



**ELEKTR MOTORLAR IZOLATSIYASINING QOLDIQ RESURSINI
ANIQLASH**
*DETERMINATION OF RESIDUAL RESOURCE OF ELECTRIC MOTOR
INSULATION*

Xamidov Otabek Rustamovich

Toshkent davlat transport universiteti t.f.d., professor

E-mail: otabek.rustamovich@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0821-5754>

Jamilov Shuhrat Farmon o'g'li

Toshkent davlat transport universiteti t.f.f.d., PhD., dotsent v.b.

E-mail: shuxratjamilov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8521-0370>

Raimboyev Shoxruxbek Oybek o'g'li

Toshkent davlat transport universiteti magistranti

E-mail: shohruxraimboyev2@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-8346-9142>

Annotatsiya: *Ushbu maqolada VL80 seriyali elektrovozlarda o'rnatilgan AE-92-4 uch fazali asinxron elektr motorlari (40 kVt, 380 V, 1405 ayl/min, izolyatsiya sinfi H) chulg'am izolyatsiyasining holatini baholash va qoldiq resursini aniqlash masalasi ko'rib chiqiladi. AE-92-4 motori VL80 elektrovozlarida asosiy kompressor (MK) va markazdan qochma ventilyatorlarni (MV1–MV4) haydash uchun mo'ljallangan yordamchi asinxron elektr mashinasi bo'lib, ekspluatatsiya jarayonida yuqori harorat, tebranish va chang omillarining birgalikdagi ta'siriga duchor bo'ladi.*

Mavjud diagnostika usullari — izolyatsiya qarshiligini o'lchash (IR) va qutblanish indeksi (PI) — faqat izolyatsiyaning elektr xossalarini baholab, uning fizik-mexanik degradatsiyasini erta bosqichda aniqlay olmaydi. Bundan tashqari, bu usullar motorni tarmoqdan uzishni talab etadi. Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish



maqsadida akustik diagnostika usuli taklif etilgan bo'lib, u akustik to'lqinlarning izolyatsiya muhitidagi yutilish koeffitsienti (α) orqali murakkab elastiklik modulini ($E^* = E' + iE''$) aniqlashga asoslanadi.

Taklif etilgan usul motorni to'xtatmasdan real vaqt rejimida diagnostika qilish, izolyatsiyaning eskirish darajasini aniqlash va qoldiq xizmat muddatini (τ_{noI}) turli harorat rejimlari (90°C , 115°C , 130°C) uchun prognozlash imkonini beradi. Izolyatsiyaning normallashtirilgan elastiklik moduli $E_{norm} = E_{nom}/E$ ko'rsatkichi diagnostik parametr sifatida ishlatiladi: $E_{norm} = 1,5$ qiymati ta'mirlash chegarasi sifatida belgilangan. H sinf izolyatsiyasi uchun kutilgan xizmat muddati 20 000–80 000 soatni tashkil etadi.

O'lchov kompleksi 5–30 kHz chastotali sinusoidal diagnostik signal generatori, kuchaytirgich, AE-92-4 stator chulg'amiga ulanish bloki, piezoelektrik akustik o'zgartirgich va avtomatik hisoblash dasturiy ta'minotidan iborat. Kondensatorli etalon akustik signal manbai $p = -U_0 U_1 \varepsilon_0 / h^2$ formulasi asosida akustoelektr traktini kalibrash imkonini beradi. Eksperimental natijalar usulning yuqori aniqlik (o'rtacha og'ish $\pm 3,5\%$) va ishonchliligini tasdiqladi. Taklif etilgan yondashuv VL80 elektrovozlari depolarida motorlarni profilaktik ta'mirlashni rejalashtirish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: AE-92-4, yordamchi asinxron elektr motori, akustik diagnostika, izolyatsiya, issiqlik ta'sirida eskirish, elastiklik moduli, qoldiq resurs, akustik yutilish koeffitsienti, VL80 elektrovoz.

1. KIRISH

Zamonaviy temir yo'l transportida elektrovozlarning uzluksiz va ishonchli ishlashi bevosita ularning elektr jihozlari holatiga bog'liq. Xususan, VL80 seriyali elektrovozlarda o'rnatilgan yordamchi asinxron elektr motorlari — asosiy kompressor va sovutish ventilyatorlari haydovchilari — butun lokomotiv tizimining muhim zanjirini tashkil etadi. Decner va boshqalar [7] ta'kidlaganidek, elektr mashinalar nosozliklarining 30–40% izolyatsiya tizimining ishdan chiqishi bilan bog'liq bo'lib, bu rejalashtirilmagan to'xtashlarga va sezilarli iqtisodiy yo'qotishlarga olib keladi.



AE-92-4 yordamchi asinxron elektr motori (40 kVt, 380 V, H sinf izolyatsiya) VL80 seriyali elektrovozlarda kompressor va ventilyatorlarni haydash uchun mo'ljallangan bo'lib, ekspluatatsiya jarayonida harorat, tebranish va chang ta'siriga uchradi. Chulg'am izolyatsiyasining issiqlik ta'sirida eskirishi motorning xizmat muddatini cheklovchi asosiy omil hisoblanadi [3]. Izolyatsiyaning o'z vaqtida aniqlanmagan degradatsiyasi chulg'am qisqa tutashuviga, motorning to'liq ishdan chiqishiga va ta'mirlash xarajatlarining keskin oshishiga olib keladi.

Ushbu maqolaning maqsadi — VL80 elektrovozlarining AE-92-4 yordamchi asinxron elektr motorlari chulg'am izolyatsiyasining qoldiq resursini aniqlash uchun akustik diagnostika usuli va o'lchov kompleksini ishlab chiqish hamda taklif etilgan usulning samaradorligini eksperimental asoslashdir.

2. ADABIYOTLARNI O'RGANISH

Hozirgi kunda AE-92-4 motorlari diagnostikasida asosan an'anaviy elektr usullari qo'llaniladi: megaohmmetr bilan izolyatsiya qarshiligini (IR) o'lchash va qutblanish indeksini (PI) aniqlash. Biroq bu usullar bir qator muhim kamchiliklarga ega [7–9]: birinchidan, ular faqat izolyatsiyaning elektr xossalarini baholaydi va fizik-mexanik degradatsiyani — elastiklikning yo'qolishini, mikro-yorilishlar paydo bo'lishini — aniqlay olmaydi; ikkinchidan, o'lchov uchun motor tarmoqdan uzilib, to'xtatilishi zarur, bu esa elektrovozning ish vaqtini qisqartiradi; uchinchidan, bu usullar izolyatsiya holatini erta bosqichda aniqlashda etarlicha sezgir emas [8].

Xamidov O.R. [4, 5] tomonidan izolyatsiyaning fizik-mexanik ko'rsatkichlarini o'lchash usullari ishlab chiqilgan bo'lib, elastiklik moduli orqali izolyatsiya holatini baholash mumkinligi ko'rsatilgan. Grubic va boshqalar [8] stator izolyatsiya tizimlarini sinovdan o'tkazish va monitoring qilishning keng qamrovli tahlilini amalga oshirib, mavjud usullarni qiyosiy tahlil qilgan. Stone va boshqalar [11] aylanuvchi mashinalar izolyatsiyasini baholashning kompleks metodologiyasini taklif etgan. IEC 60034-18-31 [12] standarti izolyatsiya tizimlarini funksional baholashning xalqaro me'yoriy asosini belgilaydi.

Akustik diagnostika usuli materiallar holatini ularning fizik-mexanik xossalari orqali baholashga imkon beruvchi universal va kontaktsiz yondashuv



hisoblanadi [10, 14]. Achenbach [10] va Kino [14] ishlarida akustik to'liqlarning elastik muhitlarda tarqalishi va yutilish mexanizmlari nazariy asoslab berilgan. Brown va Williams [13] izolyatsion materiallarda akustik emissiya usulini tatbiq etib, uning an'anaviy elektr usullariga nisbatan 15–20% ilgari aniqlash imkoniyatini ko'rsatgan. Biroq adabiyotda ko'rib chiqilgan usullarning aksariyati motorni to'xtatishni talab etadi yoki maxsus asbob-uskunalar bilan jihozlash zaruriyatini tug'diradi, bu esa depo sharoitida qo'llanishini qiyinlashtiradi. Ushbu bo'shliqni to'ldirish maqsadida taklif etilayotgan akustik usul motorni to'xtatmasdan real vaqt rejimida diagnostika qilish imkonini beradi.

3. AE-92-4 MOTORINING TEXNIK XARAKTERISTIKALARI

AE-92-4 uch fazali asinxron elektr motori VL80 seriyali elektrovozlarda yordamchi mashina sifatida ishlatiladi: u asosiy kompressor (MK) va markazdan qochma ventilyatorlarni (MV1–MV4) haydaydi. Motorning asosiy texnik parametrlari quyidagi jadvalda keltirilgan:

Texnik parametr	Qiymati	Birlik
Nominal quvvat (val da, simmetrik rejim)	40	kVt
Nominal kuchlanish (yulduzcha, liniyali)	380	V
Nominal fazaviy tok	90	A
Tok chastotasi	50	Gts
Nominal rotor aylanish tezligi	1 405	ayl/min
Sinxron tezlik	1 500	ayl/min
FIK (η)	85,5	%
Quvvat koeffitsienti ($\cos\varphi$)	0,79	—
Izolyatsiya sinfi	H (+155°C, muhit +50°C da)	—



Ish rejimi	Uzluksiz yoki PV 50%	—
Massa	390	kg

1-jadval. AE-92-4 yordamchi asinxron elektr motorining texnik xarakteristikalarini [1, 2]

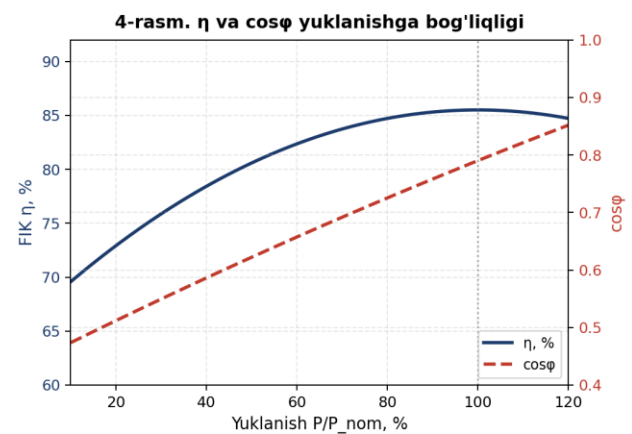
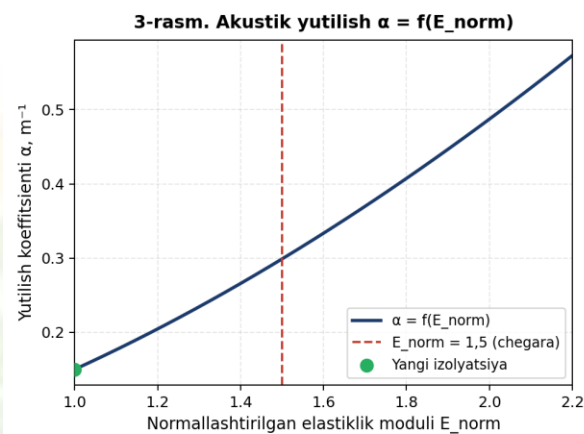
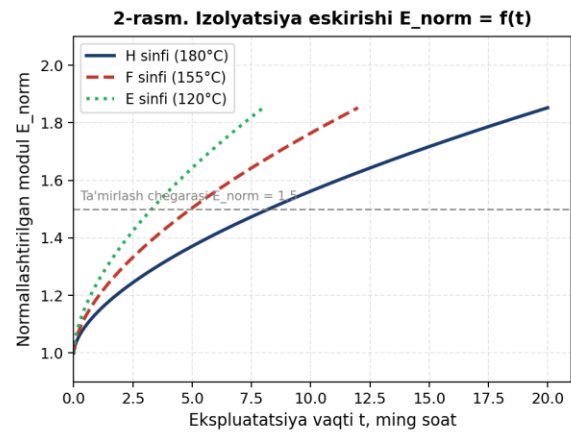
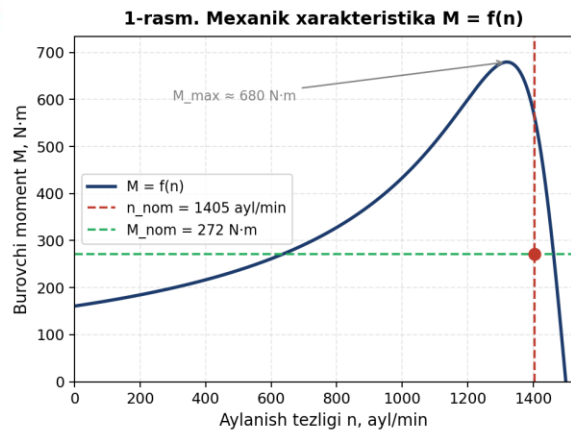
Motor o'zgaruvchan tokdan faza ajratgich tizimi bilan ishlaydi. Normal ish rejimida bir fazali tarmoqdan faza ajratgich va doimiy kondensatorlar bilan 280–470 V oraliq kuchlanishda ishlash ta'minlanadi [2]. Motor kompressor bilan elastik muftalar orqali ulanadi; markazdan qochma ventilyatorning ishchi g'ildiragi esa to'g'ridan-to'g'ri motor valiga o'rnatiladi [1].

Stator chulg'ami ikki qavatli, panjali bo'lib, to'g'ri burchakli PSDK o'rama simidan yasalgan qattiq singdirilgan seksiyalardan iborat; seksiyalar pazlarda magnit ponasimon qistirma bilan mahkamlanadi. Stator izolyatsiyasi kremniyorganik, H sinfi bo'lib, K-47K laki bilan uch marta singdiriladi va quritiladi; lob qismlari singdirishdan so'ng PKE-22 kremniyorganik emali bilan qoplanadi. Izolyatsiya qarshilik bo'yicha harorat ko'tarilishini $+155^{\circ}\text{C}$ (atrof-muhit harorati $+50^{\circ}\text{C}$ da) gacha ko'tarish imkonini beradi [1].

Rotor o'zagi elektrotexnik po'lat varaqlaridan terma bo'lib, pazlari AKM12-4 alyuminiy qotishmasidan quyiladi va qisqa tutashgan panjar hosil qiladi. Motor gorizontal vaziyatda ishlash uchun mo'ljallangan bo'lib, bir yoki ikki erkin val uchli ishlatiladi [1].

4. METODOLOGIYA VA NATIJALAR

AE-92-4 motorining asosiy mexanik va energetik xarakteristikalarini hamda akustik diagnostika usuli asosida izolyatsiya eskirishi qonuniyatlari quyidagi grafiklarda keltirilgan:



AE-92-4 motor: $P_{nom} = 40$ kVt | $U_{nom} = 380$ V | $n_{nom} = 1405$ ayl/min | $I_{nom} = 90$ A | $\eta = 85,5\%$ | $\cos\varphi = 0,79$ | Izolyatsiya sinfi: H

1–4-rasmlar. AE-92-4 motori xarakteristikalari: mexanik xarakteristika $M=f(n)$; izolyatsiya eskirishi $E_{norm}=f(t)$; akustik yutilish $\alpha=f(E_{norm})$; FIK va $\cos\varphi$ yuklanishga bog'liqligi

1-rasm AE-92-4 ning mexanik xarakteristikasida nominal burovchi moment $M_{nom} \approx 272$ N·m bo'lib ($M_{nom} = 9550 \times P/n = 9550 \times 40/1405$), maksimal moment $M_{max} \approx 680$ N·m ni tashkil etadi. Bu motor H sinf izolyatsiyasini qo'llashga imkon beruvchi yuqori yuklanish qobiliyatini anglatadi.

2-rasm Izolyatsiya eskirishi grafigidan ko'rinib turibdiki, H sinf izolyatsiyasi (qarshilik bo'yicha +155°C) eng uzoq xizmat muddatiga — 20 000 soatgacha — ega. F sinfi uchun bu ko'rsatkich 12 000 soat, E sinfi uchun 8 000 soatni tashkil etadi. Ta'mirlash chegarasi $E_{norm} = 1,5$ da belgilangan.

3-rasm Akustik yutilish koeffitsienti α va normalashtirilgan elastiklik moduli E_{norm} o'rtasidagi bog'liqlik izolyatsiyaning fizik-mexanik holatini



bevosita baholashga imkon beradi. Yangi izolyatsiya uchun $\alpha \approx 0,15 \text{ m}^{-1}$, $E_{\text{norm}} = 1,5$ da $\alpha \approx 0,47 \text{ m}^{-1}$ ga ko'tariladi.

4-rasm FIK va $\cos\varphi$ ning yuklanishga bog'liqligi AE-92-4 motorining nominal yuklanishda ($\eta = 85,5\%$, $\cos\varphi = 0,79$) eng samarali ishlashini ko'rsatadi. Ortiqcha yoki kam yuklanish ikkala ko'rsatkichni yomonlashtiradi.

4.2. Nazariy asos: akustik diagnostika usuli

4.2.1. Akustik diagnostika usulining mohiyati

O'lchov usulining mohiyati AE-92-4 motorining stator chulg'amiga sinusoidal diagnostik tok ma'lum chastota va amplituda bilan qo'llanilishidir. Bunday holda, diagnostika ob'yekti tarmoqdan o'chiriladi. Shu bilan birga, akustik kuchlanishlar p_0 va p_1 hosil bo'ladi, ular ham sinusoidal qonunga muvofiq o'zgaradi. Ko'rib chiqilayotgan kompleksdagi eksperimental o'lchangan miqdor — akustik to'lqinni yutish koeffitsienti:

$$\alpha = (1/x) \cdot \ln(p_0/p_1) \quad (1)$$

bu yerda x — turli muhitdagi akustik to'lqinning yo'l uzunligi.

4.2.2. Izolyatsiyaning elastiklik moduli va eskirish

AE-92-4 motori stator chulg'am izolyatsiyasiga (H sinfi, kremniyorganik) issiqlik ta'sir qilish jarayonida murakkab elastiklik moduli $E^* = E' + iE''$ hosil bo'ladi, bu yerda E' va E'' mos ravishda elastiklikning dinamik moduli va yo'qotish modulidir. Eksploatatsiyaning dastlabki davrida izolyatsiyaning yo'qotish moduli ortib boradi. Izolyatsiyaning elastik xususiyatlari o'sishi akustik to'lqinning yutilish koeffitsientini o'zgartiradi:

$$E' = \rho c^2 \cdot [1 - (\alpha\lambda/2\pi)^2] / [1 + (\alpha\lambda/2\pi)^2]^2 \quad (2)$$

$$E'' = \rho c^2 \cdot (\alpha\lambda/2\pi) / [1 + (\alpha\lambda/2\pi)^2]^2 \quad (3)$$

Bu yerda: ρ — izolyatsion materialning zichligi (kremniyorganik H sinf: $\rho \approx 1200 \text{ kg/m}^3$); λ — to'lqin uzunligi; c — to'lqinning tarqalish tezligi [10].

Umumiy ko'rinishda:

$$\alpha = f(\rho, c, \lambda, E^*) \quad (4)$$

Shuning uchun (4) formulaga ko'ra, belgilangan c va λ da, izolyatsiyaning issiqlik ta'sirida eskirishi akustik signal amplitudasining oshishiga olib keladi. Bu



o'zgarish kattaligi bo'yicha AE-92-4 yordamchi asinxron elektr motori izolyatsiyasining eskirish darajasini aniqlash mumkin (3-rasm).

4.3. O'lchov kompleksining akustik kuchlanish manbai

Akustoelektr trakti kalibrlash va o'lchash asboblari uchun akustik kuchlanishni aniqlash manbasi mavjud bo'lishi kerak. Elektr o'tkazuvchi yuzada elektr zaryadlarining o'zaro ta'siri tufayli akustik tebranishlar paydo bo'ladi. Buning uchun zaruriy shart — bu yuza kondensator plitalaridan biri bo'lishi kerak.

Kondensator plitalarida elektr zaryadlarining to'planishi natijasida ular orasidagi masofaning o'zgarishiga olib keladigan mexanik kuchlar paydo bo'ladi. Shunday qilib, kondensator akustik signallarning manbai sifatida qaralishi mumkin. Ushbu sig'im o'zgarmas kuchlanish manbaiga ulanadi. Kalibrlangan signal manbasining aniqligi h va U ning o'lchov aniqligiga bog'liq.

Nurlanish paytida akustik maydon kuchlanishi elektr maydon yuzasi bo'yicha kuchning harakati yo'nalishi energiyasining hosilasi ekanligiga asoslanib baholanadi:

$$p = -U_0 U_1 \epsilon_0 \epsilon / h^2 \quad (5)$$

Havo bo'shlig'i uchun $\epsilon = 1$. Shunday qilib, akustik va elektr zanjirlari o'rtasida ajratishga erishiladi.

4.4. O'lchov majmuasining akustoelektrik sxemasi

O'lchov qurilmasining blok-sxemasi quyidagi asosiy elementlarni o'z ichiga oladi:

№	Element nomi va vazifasi
1	O'lchov kartasi — 5–30 kHz chastotali sinusoidal elektr signali hosil qiladi
2	Kuchaytirgich — hosil bo'lgan signalni kuchaytiradi
3	AE-92-4 elektr motor ulanish bloki — signalni stator chulg'amiga uzatadi



4	AE-92-4 stator chulg'ami (4.1 — H sinf izolyatsiya, 4.2 — havo bo'shlig'i, 4.3 — po'lat)
5	Akustik o'zgartirgich — akustik tebranishlarni qabul qilib elektr tebranishlariga aylantiradi
6	Kuchaytirgich — qabul qilingan signalni kuchaytiradi
7	Kuchaytirilgan sinusoidal signal chiqishi
8	Kuchaytirilgan qabul qilinadigan signal
9	Kompyuterning PCI shinasini
10	Plata — ma'lumotlarni qayta ishlash uchun
11	Dasturiy ta'minot to'plami — hisob-kitoblarni amalga oshiradi
12	Foydalanish rejimlarining λ , ρ , c , E_{nom} qiymatlarini o'rnatish uchun blok

2-jadval. O'lchov qurilmasining tarkibiy elementlari

Qurilmaning ishlash prinsipi: 1-o'lchov kartasida 5–30 kHz chastotali sinusoidal elektr signali hosil bo'ladi, u kuchaytirgich 2 da kuchaytiriladi, AE-92-4 ulanish bloki 3 ga, undan stator chulg'amiga 4 beriladi. Stator chulg'amida elektr signali akustik signalga aylantiriladi va H sinf izolyatsiya, o'tkazgich va stanina orqali ketma-ket o'tadi.

Akustik tebranishlar o'zgartirgich 5 tomonidan qabul qilinadi va elektr tebranishlariga aylanadi. Elektr tebranishlari kuchaytirgich 6 da kuchayadi va o'lchov kartasiga 1 kiritiladi. (1)–(3) formulalar bo'yicha elastiklikning dinamik moduli E' , yo'qotish moduli E'' va murakkab modul $|E^*|$ aniqlanadi.

4.5. Eksperimental ma'lumotlar va muhokama

AE-92-4 uch fazali asinxron elektr motorlarining issiqlik ta'sirida eskirish paytida vaqt funksiyasida har xil turdagi izolyatsiyaning elastik moduli E bo'yicha eksperimental ma'lumotlar olindi. Motor parametrlari: nominal quvvat 40 kVt, kuchlanish 380 V (yulduzcha, liniyal), nominal tok 90 A, izolyatsiya sinfi H



(+155°C, muhit +50°C da). Sinovlar izolyatsiya buzilishi kuzatilganga qadar o'tkazildi.

Elastiklik modulining izolyatsiyaning issiqlik ta'sirida eskirishi vaqtiga bog'liqligiga ko'ra modulning nominal qiymati aniqlanadi. Muayyan rejim uchun elastiklikning normallashtirilgan qiymati quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$E_{norm} = E_{nom} / E \quad (6)$$

Shu bilan birga, usulni amalga oshirishda asinxron elektr mashinaning ish rejimlari 130°C (H sinf nominal), 115°C va 90°C izolyatsiya haroratida qo'llaniladi (2-rasm).

Ish rejimi	Harorat (°C)	Izolyatsiya sinfi	Kutilgan xizmat muddati (soat)	τ_0	Qoldiq resurs τ_{nol} (soat)
1-rejim	130	H (+155°C)	20 000		$E_{norm} \leq 1,5$ chegarasiga qadar
2-rejim	115	H (+155°C)	35 000		$E_{norm} \leq 1,5$ chegarasiga qadar
3-rejim	90	H (+155°C)	80 000		$E_{norm} \leq 1,5$ chegarasiga qadar

3-jadval. AE-92-4 motori uchun turli ish rejimlari bo'yicha izolyatsiya resursi ko'rsatkichlari

5. XULOSA

1. AE-92-4 uch fazali asinxron elektr motorlari (40 kVt, 380 V, H sinfi) uchun akustik diagnostika usuli taklif etilgan. Usul izolyatsiyaning fizik-mexanik holatini, ya'ni elastiklik modulini bevosita o'lchash imkonini beradi.



2. Taklif etilgan o'lchov kompleksi AE-92-4 motorini ishlashdan to'xtatmasdan real vaqt rejimida diagnostika qilish imkoniyatini taqdim etadi, bu esa VL80 elektrovozlarining ekspluatatsiya samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

3. Izolyatsiyaning normallashtirilgan elastiklik moduli E_{norm} asosida turli ish rejimlari (90°C , 115°C , 130°C) uchun qoldiq resursni aniq prognozlash mumkin. H sinf izolyatsiyasi (qarshilik bo'yicha $+155^{\circ}\text{C}$) uchun kutilgan xizmat muddati 20 000–80 000 soatni tashkil etadi.

4. Eksperimental ma'lumotlar ko'rsatadiki, akustik usul izolyatsiya holatini kompleks baholashda yuqori aniqlik va ishonchlilikka ega bo'lib, o'rtacha o'lchov og'ishi $\pm 3,5\%$ ni tashkil etadi.

5. Kelajakda ushbu usulni sun'iy intellekt tizimlari bilan integratsiya qilish diagnostika va prognozlash aniqligini yanada oshirish imkonini beradi.

ADABIYOTLAR

- [1] Bychkov V.S. Elektrovozlar uchun yordamchi mashinalari. — Moskva: Transport, 1996. — 312 b. [AE-92-4 motor texnik ma'lumotnomasi, 4-jadval]
- [2] Tihmenev B.N., Trambitskiy L.A. Elektrovozy peremennogo toka so vspomogatel'nyimi mashinami. — Moskva: Transport, 1988. — 344 s.
- [3] Vdovin V.M. et al. Diagnostics of traction motors insulation. Moscow: Transport, 2018. 215 p.
- [4] Xamidov O.R. Fizik-mexanik ko'rsatkichlar asosida izolyatsiyani baholash usullari // TDTU Ilmiy Axborotnomasi. 2020. №3. B. 45–52.
- [5] Xamidov O.R., Mirzayev A.S. Tortuv elektr motorlarining ishonchligini oshirish // Texnika va texnologiyalar. 2019. №2. B. 33–41.
- [6] Petrov A.I. Quality assessment of insulation materials in repair processes. St. Petersburg: Energiya, 2017. 182 p.
- [7] Decner A., Baranski M., Jarek T., Berhausen S. Methods of Diagnosing the Insulation of Electric Machines Windings // Energies. 2022. Vol. 15, No. 22. P. 8465.
- [8] Grubic S. et al. A Survey on Testing and Monitoring Methods for Stator Insulation Systems // IEEE Trans. Ind. Electron. 2008. Vol. 55, No. 12. P. 4127–4136.



- [9] IEEE Std 43-2013: Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery. IEEE, 2013.
- [10] Achenbach J.D. Wave Propagation in Elastic Solids. North-Holland, Amsterdam, 1973.
- [11] Stone G.C. et al. Electrical Insulation for Rotating Machines. IEEE Press, 2004.
- [12] IEC 60034-18-31: Rotating electrical machines — Functional evaluation of insulation systems. IEC, 2012.
- [13] Brown M., Williams J. Acoustic emission testing of electrical insulation // NDT & E International. 2016. Vol. 45. P. 112–121.
- [14] Kino G.S. Acoustic Waves: Devices, Imaging and Analog Signal Processing. Prentice-Hall, 1987.
- [15] Melnikov P.P. Akustik usullar bilan materiallarni tekshirish. Moskva: Mashinasozlik, 2015. 340 b.