ASINXRON ELEKTROPRIVODLARNING TEXNIK HOLATINI VIBRATSIYA SIGNALLARI ASOSIDA INTELLEKTUAL DIAGNOSTIKALASH USULI

Ibragimov B.Z.
Boboyorov R.O.

Annotatsiya. *Sanoat korxonalarida asinxron elektr dvigatellarning uzoq muddat va barqaror ishlashi texnologik jarayonning uzluksizligi uchun muhim hisoblanadi. Ekspluatatsiya davomida podshipniklarning yeyilishi, valning nomutanosibligi yoki mexanik yuklamaning o‘zgarishi kabi holatlar dvigatel vibratsiyasining ortishiga sabab bo‘ladi. Ushbu maqolada asinxron elektroprivodlarning texnik holatini vibratsiya signallari asosida baholash masalasi ko‘rib chiqilgan. Vibratsiya signalining vaqt va chastota sohalaridagi xususiyatlarini aniqlash uchun RMS va tezkor Furye almashtirishidan foydalanish taklif etilgan. Ajratilgan diagnostik belgilarni mashinali o‘qitish algoritlariga uzatish orqali elektroprivodning normal va nosoz holatlarini avtomatik tasniflash imkoniyati tahlil qilingan. Hisoblash misolida nosozlik holatida vibratsiya signalining RMS qiymati ortishi va uning spektral tarkibida o‘zgarishlar yuzaga kelishi ko‘rsatildi.*

Kalit so‘zlar: *asinxron elektroprivod, vibratsiya signali, texnik diagnostika, intellektual diagnostika, FFT, RMS, mashinali o‘qitish, podshipnik, mexanik nomutanosiblik.*

Kirish. Asinxron dvigatellar sanoat korxonalarida eng ko‘p ishlatiladigan elektr mashinalardan biridir. Ular nasos, ventilyator, kompressor, konveyer va boshqa ko‘plab mexanizmlarning yuritmasi sifatida xizmat qiladi. Dvigatelning ishdan chiqishi ayrim hollarda faqat elektr qurilmasining o‘ziga emas, balki u bilan bog‘langan butun texnologik jarayonga ta’sir qiladi.

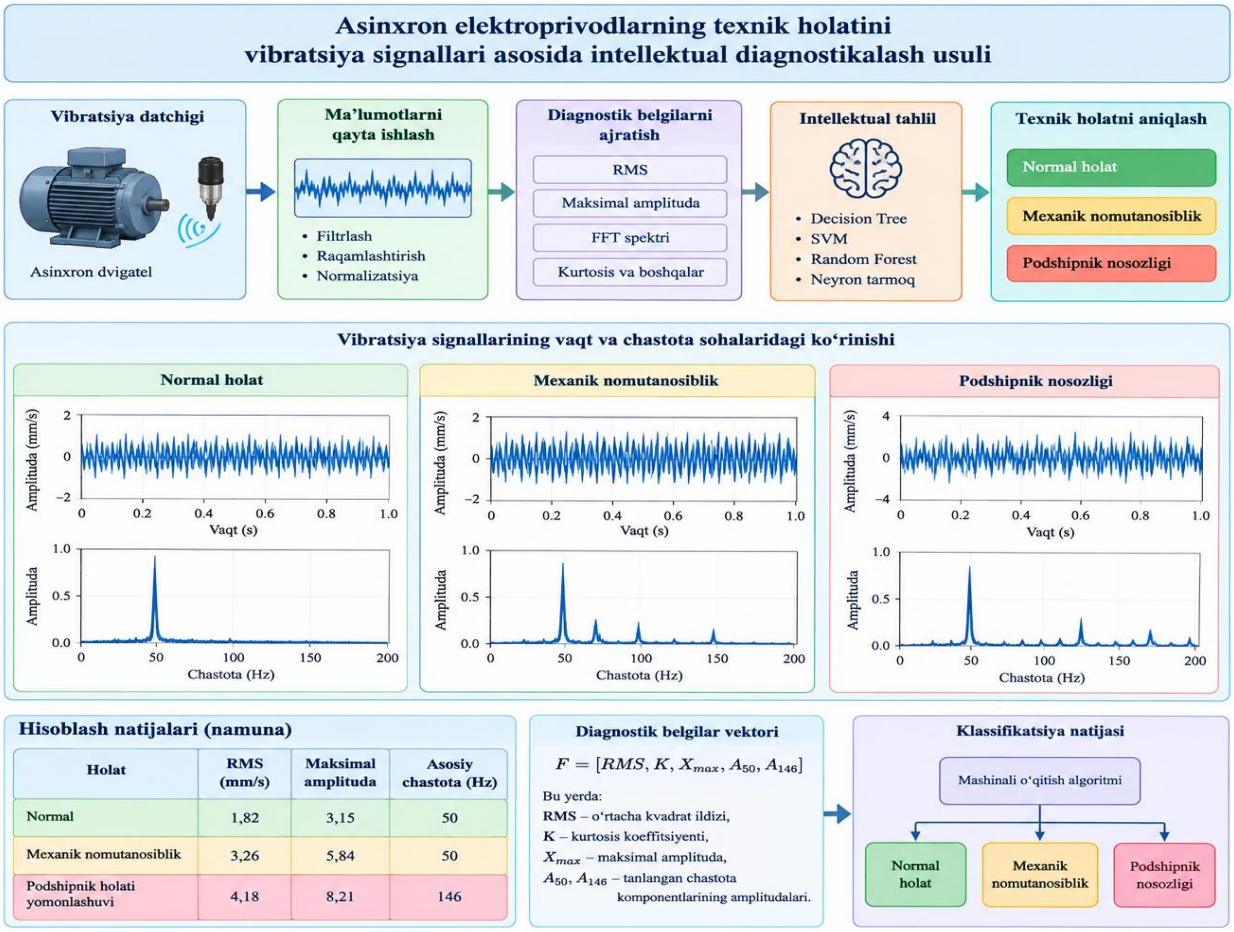
Elektroprivodda nosozliklarning rivojlanishi odatda birdaniga sodir bo‘lmaydi. Masalan, podshipnikning yeyilishi yoki rotorning nomutanosibligi dastlab kichik tebranishlar bilan namoyon bo‘lishi, keyinchalik esa vibratsiyaning sezilarli darajada ortishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun nosozlikni avariya yuz bergandan keyin aniqlashdan ko‘ra, uning dastlabki belgilarini ish jarayonida aniqlash maqsadga muvofiqdir.

Elektrodvigatelning texnik holatini baholash uchun tok, kuchlanish, harorat va vibratsiya kabi parametrlaridan foydalanish mumkin. Ular orasida vibratsiya

mexanik holat haqida bevosita axborot berishi bilan ajralib turadi. Shu sababli vibratsion diagnostika elektr yuritmalarning holatini nazorat qilishda keng qo‘llaniladigan usullardan biri hisoblanadi [1].

Biroq vibratsiya signalini faqat uning umumiy amplitudasi orqali baholash barcha nosozliklarni aniqlash uchun yetarli bo‘lmasligi mumkin. Signalning chastota tarkibida ham muhim diagnostik ma’lumotlar mavjud. Shu sababli ushbu ishda vibratsiya signalini vaqt va chastota sohalarida birgalikda tahlil qilishga e’tibor qaratilgan.

Tadqiqotning maqsadi vibratsiya signalidan informativ diagnostik belgilarni ajratish va ular asosida asinxron elektroprivodning texnik holatini intellektual baholash imkoniyatini ko‘rsatishdan iborat.



Tadqiqot usuli. Taklif etilayotgan diagnostika jarayoni quyidagi ketma-ketlikda tashkil etiladi:

vibratsiya datchigi → signalni qayta ishlash → diagnostik belgilarni ajratish → intellektual tahlil → texnik holatni aniqlash.

Datchikdan olinadigan uzluksiz vibratsiya signali raqamlashtirilgandan so‘ng $x(n)$ ketma-ketlik ko‘rinishida ifodalanadi. Signalning umumiy tebranish darajasini baholash uchun RMS qiymatidan foydalaniladi:

$$X_{RMS}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n-1}^{N}x^2(n)}$$

RMS qiymatining ortishi mexanik tebranishlarning kuchayganligini ko‘rsatadi. Biroq ushbu ko‘rsatkichning o‘zi nosozlikning aynan qaysi turga tegishli ekanligini aniqlab bermaydi.

Shuning uchun signalning chastota tarkibini ham ko‘rib chiqish zarur. Buning uchun tezkor Furye almashtirishidan foydalaniladi:

$$X(k)=\sum_{n=0}^{N-1}x(n)e^{-j2\pi kn/N}$$

FFT yordamida vibratsiya signalidagi dominant chastotalar aniqlanadi. Masalan, mexanik nomutanosiblikda aylanish chastotasiga yaqin komponentning kuchayishi, podshipnik bilan bog‘liq nosozliklarda esa yuqoriroq chastota komponentlarining paydo bo‘lishi kuzatilishi mumkin.

Shu asosda diagnostika uchun quyidagi belgilar to‘plamini shakllantirish mumkin:

$$F=[X_{RMS,}X_{max},K,A_1,A_2,\ldots,A_n]$$

bu yerda X_{max}— signalning maksimal amplitudasi, K — kurtosis koeffitsiyenti, A_i— tanlangan chastota komponentlarining amplitudalaridir.

Keyingi bosqichda shakllantirilgan belgilar vektori mashinali o‘qitish algoritmiga beriladi. Decision Tree, SVM, Random Forest yoki neyron tarmoq kabi algoritmlar yordamida elektroprivodning texnik holatini avtomatik tasniflash mumkin [2, 3].

Hisoblash natijalari. Taklif etilayotgan yondashuvni tushuntirish maqsadida uch xil texnik holat uchun hisoblash ma’lumotlari shakllantirildi. Ushbu qiymatlar **usulning ishlashini ko‘rsatishga mo‘ljallangan model ma’lumotlari** bo‘lib, real ishlab chiqarish obyektidan olingan o‘lchovlar sifatida qaralmaydi.

Elektroprivod holati	RMS, mm/s	Maksimal amplituda	Asosiy spektral komponent	Baholash
Normal	**1,82**	**3,15**	**50 Hz**	**Normal**
Mexanik nomutanosiblik	**3,26**	**5,84**	**50 Hz**	**Nosozlik ehtimoli**
Podshipnik holatining yomonlashuv	**4,18**	**8,21**	**146 Hz**	**Nosozlik ehtimoli yuqori**

Jadvaldagi qiymatlar taqqoslanganda normal holatdan mexanik nosozlik holatiga o‘tganda vibratsiyaning RMS qiymati sezilarli ravishda oshgani ko‘rinadi.

Masalan, normal holatda:

$X_{RMS,}$=1,82 mm/s

bo‘lgan bo‘lsa, mexanik nomutanosiblik holatida:

$X_{RMS,}$=3,26 mm/s

qiymatga yetgan.

Ularning nisbiy farqi:

$$\Delta X = \frac{3.26-1.82}{1.82} \times 100 = 79.1\%$$

ni tashkil qiladi.

Demak, mazkur hisoblash holatida mexanik nosozlikning yuzaga kelishi vibratsiyaning RMS qiymati bo‘yicha yaqqol farqlanishi mumkin. Podshipnik holatining yomonlashuvida esa RMS qiymatining ortishi bilan birga spektrda qo‘shimcha yuqori chastotali komponentning paydo bo‘lishi diagnostika uchun qo‘shimcha belgi bo‘lib xizmat qiladi.

Intellektual diagnostika modeli. Vibratsiya signalidan ajratilgan belgilarni bevosita diagnostik qarorga aylantirish uchun klassifikatsiya modeli shakllantiriladi. Uning kirish qismi:

$$F = [RMS, \text{K}, X_{max}, A_{50}, A_{146}]$$

ko‘rinishida bo‘lishi mumkin.

Klassifikator chiqishida esa elektroprivodning holati:

$$D = \{D_1, D_2, D_3\}$$

ko‘rinishida aniqlanadi. Bu yerda:

- D_1— normal holat;
- D_2— mexanik nomutanosiblik;
- D_3— podshipnik bilan bog‘liq nosozlik.

Bunday yondashuvning afzalligi shundaki, diagnostika faqat vibratsiya darajasining ortganini qayd etish bilan cheklanmaydi. Signalning bir nechta xususiyatlari birgalikda ko‘rib chiqilgani sababli nosozlik turini ham ajratish imkoniyati paydo bo‘ladi.

Amaliy tizimda klassifikatorni oldindan tayyorlangan ma’lumotlar to‘plami asosida o‘qitish talab qilinadi. Buning uchun normal va turli nosozlik holatlarida olingan vibratsiya signallari yig‘iladi, ulardan diagnostik belgilar ajratiladi va ma’lumotlar o‘qitish hamda test to‘plamlariga ajratiladi.

Natijalar muhokamasi. Hisoblash natijalari vibratsiya signalining faqat vaqt sohasidagi ko‘rsatkichlarini emas, balki uning chastota tarkibini ham hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi. RMS qiymati elektroprivoddagi tebranish darajasining umumiy o‘zgarishini ko‘rsatishga qulay bo‘lsa, FFT spektri nosozlik bilan bog‘liq ayrim chastota komponentlarini aniqlash imkonini beradi.

Shu sababli ikkala turdagi belgilarni birgalikda ishlatish diagnostika tizimining axborot imkoniyatlarini kengaytiradi. Keyingi bosqichda ushbu belgilarni mashinali o‘qitish algoritmlariga berish orqali texnik holatni avtomatik tasniflash mumkin.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundaki, ishlab chiqiladigan diagnostika tizimi keyinchalik boshqaruv tizimi bilan bog‘lanishi mumkin. Masalan, klassifikator podshipnik holatining yomonlashuvini aniqlasa, bu ma’lumot operatorga yuborilishi yoki adaptiv boshqaruv algoritmiga uzatilishi mumkin. Shu tariqa **diagnostika → qaror qabul qilish → adaptiv boshqarish** zanjirini shakllantirish imkoniyati yuzaga keladi.

Xulosa. Maqolada asinxron elektroprivodlarning texnik holatini vibratsiya signallari asosida intellektual diagnostikalash usuli ko‘rib chiqildi. Vibratsiya signalini vaqt va chastota sohalarida tahlil qilish hamda RMS, maksimal amplituda va spektral komponentlarni diagnostik belgilar sifatida ishlatish taklif etildi.

Hisoblash misolida mexanik nomutanosiblik holatida vibratsiya RMS qiymatining 1,82 mm/s dan 3,26 mm/s gacha oshishi, ya’ni taxminan 79,1 % o‘zgarishi aniqlandi. Podshipnik holatining yomonlashuvida esa vibratsiya darajasining ortishi bilan bir qatorda yuqori chastotali komponentlarning paydo bo‘lishi qo‘shimcha diagnostik belgi sifatida qaraldi.

Shunday qilib, vibratsiya signalining vaqt va chastota sohalaridagi belgilarini birlashtirish asinxron elektroprivodning texnik holatini intellektual baholash uchun istiqbolli yondashuv hisoblanadi. Kelgusida real eksperimental ma’lumotlar asosida turli mashinali o‘qitish algoritmlarining diagnostika aniqligini taqqoslash va aniqlangan nosozlikni adaptiv boshqarish tizimiga bog‘lash tadqiqotning keyingi bosqichi sifatida belgilanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Nandi S., Toliyat H.A., Li X. Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors—A Review. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2005. Vol. 20, No. 4. P. 719–729. .

2. Daas A., Sari B., Jia J., Rigatos G. Enhancing induction machine fault detection through machine learning: Time and frequency analysis of vibration signals. *Measurement*. 2025. Vol. 242. 116023.

3. Alshorman O., Alshorman A. A review of intelligent methods for condition monitoring and fault diagnosis of stator and rotor faults of induction machines. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2021. Vol. 11, No. 4. P. 2820–2829.

4. *Various Faults Classification of Industrial Application of Induction Motors Using Supervised Machine Learning: A Comprehensive Review*. *IEEE Access*. 2025. Vol. 13. P. 146649–146675.