



TUNNELLAR VA YOPIQ INFRATUZILMA OB'EKTLARINI MONITORING QILISHDA BIONIK ROBOTOTEXNIK TIZIMLARNING SAMARADORLIGI ("ANT-INSPECT 360" MISOLIDA)

Ramazonov Lazizxon Xojiakbar o'g'li
(Toshkent davlat transport universiteti)

Annotatsiya: *Ushbu maqolada transport va gidrotexnik tunnellar, kollektorlar va yopiq inshootlarning ichki konstruksiyalarini avtonom monitoring qilish hamda diagnostika qilish muammolari tahlil qilingan. Mavjud g'ildirakli, gusenitsali va uchuvchisiz apparatlarning (dronlar) cheklovlari ko'rib chiqilib, ularga muqobil sifatida bionik mikro-ilgaklar (micro-hooks) tizimiga ega "Ant-Inspect 360" robototexnik majmuasining samaradorligi va texnik imkoniyatlari asoslab berilgan..*

Kirish so'zlar: *bionik robototexnika, tunnel monitoringi, mikro-ilgaklar, micro-hooks, avtonom diagnostika, Ant-Inspect 360, infratuzilma xavfsizligi.*

Abstract: *This article analyzes the problems of autonomous monitoring and diagnostics of internal structures in transport and hydraulic tunnels, collectors, and closed facilities. The limitations of existing wheeled, tracked, and unmanned aerial vehicles (drones) are reviewed, and the efficiency as well as technical capabilities of the "Ant-Inspect 360" robotic system, equipped with a bionic micro-hook system as an alternative, are substantiated.*

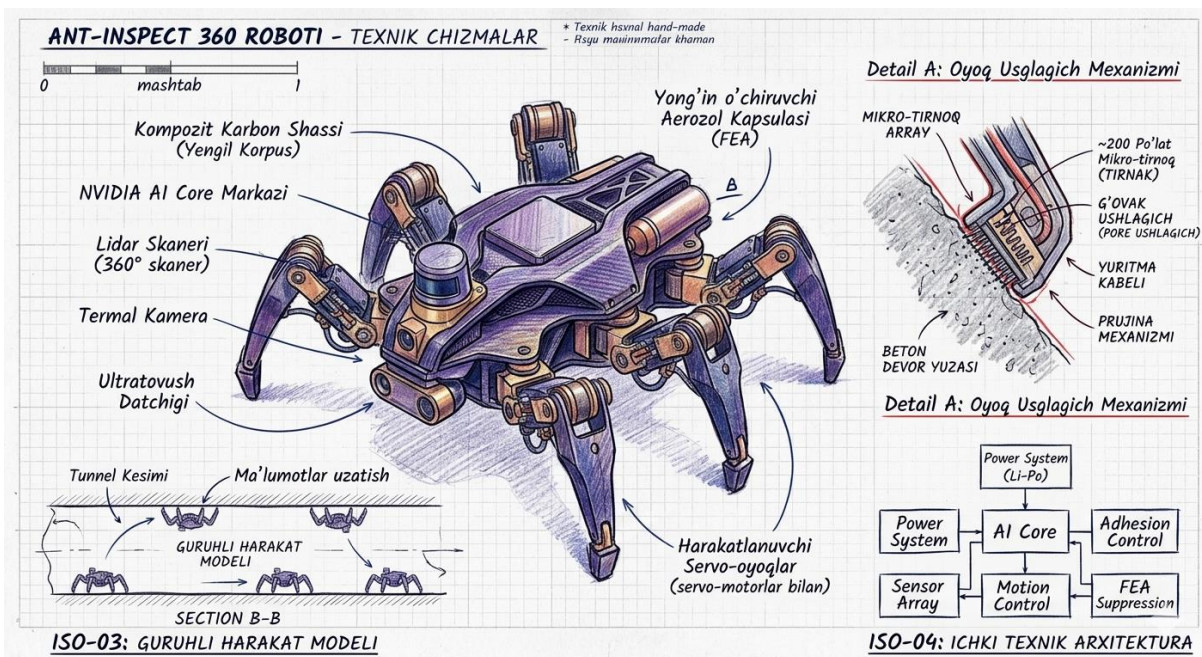
Keywords: *bionic robotics; tunnel monitoring; micro-hooks; autonomous diagnostics; Ant-Inspect 360; infrastructure safety*

Zamonaviy transport va gidrotexnik infratuzilmalarda tunnellar eng murakkab va mas'uliyatli muhandislik inshootlari hisoblanadi. Tunnellar ekspluatatsiyai



davomida uning ichki devorlari va shiftlarida grunt bosimi, seysmik harakatlar, namlik hamda harorat tebranishlari natijasida mikro-yoriqlar va strukturaviy deformatsiyalar yuzaga keladi. Ushbu nuqsonlarni o'z vaqtida aniqlash va profilaktika qilish inshoot xavfsizligini ta'minlashning muhim shartidir.

Tunnellar va yopiq infratuzilma ob'ektlarini monitoring qilishda bionik robototexnik tizimlarning samaradorligi "Ant-Inspect 360" roboti misolida yoritilganda, avvalo inshootlarning murakkab geometriyasi hamda ularga xizmat ko'rsatishdagi texnik to'siqlarni tahlil qilish lozim. Zamonaviy transport va gidrotexnik tunnellar, kollektorlar va boshqa yopiq inshootlar ekspluatatsiyasi davomida ularning ichki devorlari va shiftlarida grunt bosimi, seysmik harakatlar, namlik hamda harorat tebranishlari natijasida mikro-yoriqlar va strukturaviy deformatsiyalar yuzaga keladi.



Ushbu nuqsonlarni o'z vaqtida aniqlash inshoot xavfsizligini ta'minlashning muhim shartidir. biroq traditional monitoring usullari inson omiliga tayangani sababli yuqori xavf va uzoq vaqt talab etadi. So'nggi yillarda qo'llanilayotgan g'ildirakli va gusenitsali robotlar faqat tunnelning pol qismida harakatlana oladi, bu esa vertikal devorlar va shiftlardagi mikro-yoriqlarga yaqin masofadan diagnostika o'tkazish imkonini bermaydi. Uchuvchisiz uchish apparatlari, ya'ni dronlar esa havo



oqimi tor va murakkab bo'lgan tunnellar ichida barqaror parvoz qila olmaydi, ularning batareya quvvati cheklangan va sirt bilan kontaktsiz ishlaydi. Vakuimli so'rg'ichlar g'adir-budur va g'ovakli beton yuzasida havo o'tkazib yuboradi, magnitli tizimlar temir-betondagi armaturagacha masofa uzoqligi sababli yetarli tortish kuchini hosil qilolmaydi, yopishqoq adheziv materiallar esa chang va nam ortamda tezda ishdan chiqadi. Ushbu muammolarni kompleks hal etish uchun yaratilgan "Ant-Inspect 360" bionik robototexnik majmuasi uglerod tolasi (carbon fiber) hamda yengil alyuminiy-magniy qotishmasi asosidagi mustahkam va yengil korpusga ega bo'lib, uning harakatlanish mexanizmi tabiatdagi chumolilarning bionik ilashish tamoyiliga asoslangan.

Robot tayanchlarining uchiga o'rnatilgan yuzlab mikro-ilgaklar (micro-hooks) massivi beton, g'isht hamda tosh sirtlarning mikron o'lchamdagi g'ovaklari va o'yiqlariga ilashib, friksion-mexanik bog'lanish hosil qiladi va robotning vertikal devorlar hamda shiftlar bo'ylab sirpanmasdan, yiqilmasdan erkin harakatlanishini ta'minlaydi. Har bir tayanchdagi prujinali-amortizatsiya moduli sirt bosimi teng taqsimlanishini kafolatlaydi hamda vakuum nasoslaridan farqli ravishda static holatda minimal energiya sarflaydi. Robot vertikal devor va shift bo'ylab barqaror siljishi davomida unga integratsiya qilingan 360° panoramali kamera va LiDAR (Light Detection and Ranging) skaneri sinxron ravishda ishlaydi:

LiDAR har bir soniyada yuz minglab nuqtalar koordinatasini yig'ib tunnel ichki fazosining 3D nuqtalar bulutini (Point Cloud) quradi, panoramali optik kamera esa ushbu modelga yuqori aniqlikdagi tasvirni ustma-ust tushiradi. Natijada sun'iy intellekt va neyron tarmoqlar algoritmlari orqali eni 0.1 mm dan yuqori bo'lgan mikroyoriqlar, beton ko'chishi va namlik toplanayotgan zonalar avtomatik aniqlanib, tunnelning raqamli egizagi (Digital Twin) shakllantiriladi. Bu esa an'anaviy usullarga qaraganda chang va namlikka chidamlilikni oshiradi, inson omili xavfini nolga tushiradi, diagnostika aniqligini millimetr darajasigacha yetkazadi va



infratuzilma ob'ektlarini profilaktik ta'mirlash xarajatlarini keskin kamaytirish imkonini beradi.

XULOSA

Tunnellar va yopiq infratuzilma ob'ektlarini monitoring qilishda bionik robototexnik tizimlarning qo'llanilishi an'anaviy vizual mezonlar va mavjud texnik analoglarning cheklovlarini bartaraf etishda eng samarali yechim hisoblanadi. Tadqiqot va texnik tahlillar shuni ko'rsatdiki, g'ildirakli majmualarning faqat gorizontal yuzada harakatlana olishi, dronlarning havo oqimlari va batareya manbai bilan bog'liq cheklovlari hamda adheziv materiallarning chang-nam muhitda ishdan chiqishi tunnel diagnostikasida to'liq qamrovni ta'minlay olmaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. **UZ FAP 01485.** Vertikal va qiya sirtlarda harakatlanuvchi robototexnik qurilmalar va ularning harakat mexanizmlari. – O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk departamenti.
2. **US 10,836,441 B2.** Wall-climbing robot with micro-structured adhesive / micro-hooks for infrastructure inspection. – United States Patent Office, 2020.
3. **CN 113246872 A.** A tunnel inspection robot based on multi-sensor fusion and 3D LiDAR scanning. – China National Intellectual Property Administration, 2021.
4. **WO 2021/045892 A1.** Autonomous robotic system for internal structural monitoring of pipelines and tunnels. – World Intellectual Property Organization (WIPO), 2021.
5. **EP 3650294 B1.** Bionic locomotion device for vertical surface climbing. – European Patent Office, 2020.



6. **Auton, J., & Smith, R.** (2022). *Robotic Inspection and Maintenance of Civil Infrastructure: Tunnels and Underground Structures*. Springer International Publishing, pp. 112–145.
7. **Liu, Y., & Zhang, X.** (2023). Bionic Micro-Hook Mechanisms for Rough Surface Climbing Robots: Design and Experimental Validation. *IEEE Transactions on Robotics*, 39(2), 845–859.