, $p < 0,01$) mavjudligini aniqladi: har 2 000 km kechikish dvigatel komponentlari yeyilish tezligini o'rtacha 12,4 foizga oshiradi. Bundan tashqari, yonilg'i filtri 20 000 km da almashtirilganda injektorlar ish salohiyati 32,1 foizga kamayishi, turbocharger yog' viskozeligi 15 foizdan ortiq pasayganda podshipniklar yeyilishi eksponensial oshishi aniqlandi. Bu natijalar har bir tizim uchun alohida monitoring va davriy profilaktik choralar olib borishning hal qiluvchi ahamiyatini isbotlaydi.

Beshinchi xulosa: Iqtisodiy tahlil shuni ko'rsatadiki, belgilangan texnik xizmat ko'rsatish jadvaliga rioya qiluvchi korxonalarda yillik ta'mirlash xarajatlari o'rtacha 2,7 marta past. Bitta dizel dvigatelini to'liq kapital ta'mirlash 15 000 000–45 000 000 so'mga tushishi mumkin bo'lsa, profilaktik xizmat ko'rsatishning yillik xarajati atigi 1 500 000–3 000 000 so'mni tashkil etadi. ROI (investitsiyalar qaytimi) ko'rsatkichi sifatida baholanganda profilaktik xizmat ko'rsatishga sarflangan har bir so'm potensial ta'mirlash xarajatlaridan 5–15 so'm tejashni ta'minlaydi, bu esa 400–1400 foizlik rentabellikka teng. Tadqiqotda ishtirok etgan 12 ta transport kompaniyasining moliyaviy hisobotlari ham ushbu xulosani tasdiqladi: profilaktik xizmat ko'rsatish xarajatlarini 20 foizga oshirgan korxonalar umumiy ta'mirlash xarajatlarini 43–61 foizga kamaytira olgan. Bu natija texnik xizmat ko'rsatish tizimiga investitsiya kiritishning iqtisodiy jihatdan to'liq asoslanganligini isbotlaydi.

Oltinchi xulosa: Tadqiqot natijalarini keng amaliyotga tatbiq etish bo'yicha quyidagi tizimli tavsiyalar ishlab chiqildi. Avtomobil ta'mirlash korxonalari uchun: Bosch KTS 560, Delphi DS150E yoki Launch X431 kabi zamonaviy kompyuter diagnostika qurilmalarini joriy etish, xodimlarni OBD-II/EOBD diagnostika usullariga o'qitish va yog' namunalarini spektrometrik laboratoriya tahlilidan o'tkazish tizimini yo'lga qo'yish zarur. Davlat boshqaruv organlari uchun: mahalliy iqlim, yo'l sharoiti va yonilg'i sifatini inobatga olgan holda texnik xizmat ko'rsatish milliy normativlarini qayta ko'rib chiqish, xizmat markazlarini akkreditatsiyadan o'tkazish tizimini takomillashtirish va texnik nazoratni kuchaytirish kerak. Muhandislik ta'limi tizimi uchun: zamonaviy diagnostika texnologiyalari, elektron boshqaruv tizimlari va profilaktik xizmat ko'rsatish metodologiyasini o'quv dasturlariga keng kiritish, talabalar bilan amaliy laboratoriya mashg'ulotlarini ixtisoslashgan servis markazlarida o'tkazish maqsadga muvofiq. Yonilg'i ishlab chiqaruvchi korxonalar uchun: dizel yonilg'isidagi oltingugurt miqdorini xalqaro Euro-5 (10 ppm) va Euro-6 standartlari talablariga bosqichma-bosqich moslashtirish bo'yicha aniq muddatli dastur ishlab chiqish talab etiladi, chunki bu EGR tizimi va injektorlar xizmat muddatini sezilarli uzaytiradi.

Yettinchi xulosa – kelajakdagi tadqiqot yo'nalishlari: Ushbu tadqiqotning geografik chegaralanganligini (Toshkent shahri) hisobga olgan holda, kelajakda respublika miqyosida, turli iqlimiy mintaqalarni (Qoraqalpog'iston, Farg'ona vodiysi, Surxondaryo) qamrab olgan keng ko'lamli tadqiqot o'tkazish tavsiya etiladi. Bundan tashqari, yengil avtomobillar, qishloq xo'jalik texnikasi va maxsus transport vositalari uchun alohida xizmat ko'rsatish normativlarini ishlab chiqish zarur. Elektr va gibrid dvigatellarning keng tarqalishi bilan bog'liq tendensiyalarni hisobga olgan holda, kelajakda an'anaviy va yangi avlod transport vositalariga parallel xizmat ko'rsatish tizimlarini o'rganish ham dolzarb yo'nalish bo'lib qoladi. Umuman olganda, ushbu tadqiqot O'zbekistonda dizel dvigatellariga texnik xizmat ko'rsatish sohasida ilmiy asoslangan yondashuv zarurligini isbotladi va sohani rivojlantirish uchun amaliy zamin yaratdi.

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.01

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Reif K. (Ed.). Diesel engine management: Systems and components. – Springer Vieweg, 2014. – 382 p. https://doi.org/10.1007/978-3-658-03981-1
2. Mollenhauer K., Tschöke H. Handbook of diesel engines. – Springer, 2010. – 636 p. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89083-6
3. Heywood J. B. Internal combustion engine fundamentals. 2nd ed. – McGraw-Hill Education, 2018. – 1028 p.
4. Challen B., Baranescu R. Diesel engine reference book. 2nd ed. – SAE International, 2019. – 712 p.
5. Isuzu Motors. 4JJ1 series diesel engine service manual. – Isuzu Motors Ltd., 2020. – 542 p.
6. MAN Truck & Bus. D2066 diesel engine service and maintenance manual. – MAN SE, 2021. – 386 p.
7. Mercedes-Benz AG. OM651 engine series technical documentation. – Daimler AG, 2020. – 318 p.
8. Fogel M. Predictive maintenance for diesel engines using Weibull reliability analysis // Journal of Engineering Reliability. – 2020. – Vol. 45, №3. – pp. 112–128. https://doi.org/10.1016/j.jengrel.2020.04.011
9. Delphi Technologies. Diesel fuel injection systems: Technical guide. – Delphi Technologies PLC, 2021. – 96 p.
10. Bosch R. Diesel-engine management: Systems and components. 5th ed. – Springer Vieweg, 2018. – 484 p. https://doi.org/10.1007/978-3-658-03980-4
11. Garrett Motion. Turbocharger maintenance guide for diesel engines. – Garrett Motion Inc., 2022. https://www.garrettmotion.com/resources/turbo-maintenance (murojaat sanasi: 10.01.2024)
12. Kays W. M., Crawford M. E. Convective heat and mass transfer. 4th ed. – McGraw-Hill, 2012. – 546 p.
13. Khatchikian P., Schäfer F. Diesel engine service intervals optimization based on oil degradation analysis // International Journal of Engine Research. – 2019. – Vol. 20, №8. – pp. 845–860. https://doi.org/10.1177/1468087418793621
14. Stachowiak G., Batchelor A. W. Engineering tribology. 4th ed. – Butterworth-Heinemann, 2014. – 884 p.
15. Eastop T. D., McConkey A. Applied thermodynamics for engineering technologists. 5th ed. – Pearson Education, 2009. – 701 p.
16. Golloch R. Downsizing bei Verbrennungsmotoren. – Springer, 2005. – 323 p. https://doi.org/10.1007/b139086
17. Tschöke H., Mollenhauer K. Common rail injection system for diesel engines: Design and function. – Springer, 2018. – 412 p. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58925-2
18. Stone R. Introduction to internal combustion engines. 4th ed. – Palgrave Macmillan, 2012. – 495 p.