SCIENCE HUB REVIEW
2026
Volume 1
Issue 3
www.sciencehubreview.uz
ILMIY ELEKTRON JURNAL

REAL HARAKAT SHAROITIDA (RDE) DIZEL AVTOMOBILLARI EMISSIYASINI O‘LCHASH USULLARI: PEMS, MASOFAVIY ZONDLASH VA BORT DIAGNOSTIKASI (OBD) TAHLILI

Kodirov Islomjon Yunusjon o‘g‘li

Shinhan unversteti magistranti, Janubiy Korea

Islomkodir877@gmail.com

Annotatsiya

Maqolada real harakat sharoitida dizel avtomobillari emissiyasini o‘lchashning uchta asosiy usuli – portativ emissiya o‘lchash tizimlari (PEMS), yo‘l bo‘yida masofaviy zondlash (RS) va bort diagnostikasi/bort monitoringi (OBD/OBM) – 2016–2026 yillarda chop etilgan ilmiy manbalar va me’yoriy hujjatlar asosida tizimli tahlil qilingan. Har bir usulning ishlash tamoyili, aniqligi, qamrovi, xarajatlari va me’yoriy maqomi solishtirildi. PEMS eng yuqori aniqlikni ta’minlasa-da, kam sonli avtomobillarni qamraydi; RS minglab avtomobillarni tezkor skrining qiladi; remote-OBD esa butun avtoparkni uzluksiz kuzatish imkonini beradi. Usullarni sun’iy intellekt yordamida integratsiyalash asosida O‘zbekiston uchun ko‘p bosqichli monitoring tizimi arxitekturasi taklif etildi.

Kalit so‘zlar

Real harakat emissiyasi, RDE, PEMS, masofaviy zondlash, OBD, OBM, dizel, NOx, sun’iy intellekt.

Kirish

Avtomobil transporti shahar havosini azot oksidlari (NOx) va mayda dispers zarrachalar (PM) bilan ifloslantiruvchi asosiy manbalardan biridir. Dizel avtomobillari NOx emissiyasining me’yordan ortiq qismi dunyoning 11 ta yirik bozorida yiliga o‘n minglab erta o‘limga sabab bo‘lishi baholangan [1]. Uzoq vaqt davomida avtomobillarning ekologik muvofiqligi faqat laboratoriya sharoitidagi xassi dinamometrida standart sikllar (NEDC, keyinchalik WLTP) bo‘yicha tekshirilgan. Biroq

2015 yildagi «Dieselgate» voqeasi va undan keyingi tadqiqotlar laboratoriya natijalari real harakat sharoitidagi emissiyani sezilarli darajada kam ko‘rsatishini isbotladi [2, 3].

Real harakat sharoitidagi emissiyaga yo‘l qiyaligi, havo harorati, haydash uslubi, tirbandlik va dvigatel holati kabi ko‘plab omillar ta’sir qiladi [4–6]. Masalan, WLTC sikli bo‘yicha sinovlarda ham Euro 6 dizel avtomobillarining NOx emissiyasi me’yordan 2,3–6 barobar yuqori bo‘lgan, −7 °C haroratda esa emissiya yanada keskin oshgan [6]. Shu sababli Yevropa Ittifoqi 2017 yildan real harakat emissiyasi (Real Driving Emissions, RDE) sinovlarini tip tasdiqlash tartibiga kiritdi [7, 8], Xitoy esa og‘ir yuk avtomobillari uchun remote-OBD orqali uzluksiz monitoringni majburiy qildi [9]. 2024 yilda qabul qilingan Euro 7 reglamenti esa bort monitoringi (OBM) talablarini kiritdi [10].

Hozirgi vaqtda real emissiyani o‘lchashning uchta asosiy yondashuvi shakllangan: portativ emissiya o‘lchash tizimlari (PEMS), yo‘l bo‘yida masofaviy zondlash (remote sensing, RS) va bort diagnostikasi (OBD) ma’lumotlariga asoslangan monitoring. Ularning har biri o‘z afzallik va cheklovlariga ega, lekin ular odatda alohida-alohida o‘rganiladi. O‘zbekistonda, xususan Toshkent shahrida havo ifloslanishi darajasi yuqoriligi [11] va avtoparkda eskirgan dizel avtomobillari ulushi sezilarli ekanini hisobga olsak, mahalliy sharoitga mos monitoring usulini tanlash dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Tadqiqot maqsadi – PEMS, RS va OBD usullarini ishlash tamoyili, aniqligi, qamrovi, xarajati va me’yoriy maqomi bo‘yicha tizimli tahlil qilish hamda ularni sun’iy intellekt (SI) yordamida integratsiyalash asosida monitoring tizimi konsepsiyasini ishlab chiqish. Buning uchun quyidagi vazifalar qo‘yildi: 1) har bir usulning texnik asoslarini tavsiflash; 2) usullarni ko‘p mezonli solishtirish; 3) usullar noaniqligi va cheklovlarini baholash; 4) O‘zbekiston sharoiti uchun integratsiyalashgan arxitektura taklif etish.

Metodlar

Tadqiqot tizimli adabiyot sharhi usulida bajarildi. Manbalar Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed va Google Scholar bazalaridan quyidagi kalit so‘zlar birikmalari orqali qidirildi: «real driving emissions», «PEMS», «remote sensing» AND «vehicle emissions», «on-board diagnostics» AND «NOx», «on-board monitoring», «diesel»

AND «machine learning». Qo‘shimcha ravishda Yevropa Ittifoqi, Xitoy va xalqaro tashkilotlarning (JRC, ICCT) me’yoriy hujjatlari va texnik hisobotlari tahlil qilindi.

Manbalarni tanlash mezonlari: 1) nashr yili 2016–2026; 2) taqriz qilingan jurnal maqolasi, rasmiy me’yoriy hujjat yoki nufuzli tashkilot hisoboti; 3) dizel avtomobillari emissiyasini real sharoitda o‘lchash yoki usullarning aniqligini baholashga bag‘ishlanganlik. Laboratoriya sikllarigagina tegishli, benzinli avtomobillarga yo‘naltirilgan yoki usul tavsifi yetarli bo‘lmagan ishlar chiqarib tashlandi. Yakuniy tahlilga ushbu maqolaning adabiyotlar ro‘yxatidagi manbalar kiritildi.

Usullarni solishtirish uchun oltita mezon tanlandi: aniqlik, qamrov (bir tadqiqotda qamraladigan avtomobillar soni), vaqt bo‘yicha uzluksizlik, arzonlik, o‘lchanadigan ifloslantiruvchilar soni va me’yoriy maqom. Har bir mezon bo‘yicha usullar adabiyot ma’lumotlariga tayangan holda 1–5 ballik shkalada ekspert baholandi (5 – eng yaxshi ko‘rsatkich).

Natijalar

1. Portativ emissiya o‘lchash tizimlari (PEMS)

PEMS – avtomobilga o‘rnatiladigan va harakat davomida chiqindi gazlar tarkibi hamda oqimini ikkinchi-ikkinchi o‘lchab boruvchi ko‘chma laboratoriya. Tizim chiqindi quvuriga ulanadigan adapter, chiqindi gaz massa oqimi o‘lchagichi (EFM), isitiladigan namuna olish liniyalari, gaz analizatorlari (CO va CO_2 uchun NDIR, NOx uchun CLD yoki NDUV), zarrachalar sonini hisoblagich (PN), GPS qabul qilgich va meteostansiyadan iborat (1-rasm, chapda). Ifloslantiruvchining oniy massaviy emissiyasi quyidagicha aniqlanadi:

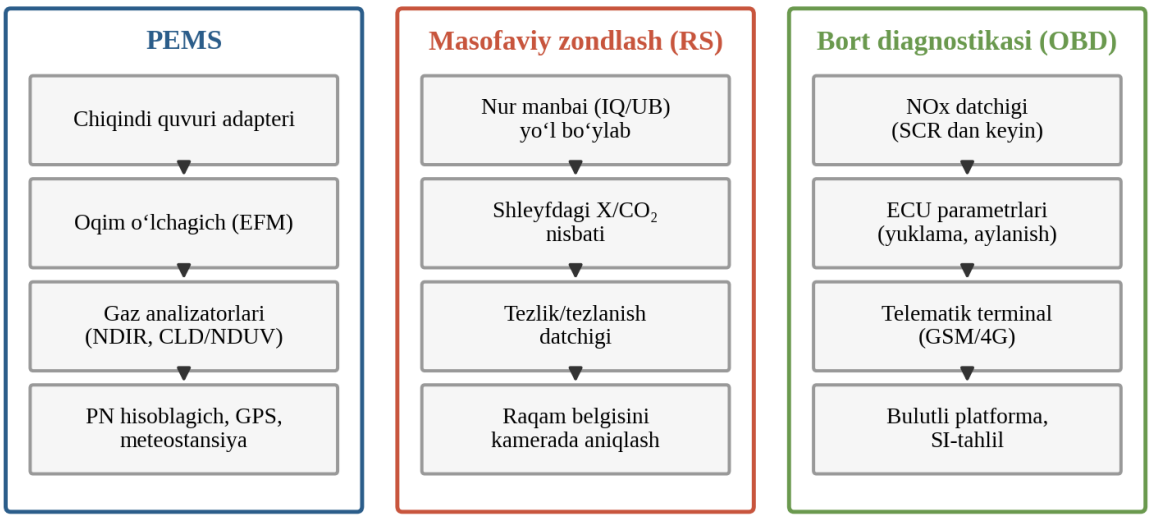
$$m_i(t) = u_i \cdot c_i(t) \cdot q_{m,ex}(t), \qquad (1)$$

bu yerda c_i – ifloslantiruvchi konsentratsiyasi, ppm; $q_{m,ex}$ – chiqindi gaz massa oqimi, kg/s; u_i – komponent zichligi nisbatiga bog‘liq koeffitsient. Masofaga nisbatan emissiya omili sinov davomidagi integral massani bosib o‘tilgan masofaga bo‘lish orqali g/km da hisoblanadi.

Yevropa Ittifoqi RDE tartibida sinov marshruti shahar, shahar atrofi va avtomagistral qismlaridan iborat bo‘lib, har biri umumiy masofaning taxminan uchdan bir qismini tashkil etadi, umumiy davomiylik esa 90–120 daqiqa [7, 8]. Natija me’yor bilan

muvofiqlik koeffitsienti (CF) orqali solishtiriladi: dastlab NOx uchun CF = 2,1 qo‘llanilgan bo‘lsa, reglamentga kiritilgan keyingi o‘zgartirishlar bilan Euro 6d bosqichida u 1,43 gacha kamaytirildi [7, 8].

PEMS ning afzalligi – o‘lchov aniqligi laboratoriya jihozlariga yaqinligi. Varella va hammualliflar PEMS va laboratoriya analizatorlarini parallel sinab, gaz komponentlari bo‘yicha natijalar qoniqarli mos kelishini ko‘rsatgan [12]. JRC mutaxassislari esa PEMS noaniqligini baholashning tizimli yondashuvini taklif etib, NOx o‘lchovidagi asosiy xato manbalari sifatida oqim o‘lchagich, analizatorlar dreyfi va vaqt bo‘yicha sinxronlashni ko‘rsatgan [13]. Kamchiliklari – jihozning yuqori narxi, o‘rnatish va kalibrlash murakkabligi, avtomobil massasining ortishi va bitta sinovda faqat bitta avtomobilning qamralishi.



1-rasm. PEMS, masofaviy zondlash va OBD tizimlarining printsipial tuzilishi

2. Masofaviy zondlash (Remote Sensing, RS)

Masofaviy zondlash tizimi yo‘l bo‘yida o‘rnatilib, o‘tayotgan avtomobil chiqindi gaz shleyfi orqali infraqizil va ultrabinafsha nurlanishni o‘tkazadi hamda yutilish spektri bo‘yicha gaz komponentlarini aniqlaydi. Shleyf suyulishi noma’lum bo‘lgani uchun absolyut konsentratsiya emas, balki ifloslantiruvchining CO_2 ga nisbati o‘lchanadi va yoqilg‘i balansidan yoqilg‘iga nisbatan emissiya omili hisoblanadi [14, 15]:

$$EF_i = (Q_i / (1 + Q_{CO} + Q_{HC}))\cdot (M_i / M_C) \cdot w_C, \quad (2)$$

bu yerda Q_i – ifloslantiruvchi va CO_2 konsentratsiyalari nisbati; M_i, M_C – molyar massalar; w_C – yoqilg‘idagi uglerod massa ulushi. Tizim bir vaqtda avtomobil tezligi va

tezlanishini o‘lchaydi, kamera esa davlat raqam belgisini aniqlab, avtomobilning texnik ma’lumotlari bilan bog‘laydi (1-rasm, o‘rtada).

RS ning asosiy afzalligi – juda katta qamrov: bitta post kuniga minglab avtomobilni o‘lchaydi va bir soniyadan kam vaqt sarflaydi. Grange va hammualliflar Buyuk Britaniyadagi RS ma’lumotlari asosida dizel avtomobillaridan to‘g‘ridan-to‘g‘ri NO_2 chiqindilarini siyosiy prognozlardan past ekanini ko‘rsatgan [16], keyingi tadqiqotda esa dizel NOx emissiyasining havo haroratiga kuchli bog‘liqligini aniqlagan [17]. Gonkongda RS 2014 yildan yuqori emissiyali avtomobillarni aniqlash uchun huquqiy vosita sifatida qo‘llanilmoqda va bu shahar havosi sifatining yaxshilanishiga olib kelgan [15, 18].

Cheklovlari: har bir o‘lchov bir soniyalik «suratni» aks ettiradi, shuning uchun alohida avtomobil uchun natija o‘zgaruvchan bo‘ladi; ishonchli baho olish uchun statistik ishlov va dvigatel yuklamasini (VSP) hisobga olish kerak [14]. Ko‘p polosali yo‘llarda o‘rnatish qiyin, yomg‘ir va nam yo‘l sharoitida aniqlik pasayadi [15]. Ropkins va hammualliflar yangi avlod EDAR tizimini baholab, uning ko‘p polosali yo‘llarda ham qo‘llanish imkoniyatini ko‘rsatgan [19].

3. Bort diagnostikasi va bort monitoringi (OBD/OBM)

OBD dastlab dvigatel va emissiyani kamaytirish tizimlaridagi nosozliklarni aniqlash va haydovchini ogohlantirish uchun joriy etilgan. Zamonaviy dizel avtomobillarida SCR katalizatoridan keyin o‘rnatilgan NOx datchigi, dvigatel boshqaruv bloki (ECU) parametrlari (aylanish chastotasi, burovchi moment, yoqilg‘i sarfi, havo sarfi, EGR holati, SCR harorati) va telematik terminal mavjud bo‘lib, bu ma’lumotlar simsiz aloqa orqali bulutli platformaga uzatilishi mumkin (remote-OBD, 1-rasm, o‘ngda).

Xitoyda China VI standarti og‘ir yuk dizel avtomobillari uchun OBD ma’lumotlarini real vaqtda ekologik nazorat organlariga uzatishni majburiy qildi [9]. Natijada ulkan ma’lumotlar massivlari yig‘ildi: masalan, 14 570 ta og‘ir yuk dizel avtomobilining remote-OBM ma’lumotlari tahlili China VI avtomobillarida NOx China V ga nisbatan 78,8 % kamligini ko‘rsatdi [20]. OBD datchigi natijalarini PEMS bilan solishtirgan tadqiqotlarda o‘rtacha nisbiy xato taxminan 15 % ni tashkil etgan [21].

OBD ning afzalliklari – past narx (qo‘shimcha jihoz talab etilmaydi yoki arzon terminal yetarli), butun avtopark bo‘yicha uzluksiz kuzatuv va ma’lumotlarning dvigatel ish rejimi bilan bevosita bog‘liqligi. Cheklovlari: tijorat NOx datchiklari harorat, namlik va ammiak ta’siriga sezgir, vaqt o‘tishi bilan dreyf beradi; PM uchun datchiklar hali keng tarqalmagan; ma’lumotlar sifati va manipulyatsiyadan himoyalash masalalari mavjud [21].

4. SI asosidagi ma’lumotlarni tahlil qilish usullari

Remote-OBD va RS katta hajmdagi ma’lumotlar oqimini hosil qiladi, ularni an’anaviy usullar bilan qayta ishlash qiyin. Shu sababli mashinali o‘qitish usullari keng qo‘llanila boshladi. Ge va hammualliflar tasodifiy o‘rmon (Random Forest) modelini OBD parametrlari asosida o‘qitib, NOx datchigi ko‘rsatkichidan foydalanmasdan ham SCR nosozligi tufayli yuqori emissiya holatlarini aniqlash mumkinligini ko‘rsatgan [21]. Böhm va hammualliflar GPS izlari asosida minglab avtomobil emissiyasini modellashtirib, emissiyalar og‘ir dumli taqsimotga ega ekanini, ya’ni kichik guruh «katta ifloslantiruvchilar» umumiy emissiyaning katta qismini hosil qilishini aniqlagan [22]. Bu natija SI asosida nishonli nazoratning samaradorligini asoslaydi.

5. Usullarni solishtirish

Uchala usulning asosiy tavsiflari 1-jadvalda, ko‘p mezonli ekspert baholash natijalari 2-rasmda keltirilgan.

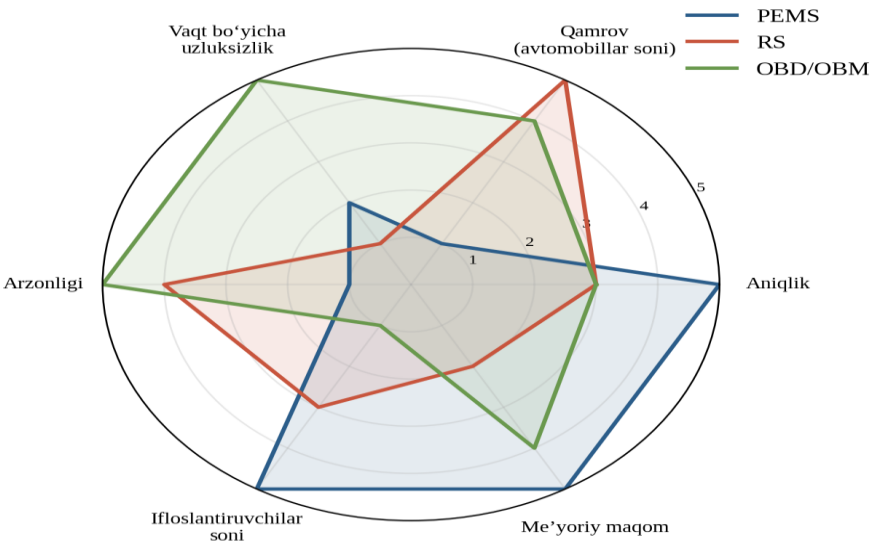
1-jadval

Real harakat emissiyasini o‘lchash usullarining qiyosiy tavsifi

Ko‘rsatkich	PEMS	Masofaviy zondlash	OBD/OBM
O‘lchov tamoyili	Konsentratsiya × oqim, to‘g‘ridan-to‘g‘ri	Shleyfda X/CO_2 nisbati, optik	Bort datchiklari va ECU ma’lumotlari
Ifloslantiruvchilar	CO, CO_2, NOx, NO_2, PN, THC	CO, HC, NO, NO_2, tutun/PM	Asosan NOx, CO_2 (yoqilg‘i sarfidan)
Vaqt ko‘lami	1 Hz, 1,5–2 soatlik sinov	< 1 s bitta o‘tish	1 Hz, uzluksiz (oylar, yillar)
Qamrov	1 avtomobil / sinov	Minglab avtomobil / kun	Butun avtopark
Aniqlik	Yuqori, laboratoriyaga yaqin [12, 13]	O‘rtacha, alohida o‘lchovda o‘zgaruvchan [14]	O‘rtacha, PEMS ga nisbatan ~15 % [21]

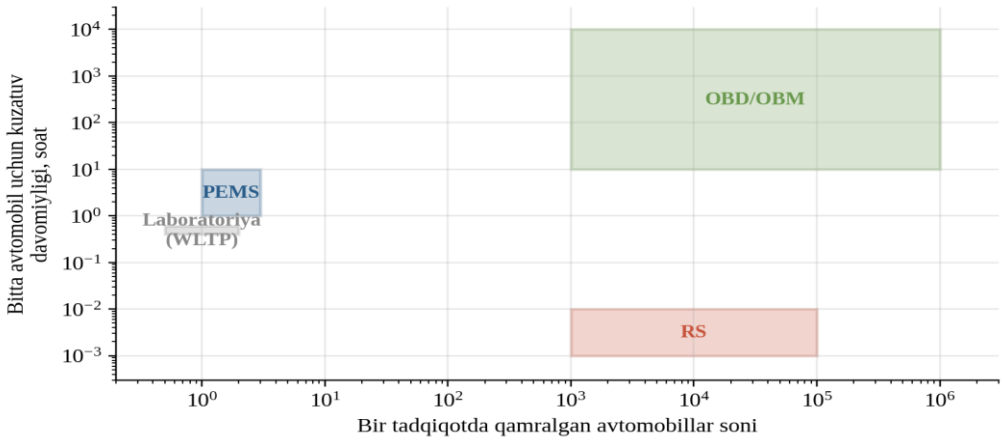
Xarajat	Yuqori (jihoz, xodim)	O‘rtacha (post)	Past (terminal)
Me’yoriy maqom	EI RDE, China VI [7–9]	Skrining (Gonkong va b.) [15]	China VI, Euro 7 OBM [9, 10]
Asosiy qo‘llanish	Tip tasdiqlash, verifikatsiya	Avtopark skriningi, inventarizatsiya	Uzluksiz nazorat, nosozlik aniqlash

2-rasmdan ko‘rinadiki, usullar bir-birini to‘ldiradi: PEMS aniqlik va me’yoriy maqom bo‘yicha, RS qamrov bo‘yicha, OBD esa uzluksizlik va arzonlik bo‘yicha yetakchi.



2-rasm. Usullarni ko‘p mezonli ekspert baholash (1–5 ball)

Bu farq fazoviy-vaqt qamrovi diagrammasida yaqqolroq namoyon bo‘ladi (3-rasm): PEMS bitta avtomobilni bir necha soat kuzatsa, RS minglab avtomobilni soniyaning bir qismida o‘lchaydi, remote-OBD esa millionlab avtomobilni yillar davomida kuzatishi mumkin.



3-rasm. Usullarning qamrovi va kuzatuv davomiyligi (logarifmik shkala, sxematik)

Me’yoriy talablar rivojlanishi 2-jadvalda umumlashtirilgan. Tendensiya aniq: bir martalik laboratoriya sinovidan real sharoitdagi sinovga, undan esa avtomobilning butun xizmat muddati davomida uzluksiz monitoringga o‘tish kuzatilmoqda.

2-jadval

Real harakat emissiyasi bo‘yicha asosiy me’yoriy hujjatlar (2016–2026)

Yil	Hujjat	Asosiy mazmuni
2017	Reglament (EI) 2017/1151 [7]	WLTP va RDE sinovlarini joriy etish, PEMS talablari
2018	Reglament (EI) 2018/1832 [8]	RDE tartibini takomillashtirish, xizmatdagi avtomobillar muvofiqligini (ISC) tekshirishni kuchaytirish
2018–2021	GB 17691-2018 (China VI) [9]	Og‘ir yuk avtomobillari uchun PEMS va remote-OBD majburiyati
2024	Reglament (EI) 2024/1257 (Euro 7) [10]	Bort monitoringi (OBM), xizmat muddati bo‘yicha talablar, tormoz zarrachalari

Muhokama

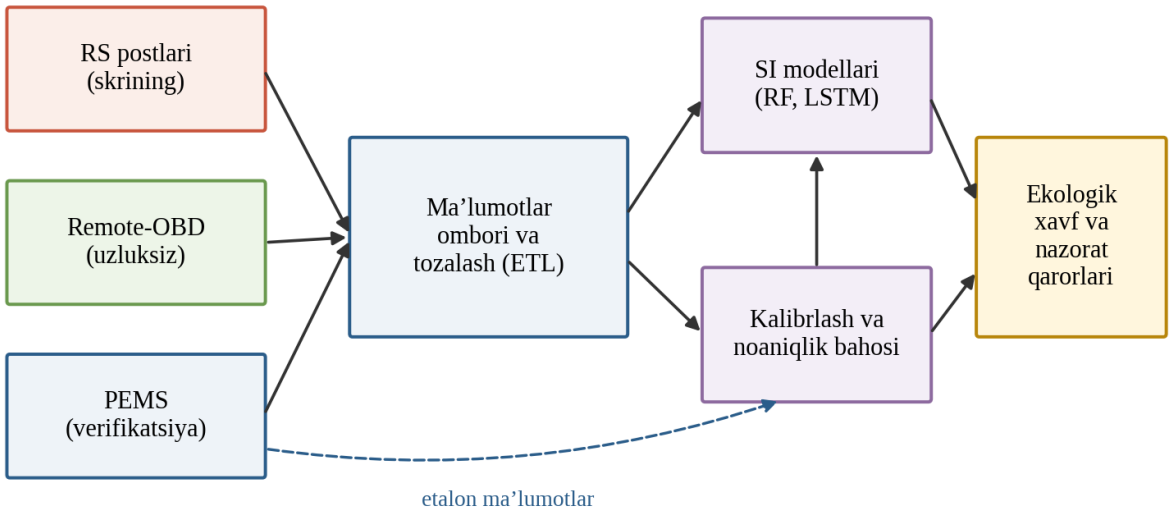
Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, real emissiyani o‘lchashning «ideal» usuli mavjud emas: har bir usul ma’lum savolga javob beradi. PEMS «avtomobil real sharoitda qancha chiqaradi?» degan savolga eng aniq javob beradi, biroq butun avtopark holatini aks ettira olmaydi. RS «avtoparkda qaysi avtomobillar ko‘p ifloslantiradi?» degan savolga tezkor javob beradi, lekin alohida avtomobil uchun yakuniy xulosa chiqarishda ehtiyotkorlik talab qiladi. OBD esa «avtomobil vaqt davomida qanday ishlayapti?» degan savolga javob beradi, ammo uning ishonchliligi datchiklar sifati va ma’lumotlar yaxlitligiga bog‘liq.

Noaniqlik masalasi alohida e’tiborga loyiq. PEMS uchun noaniqlik manbalari yaxshi o‘rganilgan va me’yoriy hujjatlarda hisobga olingan [13]. RS natijalari individual darajada katta tarqoqlikka ega, lekin avtopark darajasida agregatlanganda ishonchli emissiya omillarini beradi [14, 16]. OBD datchiklari uchun esa kalibrlash va dreyfni kuzatish tartibi hali shakllanish bosqichida [21]. Demak, usullarni birgalikda qo‘llash –

ya’ni PEMS ni etalon sifatida ishlatib, RS va OBD natijalarini kalibrlash – noaniqlikni kamaytirishning samarali yo‘lidir.

Tashqi omillar ta’sirini hisobga olish ham muhim. Yo‘l qiyaligi 0 dan 5 % gacha ortganda NOx 85–115 % ga oshishi [4], past haroratda esa emissiyaning keskin ortishi [6, 17] shuni ko‘rsatadiki, O‘zbekistonning kontinental iqlimi va relyefi sharoitida xorijiy emissiya omillarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri qo‘llash katta xatolikka olib kelishi mumkin. Shu sababli mahalliy o‘lchovlar asosida emissiya omillari bazasini yaratish zarur [23].

Yuqoridagi tahlil asosida O‘zbekiston uchun ko‘p bosqichli integratsiyalashgan monitoring tizimi arxitekturasi taklif etiladi (4-rasm). Birinchi bosqichda shahar magistrallariga o‘rnatilgan RS postlari avtoparkni skrining qiladi va yuqori emissiyali avtomobillarni aniqlaydi. Ikkinchi bosqichda jamoat transporti, yuk va kommunal avtomobillarda remote-OBD terminallari orqali uzluksiz kuzatuv yo‘lga qo‘yiladi. Uchinchi bosqichda PEMS tanlangan avtomobillarda verifikatsiya va boshqa usullarni kalibrlash uchun etalon ma’lumot manbai bo‘lib xizmat qiladi. Barcha ma’lumotlar yagona omborda birlashtirilib, SI modellari (Random Forest, gradiyent bustingi, LSTM) yordamida emissiya bashorati, anomaliyalarni aniqlash va ekologik xavfni baholash amalga oshiriladi.



4-rasm. SI asosidagi integratsiyalashgan emissiya monitoringi tizimi arxitekturasi

Taklif etilgan tizimni joriy etish uchun bir qator muammolarni hal qilish kerak: mahalliy avtoparkning OBD protokollari xilma-xilligi, eski avtomobillarda NOx datchiklarining yo‘qligi, ma’lumotlar almashinuvi bo‘yicha huquqiy asosning mavjud

emasligi va mutaxassislar tayyorlash. Eski avtomobillar uchun «virtual datchik» – ECU parametrlaridan SI modeli orqali emissiyani baholash – istiqbolli yechim hisoblanadi [21]. 3-jadvalda tizim bosqichlari bo‘yicha tavsiyalar keltirilgan.

3-jadval

Integratsiyalashgan monitoring tizimini bosqichma-bosqich joriy etish bo‘yicha tavsiyalar

Bosqich	Vosita	Maqsadli ob’ekt	Kutilayotgan natija
1. Skrining	RS postlari	Shahar magistrallari, kirish yo‘llari	Yuqori emissiyali avtomobillar ro‘yxati, avtopark emissiya omillari
2. Uzluksiz nazorat	Remote-OBD, virtual datchik	Avtobuslar, yuk va kommunal texnika	Real vaqtdagi NOx, nosozliklarni erta aniqlash
3. Verifikatsiya	PEMS	Tanlangan avtomobillar, turli mavsumlar	Etalon ma’lumotlar, RS va OBD kalibrlash
4. Tahlil va qaror	SI modellari, GIS	Shahar miqyosi	Emissiya xaritalari, ekologik xavf indeksi

Xulosa

Dizel transport vositalari emissiyasini baholashda PEMS, masofaviy zondlash va Remote-OBD/OBM usullari turli vazifalarni bajaradi. PEMS real harakat sharoitida emissiyani bevosita o‘lchash hamda natijalarni tekshirish uchun muhim usuldir. Biroq uning yuqori xarajati butun avtoparkni ommaviy nazorat qilishni cheklaydi. Masofaviy zondlash minglab avtomobillarni qisqa vaqt ichida dastlabki tekshiruvdan o‘tkazish va avtoparkning emissiya omillarini baholash imkonini beradi. Alohida avtomobil bo‘yicha ishonchli xulosa chiqarish uchun esa natijalarni statistik tahlil qilish talab etiladi.

Remote-OBD/OBM tizimlari nisbatan kam xarajat bilan transport vositalarini uzluksiz kuzatish imkonini beradi. Euro 7 va China VI talablari doirasida bunday yondashuvlarning ahamiyati ortib bormoqda. Shu bilan birga, ularning o‘lchov natijalarini PEMS bilan solishtirib tekshirish zarur; keltirilgan taxminiy 15 foizlik xatolik barcha transport vositalari va sharoitlar uchun bir xil deb qabul qilinmasligi kerak.

Shu bois O‘zbekiston sharoitida usullarni sun’iy intellekt modellari yordamida birlashtirish maqsadga muvofiq: masofaviy zondlash orqali yuqori emissiyali avtomobillarni saralash, OBD/OBM orqali ularni uzluksiz kuzatish, PEMS orqali esa natijalarni tekshirish mumkin. Keyingi tadqiqotlar mahalliy yo‘l va iqlim sharoitida PEMS hamda OBD o‘lchovlarini o‘tkazish, emissiya omillari bazasini shakllantirish va sun’iy intellektga asoslangan virtual datchik modellarini ishlab chiqishga qaratilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

1. Anenberg S.C., Miller J., Minjares R. et al. Impacts and mitigation of excess diesel-related NOx emissions in 11 major vehicle markets // Nature. – 2017. – Vol. 545. – P. 467–471. – DOI: 10.1038/nature22086.

2. Fontaras G., Zacharof N.-G., Ciuffo B. Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe – laboratory versus real-world emissions // Progress in Energy and Combustion Science. – 2017. – Vol. 60. – P. 97–131.

3. O’Driscoll R., Stettler M.E.J., Molden N. et al. Real world CO2 and NOx emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars // Science of the Total Environment. – 2018. – Vol. 621. – P. 282–290.

4. Gallus J., Kirchner U., Vogt R., Benter T. Impact of driving style and road grade on gaseous exhaust emissions of passenger vehicles measured by a Portable Emission Measurement System (PEMS) // Transportation Research Part D. – 2017. – Vol. 52. – P. 215–226. – DOI: 10.1016/j.trd.2017.03.011.

5. Choudhary A., Gokhale S. Urban real-world driving traffic emissions during interruption and congestion // Transportation Research Part D. – 2016. – Vol. 43. – P. 59–70.

6. Suarez-Bertoa R., Astorga C. Impact of cold temperature on Euro 6 passenger car emissions // Environmental Pollution. – 2018. – Vol. 234. – P. 318–329. – DOI: 10.1016/j.envpol.2017.10.096.

7. Commission Regulation (EU) 2017/1151 of 1 June 2017 supplementing Regulation (EC) No 715/2007 on type-approval of motor vehicles with respect to emissions // Official Journal of the European Union. – 2017. – L 175. – P. 1–643.

8. Commission Regulation (EU) 2018/1832 of 5 November 2018 amending Directive 2007/46/EC, Regulation (EC) No 692/2008 and Regulation (EU) 2017/1151 // Official Journal of the European Union. – 2018. – L 301. – P. 1–314.

9. GB 17691-2018. Limits and measurement methods for emissions from diesel fuelled heavy-duty vehicles (CHINA VI). – Beijing: Ministry of Ecology and Environment of China, 2018.

10. Regulation (EU) 2024/1257 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on type-approval of motor vehicles and engines … with respect to their emissions and battery durability (Euro 7) // Official Journal of the European Union. – 2024.

11. World Bank. Air Quality Assessment for Tashkent and the Roadmap for Air Quality Management Improvement in Uzbekistan. – Washington, DC: World Bank, 2024.

12. Varella R.A., Giechaskiel B., Sousa L., Duarte G. Comparison of Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) with laboratory grade equipment // Applied Sciences. – 2018. – Vol. 8, No. 9. – Art. 1633.

13. Giechaskiel B., Clairotte M., Valverde-Morales V. et al. Framework for the assessment of PEMS (Portable Emissions Measurement Systems) uncertainty // Environmental Research. – 2018. – Vol. 166. – P. 251–260.

14. Borken-Kleefeld J., Dallmann T. Remote sensing of motor vehicle exhaust emissions: White paper. – Washington, DC: International Council on Clean Transportation, 2018.

15. Huang Y., Organ B., Zhou J.L. et al. Remote sensing of on-road vehicle emissions: mechanism, applications and a case study from Hong Kong // Atmospheric Environment. – 2018. – Vol. 182. – P. 58–74. – DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.03.035.

16. Grange S.K., Lewis A.C., Moller S.J., Carslaw D.C. Lower vehicular primary emissions of NO2 in Europe than assumed in policy projections // Nature Geoscience. – 2017. – Vol. 10. – P. 914–918.

17. Grange S.K., Farren N.J., Vaughan A.R. et al. Strong temperature dependence for light-duty diesel vehicle NOx emissions // Environmental Science & Technology. – 2019. – Vol. 53, No. 11. – P. 6587–6596. – DOI: 10.1021/acs.est.9b01024.

18. Huang Y., Lee C.K.C. et al. Rapid detection of high-emitting vehicles by on-road remote sensing technology improves urban air quality // Science Advances. – 2022. – Vol. 8, No. 5. – Art. eabl7575.

19. Ropkins K. et al. Evaluation of EDAR vehicle emissions remote sensing technology // Science of the Total Environment. – 2017. – Vol. 609. – P. 1464–1474.

20. Li S., Li G., He L. et al. Heavy-duty diesel vehicle NOx emissions and fuel consumption: remote on-board monitoring analysis // Transportation Research Part D. – 2025. – Vol. 146. – Art. 104875.

21. Ge Y., Hou P., Lyu T. et al. Machine learning-aided remote monitoring of NOx emissions from heavy-duty diesel vehicles based on OBD data streams // Atmosphere. – 2023. – Vol. 14, No. 4. – Art. 651. – DOI: 10.3390/atmos14040651.

22. Böhm M., Nanni M., Pappalardo L. Gross polluters and vehicle emissions reduction // Nature Sustainability. – 2022. – Vol. 5. – P. 699–707. – DOI: 10.1038/s41893-022-00903-x.

23. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. Part B, 1.A.3.b.i-iv Road transport. – Copenhagen: European Environment Agency, 2023.