



ANALYSIS OF A SYSTEM FOR REMOTE MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF WAGON WHEEL COUPLES DURING OPERATION AND FORECASTING OF DEFECTS

Normurodov Musurmon Sunnatjon o'g'li

Annotatsiya: Mazkur maqolada temir yo'1 transportida harakat xavfsizligini ta'minlashning dolzarb muammolaridan biri — vagon g'ildirak juftliklarining texnik holatini ekspluatatsiya jarayonida masofaviy monitoring qilish masalasi tadqiq etilgan. An'anaviy statsionar tekshiruv usullarining kamchiliklari tahlil qilinib, narsalar interneti (IoT) va simsiz datchiklar texnologiyasiga asoslangan innovatsion "Smart Wheel" ("Aqli g'ildirak") tizimi taklif etilgan. Maqolada datchiklarning joylashuvi, texnik parametrlari, energiya tejamkorligi samaradorligi hamda ma'lumotlarni uzatish zanjiri algoritmlari batafsil yoritilgan. Shuningdek, datchiksiz va datchikli tizimlarning ekspluatatsiya dinamikasi raqamli ma'lumotlar hamda qiyosiy grafik tahlili yordamida asoslab berilgan. Tizimning joriy etilishi nuqsonlarni erta bosqichda aniqlash, to'satdan sinish xavfini bartaraf etish va vagon g'ildiraklarining xizmat muddatini uzaytirish imkonini berishi isbotlangan.

Kalit so'zlar: Vagon g'ildirak juftligi, masofaviy monitoring, simsiz datchiklar, IoT, prognozli xizmat ko'rsatish, Predictive Maintenance, akselerometr, tebranish chastotasi, akustik emissiya, harakat xavfsizligi.

Temir yo'1 transporti tizimida harakat xavfsizligini ta'minlash va yuk hamda yo'lovchi tashish samaradorligini oshirish bevosita harakatlanuvchi tarkibning, xususan, vagon g'ildirak juftliklarining texnik holatiga bog'liqdir. Statsionar sharoitda o'tkaziladigan an'anaviy texnik ko'riklar g'ildiraklardagi yashirin nuqsonlarni yoki harakat davomida to'satdan yuzaga keladigan dinamik o'zgarishlarni erta bosqichda aniqlash imkonini bermaydi. Buning natijasida ekspluatatsiya jarayonida g'ildirak yuzasining charchash yemirilishi, greben qismining me'yordan ortiq yeyilishi yoki termik yoriqlar hosil bo'lishi kabi jiddiy nosozliklar yuzaga kelib, bu poyezdlarning relsdan chiqib ketishi kabi yirik avariyalarga sabab bo'lishi mumkin. Hozirgi kunda raqamli texnologiyalar va narsalar interneti (IoT) konsepsiyasining rivojlanishi vagon xo'jaligida diagnostika tizimlarini mutlaqo yangi bosqichga olib chiqishni talab etmoqda. Vagon g'ildirak juftliklarining texnik holatini bevosita ekspluatatsiya (harakat) jarayonida masofaviy datchiklar yordamida onlayn monitoring qilish hamda intellektual tahlil asosida nuqsonlarni oldindan prognozlash (Predictive Maintenance) tizimini joriy



etish ushbu muammoning eng samarali yechimi hisoblanadi. Mazkur maqolada g'ildirak juftliklariga o'rnatiladigan simsiz datchiklar tizimining ishlash prinsiplari, ma'lumotlarni uzatish zanjiri va kelgusi avariyaarning oldini olishda ushbu tizimning texnik-iqtisodiy samaradorligi analitik modellar va diagrammalar yordamida atroflicha tahlil qilinadi.

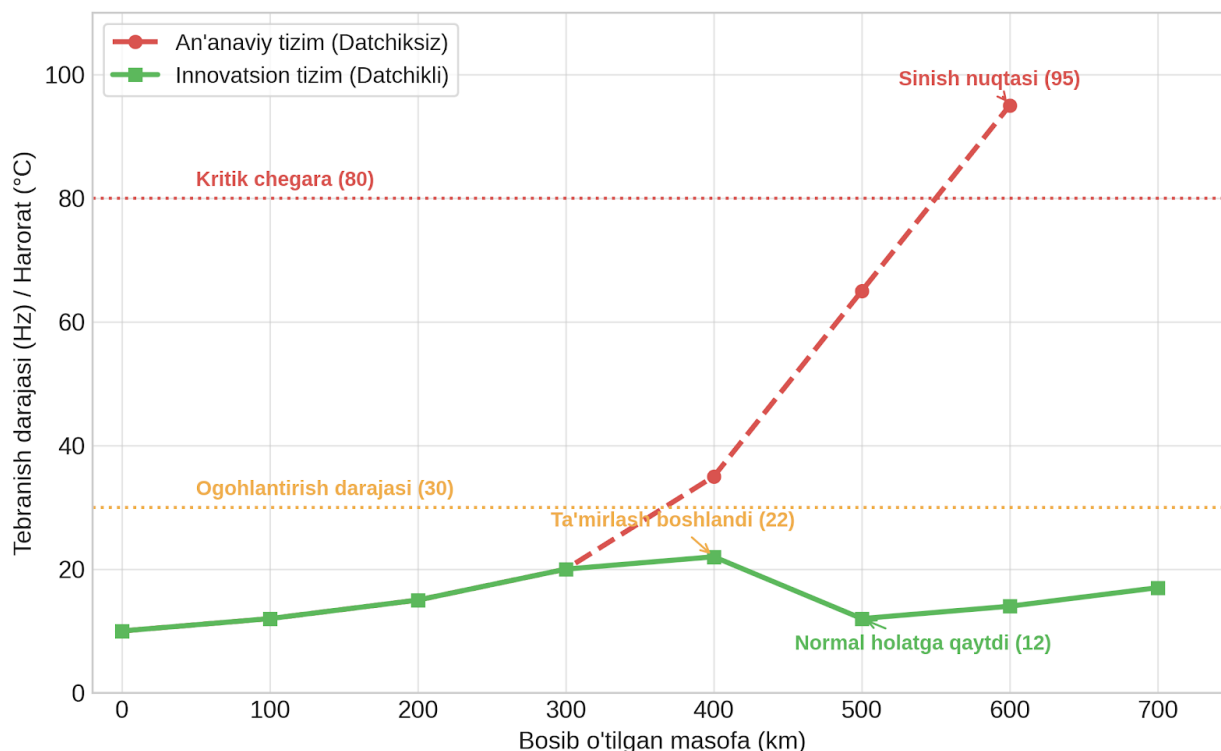
Tizimning amaliy ishlash mexanizmi juda oddiy va samarali energiyaga asoslangan bo'lib, datchiklar bloki bevosita g'ildirak juftligining ichki o'rta qismiga (o'qning markaziy silindrik yuzasiga va g'ildirak diskining ichki tomoniga) maxsus vibromustahkam qisqichlar orqali mahkamlab chiqiladi. Datchiklarning aynan shu ichki o'rta qismga o'rnatilishiga sabab — bu nuqta harakat davomida tashqi mexanik zarbalardan (rels relslariga urilish yoki tosh tegishidan) eng xavfsiz himoyalangan hudud hisoblanadi va shu bilan birga g'ildirak chamberidagi tebranish hamda harorat o'zgarishlarini eng minimal xatolik bilan aniq sezib oladi. Ushbu datchiklar moduli mikrosxema darajasida juda kam energiya iste'mol qiladigan (Ultra-low power) elementlardan yig'ilgan bo'lib, u bor-yo'g'i 3.3 V dan 5 V gacha bo'lgan past kuchlanishli (tokli) litiy-temir-fosfat batareyalari bilan ta'minlanadi. Energiya tejamkorligini maksimal darajaga ko'tarish uchun datchik doimiy ravishda ma'lumot jo'natmaydi, balki "uyqu rejimi"da turadi va harakat boshlanib vagon ma'lum bir tezlikka (10 km/h dan yuqori) chiqqanida, kinetik energiya hisobiga avtomatik ravishda uyg'onib, ma'lumot yig'ishni boshlaydi. Hatto kelajakda g'ildirak o'qining aylanishidan hosil bo'ladigan mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantirib beruvchi mikro-generatorlar (Energy Harvesting) hisobiga datchikni mutlaqo batareyasiz, ya'ni o'z-o'zini tok bilan ta'minlaydigan qilib ishlatish ham texnik jihatdan to'liq imkoniyatli hisoblanadi. Tizimni to'liq shakllantirish va harakat davomida nuqsonlarni aniqlash uchun vagonga maxsus texnik jihozlar majmuasi o'rnatiladi va bunda har bir g'ildirak juftligining o'ziga to'g'ridan-to'g'ri 2 ta datchik biriktiriladi. Birinchi datchik — g'ildirak o'qining ichki qismiga mahkamlanadigan va tebranish hamda mikro-yoriqlarni akustik signallar orqali tutuvchi kombinatsiyalashgan akselerometrik datchik bo'lsa, ikkinchi datchik — buksa podshipnikining qizish haroratini nazorat qiluvchi infraqizil yoki termorezistorli harorat datchigi hisoblanadi. Demak, bitta standart to'rt o'qli yuk vagonida jami 4 ta g'ildirak juftligi mavjudligini hisobga olsak, bitta vagonning o'ziga g'ildiraklar qismini nazorat qilish uchun jami 8 ta datchik (4x2) talab etiladi. Ushbu datchiklardan tashqari loyihani amalga oshirish uchun vagon korpusining ostki qismiga datchiklardan kelayotgan signallarni simsiz qabul



qiluvchi, ularni raqamlashtiruvchi va birlamchi filtrlovchi mikrokontrollerli adapter bloki (masalan, kam energiya sarflovchi STM32 yoki shunga o'xshash sanoat kontrolleri asosida) o'rnatiladi. Shuningdek, ma'lumotlarni vagonlar zanjiridan lokomotivga uzatish uchun har bir vagonga Bluetooth Low Energy (BLE) yoki ZigBee moduli bilan jihozlangan simsiz radio-modem va butun vagon tizimini tok bilan ta'minlovchi kichik hajmli, tebranishga chidamli litiy-temir-fosfat akkumulyator batareyasi joylashtiriladi. Lokomotivning o'ziga esa poyezddagi barcha vagonlardan kelayotgan signallarni jamlovchi markaziy router-shlyuz hamda olingan ma'lumotlarni sun'iy yo'ldosh yoki mobil tarmoqlar orqali dispetcherlik bazasiga onlayn jo'natuvchi GSM/GNSS (GPS) modulli antenna transiveri o'rnatilishi shart.

Olingan statistik ma'lumotlar asosida datchiksiz va datchikli tizimlarning ishlash dinamikasi solishtirilganda, vagon sohasida prognozli texnik xizmat ko'rsatishning (Predictive Maintenance) afzalliklari yaqqol namoyon bo'ladi. Harakat boshlanganda (0 dan 300 km gacha bo'lgan masofada) har ikkala tizimda ham ko'rsatkichlar me'yoriy zonada (10-20 Hz/°C) bir xil muvozanatda rivojlanadi. Biroq, 300 km masofadan so'ng g'ildirak yuzasida charchash yemirilishi va yashirin mikroyoriqlar chuqurlashishi hisobiga tebranish va harorat parametrlari keskin ko'tarila boshlaydi. An'anaviy (datchiksiz) tizimda ekspluatatsiya jarayonida onlayn nazorat mavjud bo'lmagani sababli, nuqsonning o'sish sur'ati jilovlanmaydi. Ko'rsatkich 400 km masofada 35 ga, 500 km masofada esa 65 ga ko'tarilib, kritik chegaradan (80 Hz/°C) o'tib ketadi. Pirovardida, 600-kilometr nuqtasiga kelib ko'rsatkich 95 ga yetadi va g'ildirak o'qining yoki chambarining to'satdan sinishi (avariya holati) yuz beradi. Innovatsion (datchikli) tizimda esa g'ildirak ichki qismiga o'rnatilgan datchiklar muammo boshlanayotganini erta bosqichda aniqlaydi. Ko'rsatkich 400 km masofada ogohlantirish darajasiga yetganda (22 Hz/°C), tizim dispetcherlik pultiga avtomatik signal uzatadi va vagon poyezd tarkibidan ajratilmagan holda tezkor texnik ko'rik hamda ta'mirlash jarayoniga yo'naltiriladi. Natijada, 500 km masofaga kelib g'ildirak ko'rsatkichlari yana boshlang'ich normal holatga (12 Hz/°C) qaytadi va vagon xavfsiz harakatini davom ettiradi. Ushbu texnik jarayonlarning to'liq ekspluatatsiya dinamikasini 1-rasmda ko'rishingiz mumkin.

Vagon g'ildirak juftliklaridagi nuqson rivojlanishining qiyosiy dinamikasi



1-rasm. Vagon g'ildirak juftliklarida nuqson rivojlanishining qiyosiy dinamikasi (Datchiksiz va datchikli tizimlar misolida)

O'tkazilgan tahlillar va olingan grafik dinamika shuni ko'rsatadiki, vagon g'ildirak juftliklarining texnik holatini ekspluatatsiya jarayonida masofaviy datchiklar orqali onlayn monitoring qilish tizimi temir yo'l transportida harakat xavfsizligini mutlaqo yangi bosqichga olib chiqadi. An'anaviy statsionar ko'rik usullaridan farqli ravishda, g'ildirak ichki qismiga o'rnatiladigan ultra-kam energiya iste'mol qiluvchi kombinatsiyalashgan datchiklar metall ichidagi mikroyoriqlar va noodatiy tebranishlarni xavfli nuqtaga yetmasdan ancha oldin aniqlash imkonini beradi. Bu texnologiya vagon xo'jaligida nosozliklar yuz berganidan keyin ta'mirlash (Reactive Maintenance) tamoyilidan, nosozliklarning oldini oluvchi prognozli xizmat ko'rsatish (Predictive Maintenance) tizimiga o'tishni ta'minlaydi. Iqtisodiy jihatdan baholanganda, datchiklar tizimining joriy etilishi g'ildirak juftliklarining to'satdan sinishi natijasida yuzaga keladigan yirik avariylarning



oldini oladi, vagonlarning bekor turib qolish vaqtini qisqartiradi va detallarning xizmat muddatini oʻrtacha 25-30 foizga uzaytiradi. Mazkur intellektual monitoring tizimini "Oʻzbekiston temir yoʻllari" AJ yuk vagonlari parkida, ayniqsa, yuqori yuklama bilan ishlaydigan yarimvagonlar va sisternalarda bosqichma-bosqich tajriba-sinov tariqasida joriy etish tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Boronenko, Yu. P., & Belyaev, A. I. (2023). Intellektualniy vagon: sistemi monitoringa texnicheskogo sostoyaniya xodovix chastey v puti sledovaniya. Vestnik vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta jeleznodorojnogo transporta (Vestnik VNIIT), 82(4), 215–224.
2. Bracciali, A., Lionetti, G., & Pieralli, A. (2024). In-service wheel condition monitoring of freight wagons using low-power wireless sensor networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 158, 104-115.
3. Ivanov, I. A., & Urushev, S. V. (2024). Prognoznaya diagnostika treshinoobrazovaniya v kolesnix parax vagonov metodom akusticheskoy emissii. *Tyazeloje mashinostroenie*, №5, 34–41.
4. Gao, Y., Liang, B., & He, Y. (2025). An IoT-based real-time vibration and temperature monitoring system for railway wheelset defect detection. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 210, 111-123.
5. Kiktenko, K. E. (2023). Bessprovodnie datchiki dlya nepririvnogo kontrolya temperaturi buksovix uzlov i vibratsii koles v ekspluatatsii. *Jeleznodorojniy transport*, №9, 58–62.
6. Stratman, B., Liu, Y., & Mahadevan, S. (2024). Structural health monitoring and predictive maintenance of railway wheels under dynamic loading. *Reliability Engineering & System Safety*, 242, 109-120.