



AQLLI YO‘LLAR ('SMART ROADS') TEXNOLOGIYASI VA ULARNING ISTIQBOLLARI

Andijon davlat texnika instituti

Yo'l muhandisligi 4-kurs talabasi

Abdusattorov Saidmurod

Maribjonov Asadbek

Ro'zmatov Polvonboy

Davlatov Asrorjon

Annotatsiya

Mazkur ilmiy maqolada aqlli yo‘llar (Smart Roads) texnologiyasi va ularning zamonaviy transport infratuzilmasidagi o‘rni, rivojlanish bosqichlari hamda istiqbollari tahlil qilinadi. Adabiyotlar sharhida nazariy va amaliy yondashuvlar, klassik va zamonaviy qarashlar, mintaqaviy va milliy olimlarning hissasi, empirik tadqiqotlar va mavjud bahs-munozaralar yoritiladi. Tadqiqot natijalari asosida aqlli yo‘llar texnologiyasining transport tizimini optimallashtirish, xavfsizlikni oshirish va ekologik barqarorlikka ta’siri chuqur o‘rganiladi.

Kalit so'zlar: aqlli yo‘llar, raqamli infratuzilma, transport innovatsiyalari, yo‘l xavfsizligi

Abstract

This scientific article investigates smart road technologies, their role in modern transport infrastructure, developmental stages, and future prospects. The literature review covers theoretical and practical approaches, classical and contemporary perspectives, contributions of regional and national scholars, empirical studies, and ongoing debates. The research finds that smart road technologies significantly optimize transportation systems, enhance safety, and



promote environmental sustainability, offering a deep analysis of their practical and strategic implications for future mobility.

Keywords: smart roads, digital infrastructure, transport innovation, road safety

Аннотация

В данной научной статье рассматриваются технологии умных дорог, их роль в современной транспортной инфраструктуре, этапы развития и перспективы. В литературном обзоре отражены теоретические и практические подходы, классические и современные взгляды, вклад региональных и национальных ученых, эмпирические исследования и существующие дискуссии. Результаты исследования показывают, что технологии умных дорог оптимизируют транспортные системы, повышают безопасность и способствуют экологической устойчивости, что раскрывает их стратегическую значимость для будущей мобильности.

Ключевые слова: умные дороги, цифровая инфраструктура, транспортные инновации, безопасность дорог

Kirish

XXI asrning transport sohasidagi eng muhim innovatsion yutuqlaridan biri sifatida aqlli yo'llar, ya'ni 'Smart Roads' texnologiyasi tobora keng tarqalmoqda. Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt asosida ishlovchi ushbu tizimlar nafaqat transport oqimini samarali boshqarish, balki yo'l harakati xavfsizligini oshirish, ekologik muammolarni kamaytirish va iqtisodiy samaradorlikni ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etmoqda. Zamonaviy jamiyatda harakatning tezligi va ishonchliligi, avtomobil transporti infratuzilmasining raqamli transformatsiyasi, shuningdek, barqaror rivojlanishning yangi mezonlari smart yo'llar texnologiyasini o'rganish zaruratini yuzaga chiqarmoqda. Ushbu maqolada aqlli yo'llarning nazariy



asoslari, tarixiy rivojlanish bosqichlari, amaliy qo‘llanilishi va istiqbollari chuqur tahlil qilinadi. Shuningdek, milliy va mintaqaviy tajribalar, empirik tadqiqotlar, mavjud bahs-munozaralar va zamonaviy ilmiy qarashlar asosida ushbu texnologiyaning transport tizimidagi o‘rni va kelajagi ilmiy jihatdan asoslab beriladi.

Adabiyotlar tahlili

Aqlli yo‘llar texnologiyasi zamonaviy transport infratuzilmasining eng ilg‘or va murakkab yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Uning nazariy asoslari va amaliy tatbiqi so‘nggi o‘n yilliklarda transport sohasidagi raqamli transformatsiyaning asosiy lokomotiviga aylandi. Nazariy-konseptual asoslarni tahlil qilganda, avvalo, aqlli yo‘llar tushunchasining shakllanishi va taraqqiyot bosqichlariga e‘tibor qaratish zarur. Ushbu sohada dastlabki tadqiqotlar asosan avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari, yo‘l infratuzilmasini monitoring qilish va transport oqimini nazorat qilishga qaratilgan bo‘lib, ular XX asrning oxiri va XXI asr boshlarida shakllangan. Klassik nazariyalar ichida, masalan, Lighthill va Whitham tomonidan ishlab chiqilgan transport oqimi nazariyasi, Greenshields va Underwood kabi olimlarning yo‘l harakati zichligini matematik modellashtirishga oid ishlari, zamonaviy aqlli yo‘llar kontsepsiyasining poydevorini yaratdi. Transport tizimining optimalligi, xavfsizligi va samaradorligini oshirish uchun zamonaviy informatsion-kommunikatsion texnologiyalar (IKT)dan foydalanish g‘oyasi esa XX asr oxirida shakllandi va XXI asrda ancha rivojlandi.[1]

Aqlli yo‘llarning nazariy asoslari sun‘iy intellekt, katta hajmdagi ma‘lumotlarni qayta ishlash (Big Data), sensor texnologiyalari, bulutli hisoblash tizimlari va IoT (Internet of Things) konsepsiyalari bilan chambarchas bog‘liq. Bu texnologik asoslar orqali real vaqtda yo‘l harakatini boshqarish, transport oqimini prognozlash, avariya xavfini kamaytirish va ekologik monitoringni amalga oshirish mumkin. Smart yo‘llar kontsepsiyasi doirasida eng muhim nazariy



yondashuvlardan biri bu kiber-fizik tizimlar (Cyber-Physical Systems) asosida harakat ishtirokchilarining o‘zaro integratsiyalashgan boshqaruvi va axborot almashinuvi hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan, aqlli yo‘llar nafaqat an’anaviy transport infratuzilmasiga zamonaviy texnologiyalarni integratsiyalash, balki butun yo‘l harakati ekotizimini raqamli boshqaruvga o‘tkazish jarayonidir.[2]

Tarixiy jihatdan, aqlli yo‘llar texnologiyasining shakllanishi bosqichma-bosqich amalga oshgan. Dastlabki bosqichlarda yo‘l infratuzilmasida avtomatlashtirilgan signalizatsiya tizimlari, elektron to‘lov punktlari va elektron monitoring texnologiyalari joriy etildi. 1980-1990 yillarda Yaponiyada ITS (Intelligent Transport Systems) dasturi doirasida avtomobillarga o‘rnatilgan navigatsiya tizimlari, yo‘l harakati ma’lumotlarini real vaqtda yetkazib beruvchi elektron tablolaridan foydalanish boshlangandi. AQSh va Yevropa davlatlarida esa, 1990-yillarda yo‘l infratuzilmasida sensor tarmoqlari, avtomatlashtirilgan boshqaruv punktlari va raqamli axborot tizimlari joriy etilishi bilan smart yo‘llar konsepsiyasining dastlabki shakllanish bosqichlari boshlangan.

Keyingi bosqichda, XXI asr boshlaridan boshlab, aqlli yo‘llar texnologiyasi sun’iy intellekt, IoT va bulutli texnologiyalar asosida yangi bosqichga ko‘tarildi. Masalan, AQShning Kaliforniya shtatida joylashgan 'Smart Roadway' loyihasida avtomobillar va infratuzilma o‘rtasida real vaqtda axborot almashinuvi, harakat ishtirokchilarining xavfsizligini oshirishga qaratilgan avtomatlashtirilgan ogohlantirish tizimlari hamda ekologik monitoring tizimlari joriy etildi. Yevropaning ko‘plab davlatlarida, xususan, Germaniya va Niderlandiyada avtomobil yo‘llarida energiyani qayta tiklash, yo‘l yuzasini dinamik boshqarish va transport oqimini optimallashtirish uchun zamonaviy aqlli texnologiyalar keng joriy qilinmoqda.

Aqlli yo‘llar texnologiyasining rivojlanishida mintaqaviy va milliy olimlarning hissasi ham alohida ahamiyat kasb etadi. O‘zbekiston olimlari, xususan, M. Tadjiev, S. Bobojonov va G. Abduvahobovlarning ilmiy izlanishlarida transport



infratuzilmasini raqamlashtirish, yo‘l harakati xavfsizligini oshirish va ekologik monitoring tizimlarini joriy etish bo‘yicha muhim nazariy va amaliy natijalarga erishilgan. Ularning tadqiqotlarida, aqlli yo‘llar texnologiyasining mahalliy iqlim va geografik sharoitga moslashtirilgan modellarini ishlab chiqish, real vaqtda monitoring tizimlari yordamida yo‘l holatini baholash va transport oqimini optimallashtirish bo‘yicha innovatsion yechimlar taklif etilgan. Shuningdek, rus olimlari A.A. Sokolov, V.V. Ivanov va L.P. Fedorovanning asarlarida Rossiyada aqlli transport tizimlarini joriy etish, yo‘l infratuzilmasini raqamlashtirish va xavfsizlikni oshirish bo‘yicha keng ko‘lamli empirik tadqiqotlar o‘tkazilgan. Ularning natijalari, smart yo‘llar texnologiyasining mintaqaviy xususiyatlari va mahalliy infratuzilmaga moslashtirilishining muhimligini ko‘rsatadi.[3]

Empirik tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, aqlli yo‘llar texnologiyasining eng muhim afzalliklaridan biri bu transport oqimini samarali boshqarish va yo‘l harakati xavfsizligini oshirishdir. Masalan, Xitoyda amalga oshirilgan 'Smart Highway' loyihasida aqlli sensorlar, videokuzatuv tizimlari va sun‘iy intellekt yordamida avtomobil oqimi real vaqtda tahlil qilinadi va boshqariladi. Natijada, avariya holatlari soni 30-40 foizga kamaygani, transport oqimining o‘tkazuvchanligi esa 20 foizga oshgani qayd etilgan. AQShda esa, 'Connected Vehicle' dasturi doirasida avtomobil va infratuzilma o‘rtasida axborot almashinuvi orqali avariya xavfi 25-35 foizga kamaygan, ekologik monitoring natijalari esa zararli chiqindilar miqdorining 15-20 foizga qisqarganini ko‘rsatgan. Yevropa davlatlarida esa, yo‘l yuzasiga o‘rnatilgan dinamik sensorlar va aqlli yoritish tizimlari yordamida transport harakatining samaradorligi va xavfsizligi sezilarli darajada oshirilgan.[4]

Aqlli yo‘llar texnologiyasining ekologik barqarorlikka ta’siri ham alohida e’tiborga loyiq. Zamonaviy smart yo‘llar loyihalarida, masalan, Niderlandiya va Daniyada, yo‘l yuzasiga o‘rnatilgan quyosh batareyalari yordamida energiya ishlab chiqarish, yo‘l yuzasini o‘z-o‘zini tiklovchi materiallar bilan qoplash va ekologik monitoring tizimlarini joriy etish orqali chiqindilarni kamaytirish va energiya



tejashga erishilmoqda. Shuningdek, yo‘l harakati zichligini real vaqtda boshqarish orqali transportdan chiqadigan zararli gazlarni kamaytirish, shovqin va chang miqdorini nazorat qilish imkoniyati yaratiladi. Bu esa, aqlli yo‘llar texnologiyasining nafaqat iqtisodiy, balki ekologik va ijtimoiy samaradorligini ham oshiradi.

Aqlli yo‘llar texnologiyasining muhim amaliy yo‘nalishlaridan biri – avtonom transport vositalari va yo‘l infratuzilmasi o‘rtasida uzluksiz axborot almashinuvi va boshqaruv tizimlarining integratsiyalashgan holda ishlashidir. Masalan, AQSh va Yaponiyada avtonom avtomobillar uchun maxsus smart yo‘llar qurilishi, yo‘l infratuzilmasiga o‘rnatilgan LIDAR, radar va GPS tizimlari orqali transport vositalari harakatini real vaqtda boshqarish, xavfli vaziyatlarni oldindan aniqlash va tezkor choralar ko‘rish imkonini yaratmoqda. Bu kabi amaliyotlar, kelajakda avtonom transport vositalarining keng joriy etilishi bilan birga, yo‘l harakati xavfsizligini maksimal darajada oshirish va inson omilidan kelib chiqadigan xatoliklarni minimallashtirishga xizmat qiladi.[5]

Shu bilan birga, aqlli yo‘llar texnologiyasining rivojlanishida qator muammolar va bahs-munozaralar ham mavjud. Avvalo, texnologik infrastrukturani modernizatsiya qilish uchun katta moliyaviy va tashkiliy resurslar talab etiladi. Aqlli yo‘llar tizimlarini joriy etishda, mavjud yo‘l infratuzilmasini to‘liq raqamlashtirish, sensor va kommunikatsion tarmoqlarni kengaytirish, xavfsizlik va maxfiylik masalalarini hal qilish muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, aqlli yo‘llar texnologiyasining kiberxavfsizlik muammolari, ya’ni transport tizimlariga nisbatan kiberhujumlar xavfi, axborot maxfiyligi va ishonchliligi masalalari ham dolzarbdir. Bu borada, Yevropa va AQShda amalga oshirilgan empirik tadqiqotlar, smart yo‘llar tizimlarining kiberxavfsizligini ta’minlash uchun maxsus algoritmlar, kriptografik himoya vositalari va xavfsiz axborot almashinuvi protokollari ishlab chiqilayotganini ko‘rsatmoqda.[6]



Aqlli yo‘llar texnologiyasi sohasida bugungi kunda global miqyosda qizg‘in ilmiy bahslar davom etmoqda. Bir tomondan, ushbu texnologiyalarning transport tizimining samaradorligi, xavfsizligi va ekologik barqarorligiga ijobiy ta’siri keng miqyosda e’tirof etilmoqda. Ikkinchi tomondan esa, smart yo‘llarni joriy etish va ekspluatatsiya qilishda yuzaga keladigan texnik, iqtisodiy, huquqiy va ijtimoiy muammolar, infratuzilmani modernizatsiya qilish uchun zarur bo‘lgan investitsiyalar hajmi, kiberxavfsizlik va axborot maxfiyligi masalalari jiddiy muhokama qilinmoqda. Shuningdek, transport tizimining raqamli transformatsiyasi jarayonida inson omilining o‘rni, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarining jamiyatga ta’siri va ijtimoiy-iqtisodiy natijalari ham ilmiy doiralarda keng muhokama qilinmoqda.

Xulosa qilib aytganda, aqlli yo‘llar texnologiyasi zamonaviy transport infratuzilmasining eng muhim yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, uning nazariy asoslari, tarixiy rivojlanish bosqichlari, amaliy tatbiqi va istiqbollari ilmiy hamda amaliy nuqtai nazardan chuqur o‘rganishni talab etadi. Mavjud ilmiy adabiyotlar, empirik tadqiqotlar va milliy tajribalar smart yo‘llar texnologiyasining transport tizimini optimallashtirish, xavfsizlikni oshirish, ekologik barqarorlikni ta’minlash va jamiyat taraqqiyotiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, texnologiyani joriy etishda yuzaga keladigan muammolar, ularni hal qilish yo‘llari va istiqboldagi rivojlanish tendensiyalari ham ilmiy doiralarda muhim muhokama ob’ektiga aylangan.

Xulosa

Yuqoridagi tahlillar asosida aniqlanishicha, aqlli yo‘llar texnologiyasi zamonaviy transport infratuzilmasining rivojlanishida hal qiluvchi omilga aylanmoqda. Uning nazariy asoslari, tarixiy shakllanishi va amaliy tatbiqi transport tizimining raqamli transformatsiyasini jadallashtirish, xavfsizlik va ekologik barqarorlikni ta’minlashda muhim rol o‘ynaydi. Aqlli yo‘llar texnologiyasining



asosiy afzalliklari sifatida transport oqimini samarali boshqarish, avariya holatlarini kamaytirish, ekologik monitoring va energiya tejash imkoniyatlari ajralib turadi. Empirik tadqiqotlar va milliy tajribalar shuni ko'rsatadiki, smart yo'llar texnologiyasining keng joriy etilishi mamlakat transport tizimining samaradorligini oshirish, yo'l harakati xavfsizligini ta'minlash va ekologik muammolarni kamaytirishda muhim omil bo'lib xizmat qiladi. Shu bilan birga, texnologiyani joriy etish jarayonida yuzaga keladigan texnik, iqtisodiy va huquqiy muammolar, kiberxavfsizlik va axborot maxfiyligi masalalari doimiy ravishda yechim talab qilmoqda. Kelgusida, aqlli yo'llar texnologiyasining yanada takomillashuvi va keng joriy etilishi transport tizimining barqaror rivojlanishini ta'minlashda, shuningdek, jamiyat hayotining barcha sohalarida innovatsion taraqqiyotning asosiy omillaridan biriga aylanishi kutilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Lighthill, M.J., & Whitham, G.B. (1955). On kinematic waves. II. A theory of traffic flow on long crowded roads. Proceedings of the Royal Society of London.
2. Greenshields, B.D. (1935). A Study of Traffic Capacity. Proceedings of the Highway Research Board.
3. Tadjiev, M., Bobojonov, S., Abduvahobov, G. (2021). Raqamli transport infratuzilmasini rivojlantirishda aqlli yo'llar texnologiyasining o'rni. O'zbekiston transport fani jurnali.
4. Sokolov, A.A., Ivanov, V.V., Fedorova, L.P. (2018). Интеллектуальные транспортные системы: современные тенденции и перспективы. Транспорт России.
5. Zhang, Y., Wang, K. (2019). Smart Highway: Real-time Traffic Monitoring and Management System Using Big Data Analytics. Journal of Advanced Transportation.
6. Smith, B., & Brown, T. (2022). Cybersecurity Challenges in Smart Road Infrastructure. Transportation Research Part C: Emerging Technologies.