



**TEMIR YO'L HARAKAT TARKIBI UZELLARINI DIAGNOSTIKA QILISHDA
QO'LLANILAYOTGAN ZAMONAVIY VOSITALARNING SAMARADORLIK
TAHLILI**

Ilmiy rahbar:

Otabek Xamidov Rustamovich

Texnika fanlari doktori (DSc), Professor

Toshkent davlat transport universiteti

Tel: +998712990480

E-mail: otabek.rustamovich@yandex.ru

G'anijonov Ilyosbek Hayotjon o'g'li

Toshkent davlat transport universiteti, MTVL-4R guruhi magistranti

Tel: +998 90 919 33 99

E-mail: ganijonovilyosbek512@gmail.com ORCID:0009-0003-2195-070X

Mansurova Marjona Otabek qizi

Toshkent davlat transport universiteti MAB-11 guruhi magistranti

Tel: +998939875511

E-mail: mansurovamarjona@icloud.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada temir yo'l harakat tarkibi uzellarini diagnostika qilishda qo'llanilayotgan zamonaviy texnik vositalarning samaradorligi tahlil qilingan. Tortuv harakat tarkibining eng mas'ul uzellari, xususan, g'ildirak juftligi va g'ildirak-motor blokining texnik holatini baholashning mavjud usullari o'rganilib, ularning afzallik va kamchiliklari yoritilgan. Shuningdek, vibrodiagnostika, termografiya, ultratovush nazorati, sun'iy intellekt asosidagi diagnostika tizimlari hamda IoT sensorlari yordamida uzluksiz monitoringni tashkil etish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Zamonaviy diagnostika texnologiyalaridan foydalanish nosozliklarni dastlabki bosqichda aniqlash, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini kamaytirish, harakat tarkibining ekspluatatsion ishonchliligini oshirish va poyezdlar harakati xavfsizligini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega ekanligi asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: temir yo'l transporti, harakat tarkibi, texnik diagnostika, vibrodiagnostika, termografiya, sun'iy intellekt, IoT, g'ildirak juftligi, g'ildirak-motor bloki, texnik xizmat ko'rsatish, ekspluatatsion ishonchlilik, harakat xavfsizligi.

Kirish

Temir yo'l transporti sohasining muhim maqsadlaridan biri — O'zbekiston temir yo'llari tortuv harakat tarkibini ta'mirlash va texnik xizmat ko'rsatishning amaldagi tizimini takomillashtirish, ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish hamda texnik vositalarning, ayniqsa, harakat xavfsizligiga bevosita ta'sir ko'rsatadigan eng mas'ul uzellarning ishonchlilik darajasini oshirishdan iborat[2,3]. Bunday uzellarning nosozligi nafaqat



ekspluatatsion samaradorlikning pasayishiga, balki poyezdlar harakati xavfsizligi talablarining buzilishiga ham sabab bo'lishi mumkin.

So'nggi yillarda texnik diagnostika tizimlari sohasidagi ilmiy-texnik taraqqiyot zamonaviy diagnostika komplekslarini yaratish imkonini berdi[2]. Ushbu komplekslar harakat tarkibining haqiqiy texnik holatini baholash asosida ta'mirlash va texnik xizmat ko'rsatish ishlarini tashkil etishga xizmat qiladi. Temir yo'l transportida Industry 4.0 konsepsiyasi asosida texnik holat monitoringi tizimlari keng joriy etilmoqda. Ushbu tizimlarda sun'iy intellekt, interneti (IoT), bulutli hisoblash (Cloud Computing) va katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish (Big Data Analytics) texnologiyalaridan foydalanish orqali lokomotiv agregatlarining texnik holatini real vaqt rejimida nazorat qilish imkoniyati yaratilmoqda. Bunday yondashuv diagnostika aniqligini oshirish bilan bir qatorda, ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish va harakat xavfsizligini ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Bunday yondashuv ehtiyot qismlardan oqilona foydalanish, ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish hamda harakat tarkibining xizmat muddatini uzaytirishga imkon yaratadi.

Tortuv harakat tarkibining harakat xavfsizligini ta'minlashda alohida ahamiyatga ega bo'lgan uzellar va jihozlarga nisbatan qo'yiladigan yuqori talablarni hisobga olgan holda, diagnostika tizimlarini rivojlantirish avvalo aynan shu elementlarga qaratilgan. Jumladan, g'ildirak juftligi va g'ildirak-motor bloki kabi uzellar texnik holatini doimiy nazorat qilish ularning ishonchli ishlashini ta'minlash va avariya holatlarining oldini olishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Bundan tashqari, zamonaviy diagnostika vositalarida sun'iy intellekt algoritmlari, vibrodiagnostika, termografiya, IoT sensorlari hamda prognozli texnik xizmat ko'rsatish (Predictive Maintenance) texnologiyalarining qo'llanilishi nosozliklarni dastlabki bosqichlarda aniqlash imkonini bermoqda. Ushbu innovatsion yondashuvlar temir yo'l transportining ekspluatatsion ishonchligini oshirish, ta'mirlash xarajatlarini kamaytirish va poyezdlar harakati xavfsizligini yanada mustahkamlashda muhim omil hisoblanadi.

1. Diagnostika tizimlarining turlari.

Diagnostika — bu texnik nazoratning alohida texnologik jarayoni bo'lib, uskunaning texnik holatini aniqlash hamda uning ishga yaroqliligini diagnostik parametrlar asosida prognoz qilishdan iborat[2,3]. Diagnostik parametrlar uskunaning texnik holatini tavsiflovchi ishchi parametrlar bilan funksional jihatdan bog'liq bo'ladi. Bunday parametrlarga iste'mol qilinadigan elektr toki, elektr qarshiligi, harorat rejimi, tebranish (vibratsiya), shovqin darajasi, germetiklik holati, ishqalanayotgan detallar yeyilishi natijasida moy tarkibida hosil bo'ladigan zarrachalar va boshqa ko'rsatkichlar kiradi.

Texnik diagnostika quyidagi uch turdagi masalalarni hal etishga xizmat qiladi:

- 1. Diagnostika (diagnoz) masalalari** – lokomotiv va uning elementlarining ayni vaqtdagi texnik holatini aniqlash.
- 2. Prognozlash masalalari** – lokomotiv va uning elementlarining kelajakdagi ma'lum vaqt oralig'idagi texnik holatini oldindan baholash.





3. Genezis masalalari – lokomotiv va uning elementlarining avvalgi davrdagi texnik holatini aniqlash va nosozliklarning kelib chiqish sabablarini tahlil qilish.

Diagnostika tizimlari qo'llanilish sohasi va vazifasiga ko'ra quyidagi turlarga bo'linadi:

- mahalliy (lokal) va umumiy diagnostika tizimlari;
- funksional va test diagnostikasi tizimlari;
- universal va ixtisoslashtirilgan diagnostika tizimlari;
- o'rnatilgan (ichki) va tashqi diagnostika vositalari;
- avtomatik, avtomatlashtirilgan hamda qo'lda boshqariladigan diagnostika tizimlari.

Lokomotivlarni loyihalash bosqichidayoq ishlab chiqiladigan o'rnatilgan diagnostika vositalari ekspluatatsiya jarayonida uskunalarning ishchi va diagnostik parametrlarini uzluksiz nazorat qilish imkonini beradi. Bunday vositalarga ampermetrlar, tezlik o'lchagichlar, termometrlar hamda lokomotivlarning mikroprotessorli boshqaruv va rostlash tizimlari (MSKU-1, ASU «Lokomotiv», USTA, ED-2000 va boshqalar) kiradi. [2]

Texnik diagnostikaning muhim yo'nalishlaridan biri buzmasdan nazorat qilish (NDT — Non-Destructive Testing) usullaridir.[2,3] Ushbu usullar tortuv harakat tarkibi detallarida yuzaga kelayotgan nuqsonlarni dastlabki bosqichdayoq aniqlash imkonini beradi. Shu sababli buzmasdan nazorat qilish tizimi lokomotivlarni ta'mirlash va texnik xizmat ko'rsatish texnologiyasining ajralmas qismi hisoblanadi.

Hozirgi kunda lokomotiv depolarida mas'ul detallarni nazorat qilishda elektromagnit, uyurma tok (vixretok) va ultratovushli defektoskopiya usullari keng qo'llanilmoqda.[3] Mazkur usullar detal yuzasida yoki ichki qatlamlarida hosil bo'lgan juda kichik yoriqlarni o'z vaqtida aniqlash imkonini beradi. Defektoskopiya o'tkazilishi lozim bo'lgan detallar ro'yxati hamda tekshiruv davriyligi lokomotivlarga texnik xizmat ko'rsatish va joriy ta'mirlash bo'yicha amaldagi me'yoriy hujjatlar bilan belgilanadi. So'nggi yillarda lokomotiv agregatlarining texnik holatini baholashda vibroakustik diagnostika usullari ham keng joriy etilmoqda.[2,3] Ushbu usullar yordamida dizel dvigatelining silindr-porshen guruhi, yoqilg'i purkagichlari (forsunkalar), turbokompressorlar, reduktorlar, g'ildirak-motor bloklari hamda boshqa muhim agregatlarning texnik holati yuqori aniqlik bilan baholanadi.

Uyurma tokli defektoskop (1-rasm) ferromagnit metall konstruksiyalarda turli xil yoriqlarni, jumladan, kuchlanish-korroziya ta'sirida hosil bo'ladigan yoriqlarni aniqlash va ularning chuqurligini baholash uchun mo'ljallangan. Mazkur qurilma tekshirilayotgan detal yuzasidagi korroziya yoki himoya qoplamasi ostida joylashgan nuqsonlarni ham aniqlash imkoniyatiga ega bo'lib, temir yo'l harakat tarkibi uzellarining texnik holatini ishonchli nazorat qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.



1-rasm. Eddyfi kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan Lyft uyurma tokli defektoskopi.

Ultratovushli nazorat qurilmalari tekshirilayotgan obyektidagi nuqsonlarni ultratovush to'liqlari yordamida aniqlash uchun mo'ljallangan. Ultratovushli defektoskopning ishlash prinsipi ultratovush to'liqlarining material ichidagi turli jinsli qatlamlar va nuqsonlardan qaytish hodisasiga asoslanadi. Qaytgan signallarni tahlil qilish orqali nuqsonlarning chuqurligi, o'lchami hamda aniq joylashuvi aniqlanadi (2-rasm).[2,3] Qo'lda ishlatiladigan ultratovushli defektoskoplar metall konstruksiyalar, rezervuarlar, quvurlar va payvand choklarining texnik holatini baholashda ham keng qo'llaniladi. Ushbu qurilmalar yengil vaznga ega bo'lib, ergonomik tuzilishi, foydalanish va texnik xizmat ko'rsatishning qulayligi bilan ajralib turadi. Zamonaviy ultratovushli defektoskoplar akkumulyator batareyalari bilan jihozlanganligi sababli yuqori darajadagi mobillikni ta'minlaydi va ularni bevosita ekspluatatsiya sharoitida qo'llash imkonini beradi. Shuningdek, zamonaviy dasturiy ta'minot imkoniyatlari yashirin yoriqlar, ichki bo'shliqlar, qatlamlanishlar, metall bo'lmagan qo'shimchalar hamda boshqa ichki nuqsonlarning joylashuvini yuqori aniqlik bilan tezkor aniqlashni sezilarli darajada osonlashtiradi. Shu bois ultratovushli nazorat usuli temir yo'l harakat tarkibi uzellarining ishonchliligi va ekspluatatsion xavfsizligini ta'minlashda eng samarali buzmasdan nazorat qilish usullaridan biri hisoblanadi.



2-rasm. UD2-70 rusumidagi ultratovushli defektoskop

Yuqorida ko'rib chiqilgan diagnostika tizimlari, asosan, reja asosidagi profilaktik ta'mirlash jarayonida depo va ta'mirlash zavodlarida joylashgan lokomotivlarni tekshirish uchun mo'ljallangan. Bunday nazorat usullarini qo'llash lokomotivni ma'lum muddat ekspluatatsiyadan chiqarishni, ya'ni uning bekor turishini talab qiladi. O'z navbatida, lokomotivlarning uzoq vaqt harakatsiz qolishi temir yo'l korxonalari uchun iqtisodiy jihatdan

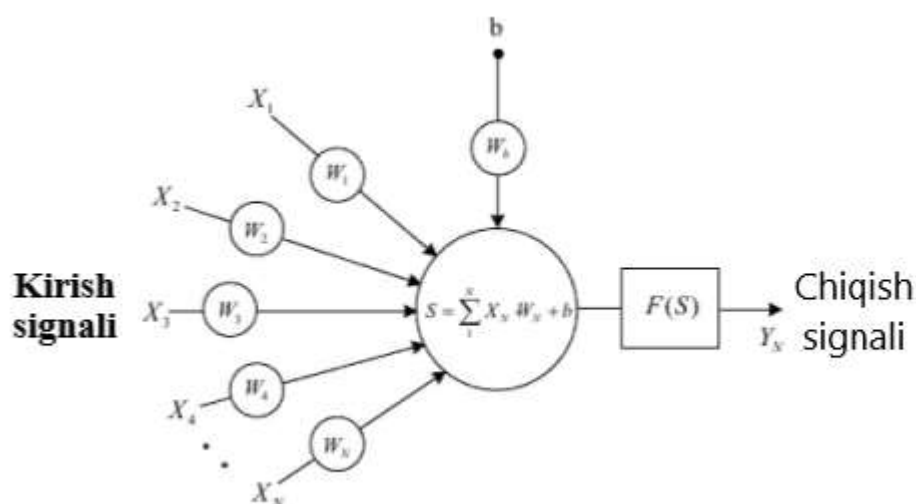


samarasiz hisoblanadi, chunki bu tashish hajmining kamayishiga va ekspluatatsiya xarajatlarining ortishiga olib keladi. [2]

Shu sababli, so'nggi yillarda lokomotivning statik va dinamik tavsiflarini harakat jarayonining o'zida uzluksiz nazorat qilish imkonini beruvchi sun'iy neyron tarmoqlari asosidagi intellektual iyerarxik diagnostika tizimlari ishlab chiqilmoqda. Bunday tizimlar real vaqt rejimida katta hajmdagi diagnostik ma'lumotlarni qayta ishlash, yuzaga kelishi mumkin bo'lgan nosozliklarni oldindan aniqlash hamda texnik xizmat ko'rsatish muddatlarini optimallashtirish imkonini beradi.

2. Lokomotivlar diagnostikasida neyron tarmoqlardan foydalanish

Neyron tarmoq — bu o'zaro bog'langan sun'iy neyronlar majmuasi bo'lib, uning tuzilishi biologik nerv hujayralari faoliyati tamoyiliga asoslangan[1]. Har bir sun'iy neyron biologik neyronning asosiy elementlari – dendritlar, sinapslar va aksonlarning soddalashtirilgan matematik modelidan iborat (3-rasm). Dendritlar boshqa neyronlardan kelayotgan signallarni sinapslar orqali qabul qiladi va ularni neyron tanasiga uzatadi. Neyron tanasida kiruvchi signallar yig'iladi hamda tahlil qilinadi. Ayrim signallar neyronni faollashtirsa, boshqalari uning faollashuviga to'sqinlik qiladi. Agar umumiy qo'zg'alish qiymati belgilangan chegaraviy (porog) qiymatdan oshsa, neyron faollashadi va akson orqali keyingi neyronlarga signal uzatadi. Sun'iy neyron tarmoqlari aynan shu tamoyil asosida ishlaydi. Ular katta hajmdagi ma'lumotlarni o'rganish, murakkab bog'liqliklarni aniqlash hamda ilgari noma'lum bo'lgan qonuniyatlarni topish imkoniyatiga ega. Temir yo'l transportida neyron tarmoqlar vibratsiya, harorat, elektr toki, kuchlanish va boshqa diagnostik parametrlarni kompleks tahlil qilish orqali lokomotiv uzellaridagi nosozliklarni yuqori aniqlik bilan aniqlaydi va ularning kelajakdagi texnik holatini prognoz qilish imkonini beradi. Shu sababli sun'iy neyron tarmoqlari zamonaviy Predictive Maintenance (prognozli texnik xizmat ko'rsatish) tizimlarining asosiy tarkibiy qismi sifatida keng qo'llanilmoqda.[1,2]

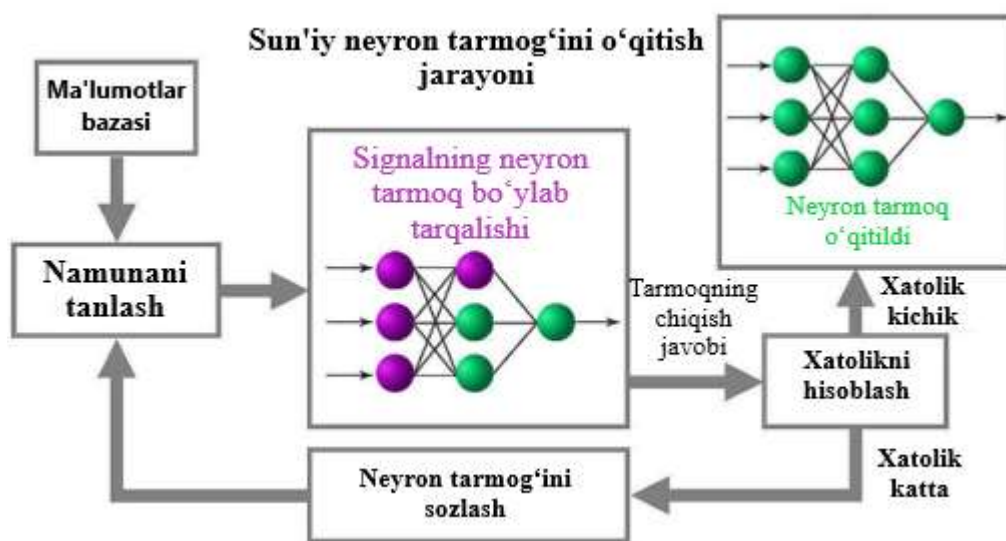


3-rasm. To'g'ri tarqaluvchi sun'iy neyron tarmog'ining matematik modelini ifodalovchi grafik sxema.



Sun'iy neyron tarmog'i berilgan vazifani samarali bajarishi uchun uni oldindan o'qitish (treningdan o'tkazish) zarur (4-rasm). Neyron tarmoqlarni o'qitishning asosiy usullari o'qituvchi ishtirokidagi (supervised learning) va o'qituvchisiz (unsupervised learning) o'qitish algoritmlariga bo'linadi. O'qituvchi ishtirokidagi o'qitish jarayonida neyron tarmoqqa oldindan tayyorlangan o'quv namunalaridan iborat ma'lumotlar to'plami uzatiladi. Har bir namuna tarmoqning kirish qismiga beriladi va neyron tarmoq ichida bosqichma-bosqich qayta ishlanadi. Natijada tarmoq chiqish signali hosil bo'ladi. Ushbu chiqish signali oldindan belgilangan maqsadli (etalon) qiymat bilan taqqoslanadi va ular orasidagi farq, ya'ni xatolik qiymati aniqlanadi. [4]

Keyingi bosqichda tanlangan o'qitish algoritmgiga muvofiq neyronlar orasidagi bog'lanishlarning vazn koeffitsiyentlari xatolik miqdoriga qarab yangilanadi. Bu jarayon barcha o'quv namunalariga ketma-ket qo'llaniladi va har bir iteratsiyadan so'ng tarmoqning vazn koeffitsiyentlari qayta sozlanadi. O'qitish jarayoni butun o'quv ma'lumotlari to'plami bo'yicha umumiy xatolik belgilangan minimal qiymatga yetguniga qadar davom ettiriladi. Temir yo'l transportida sun'iy neyron tarmoqlarni shu usulda o'qitish natijasida ular vibratsiya, harorat, elektr toki, kuchlanish, akustik signallar va boshqa diagnostik parametrlar asosida lokomotiv uzellarining texnik holatini yuqori aniqlik bilan baholashni o'rganadi. Buning natijasida nosozliklarni erta bosqichda aniqlash, ularning rivojlanishini prognoz qilish hamda texnik xizmat ko'rsatish ishlarini optimal rejalashtirish imkoniyati yaratiladi.



3-rasm. Sun'iy neyron tarmog'ini o'qitish (trening) jarayonining grafik ko'rinishi.

O'qituvchisiz o'qitish (Unsupervised Learning) usulida o'quv ma'lumotlari to'plami faqat kirish vektorlaridan iborat bo'ladi. Bunda neyron tarmoq uchun oldindan belgilangan to'g'ri javob yoki maqsadli chiqish qiymatlari mavjud emas. O'qitish algoritmi tarmoqdagi vazn koeffitsiyentlarini shunday moslashtiradiki, natijada o'zaro o'xshash kirish ma'lumotlari bir xil yoki bir-biriga yaqin chiqish natijalarini hosil qiladi. Shunday qilib, o'qitish jarayonida neyron tarmoq kiruvchi ma'lumotlarning statistik xususiyatlarini mustaqil ravishda aniqlaydi va o'xshash xususiyatlarga ega bo'lgan ma'lumotlarni alohida sinflarga guruhlaydi. Ma'lum



bir sinfga mansub kirish vektori tarmoqqa uzatilganda, unga mos keluvchi chiqish signali hosil bo'ladi. Biroq o'qitish boshlanishidan oldin qaysi kirish ma'lumotlari qaysi chiqish sinfga mos kelishini oldindan aniqlashning imkoni bo'lmaydi. Shu sababli bunday neyron tarmoqlarning chiqish natijalari keyinchalik tahlil qilinib, foydalanuvchi uchun tushunarli ko'rinishga keltiriladi. Amaliyotda bu murakkab masala hisoblanmaydi, chunki o'qitish yakunlangandan so'ng kirish va chiqish ma'lumotlari o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash odatda oson kechadi. O'qituvchisiz o'qitish usuli temir yo'l transportida diagnostik ma'lumotlarni avtomatik tahlil qilish, noma'lum nosozliklarni aniqlash, o'xshash texnik holatlarni guruhlash va ekspluatatsion ma'lumotlar bazasini shakllantirishda keng qo'llaniladi. Bunday neyron tarmoqlarni o'qitishda ko'pincha Xebb (Hebb) va Oya (Oja) algoritmlaridan foydalaniladi. Ushbu algoritmlar diagnostik signallar orasidagi yashirin bog'lanishlarni aniqlash hamda lokomotiv uzellarining texnik holatini yuqori aniqlik bilan baholash imkonini beradi.[4]

Zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda diagnostika masalalarini yechishda faqat klassik ko'p qatlamli perceptron (MLP) emas, balki Convolutional Neural Network (CNN), Long Short-Term Memory (LSTM) hamda Autoencoder arxitekturalaridan ham foydalanilmoqda. CNN modellari vibratsiya va tok signallarining spektral tasvirlarini yuqori aniqlik bilan tahlil qilsa, LSTM tarmoqlari vaqt bo'yicha ketma-ket o'zgaruvchi signallardagi yashirin bog'lanishlarni aniqlashda samarali hisoblanadi. Natijada diagnostika aniqligi 98 % gacha oshishi mumkin.

Xulosa

Texnik tizimlar uzellarining texnik holatini, yuzaga kelgan nosozliklarni hamda nosozlikdan oldingi holatni o'z vaqtida aniqlash bugungi kunda butun dunyoda dolzarb ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Zamonaviy diagnostika usullaridan foydalanish texnik tizimlarda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan nosozliklarni dastlabki bosqichdayoq aniqlash, ularning rivojlanishining oldini olish hamda ishlab chiqarish va ekspluatatsiya jarayonlarining xavfsizligini yuqori iqtisodiy samaradorlik bilan ta'minlash imkonini beradi. Hozirgi kunda qo'llanilayotgan diagnostika tizimlarining aksariyati asosan statik yoki barqarorlashgan parametrlarni nazorat qilishga mo'ljallangan bo'lib, ular faqat ma'lum vaqt oralig'idagi obyektning joriy texnik holatini baholash imkonini beradi. Biroq temir yo'l harakat tarkibi uzellarining ishonchli ishlashini ta'minlash uchun vibratsiya, harorat, elektr toki, akustik signallar va boshqa dinamik diagnostik parametrlarni real vaqt rejimida uzluksiz nazorat qilish zarur. Shu nuqtai nazardan, sun'iy neyron tarmoqlari, mashinaviy o'qitish algoritmlari va IoT texnologiyalariga asoslangan intellektual diagnostika tizimlarini ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Bunday tizimlar katta hajmdagi diagnostik ma'lumotlarni tezkor qayta ishlash, nosozliklarni oldindan prognoz qilish hamda Predictive Maintenance tamoyillari asosida texnik xizmat ko'rsatishni tashkil etish imkonini beradi. Natijada zamonaviy intellektual diagnostika tizimlarining qo'llanilishi temir yo'l harakat tarkibi uzellarining ekspluatatsion ishonchliligini oshirish, ta'mirlash xarajatlarini kamaytirish, lokomotivlarning bekor turish vaqtini qisqartirish va eng muhimi, poyezdlar harakati xavfsizligini yanada yuqori darajada ta'minlashga xizmat qiladi.



Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Грищенко А.В. Аппарат искусственных нейронных сетей для диагностики современного локомотива / В.В. Грачёв, Ю.В. Бабков, Ю.И. Клименко, С.И. Ким, К.С. Перфильев, М.В. Федотов // Локомотив. - 2012г. - №7. – С. 36-40.
2. Грищенко А.В., Хамидов О.Р. Оценка технического состояния локомотивных асинхронных тяговых электродвигателей с использованием нейронных сетей / «Транспорт Российской Федерации», № 6 (79) 2018
3. Хамидов О.Р. Оценка технического состояния асинхронных тяговых электродвигателей электропоездов серии «UZ-EL» средствами вибродиагностики / О.Т. Касымов // Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие», сентябрь – 2017, С. 13-19.
4. Сайт <https://neuronus.com/theory/nn/238-obucheniya-nejronnoi-seti>