“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI” MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.10.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH

ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

XO‘JAYOROV FAZLIDDIN ESHDAVLATOVICH

35/6 kV LI ELEKTR TARMOQLARI SAMARADORLIGINI OSHIRISH VA ELEKTR ENERGIYA ISROFINI KAMAYTIRISH USULINI TAKOMILLASHTIRISH

05.05.07 - “Qishloq xo‘jaligida elektr texnologiyalar va elektr uskunalar”

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi AVTOREFERATI

Toshkent - 2026 yil

UO‘K 621.3:63(043)

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертация доктора философии (PhD) по техническим наукам

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

Xo‘jayorov Fazliddin Eshdavlatovich
35/6 kV li elektr tarmoqlari samaradorligini oshirish va elektr energiya isrofini kamaytirish usulini takomillashtirish..... 5

Хужаёров Фазлиддин Эшдавлатович
Совершенствование метода повышения эффективности электрических сетей 35/6 кВ и снижения потерь электрической энергии..... 23

Khojayorov Fazliddin Eshdavlatovich
Improvement of a method for increasing the efficiency of 35/6 kv rural electrical networks and reducing electrical energy losses …..... 45

E’lon qilingan ishlar ro‘yxati
Список опубликованных работ
List of published works 48

“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI” MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.10.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH

ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

XO‘JAYOROV FAZLIDDIN ESHDAVLATOVICH

35/6 kV LI ELEKTR TARMOQLARI SAMARADORLIGINI OSHIRISH VA ELEKTR ENERGIYA ISROFINI KAMAYTIRISH USULINI TAKOMILLASHTIRISH

05.05.07 - “Qishloq xo‘jaligida elektr texnologiyalar va elektr uskunalar”

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi AVTOREFERATI

Toshkent - 2026 yil

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.2.PhD/T3146 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus va ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tiiame.uz) va “ZiyoNet” Axborot ta’lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	**Isaqov Abdusaid Jalilovich** texnika fanlari doktori, professor
Rasmiy opponentlar:	**Muxammadiyev Ashraf Muxammadiyevch** texnika fanlari doktori, professor
	Raxmatov Abdug‘ani Djumabekovich texnika fanlari nomzodi, dotsent
Yetakchi tashkilot:	**O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi, Energetika muammolari instituti**

Dissertatsiya himoyasi “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.T.10.01 raqamli Ilmiy kengashning 2026 yil “___” _____ soat _____ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100000, Toshkent, Qori Niyoziy ko‘chasi, 39-uy. Tel.:(+99871) 237-09-45; faks: (+99871) 237-38-79, e-mail: admin@tiiame.uz).

Dissertatsiya bilan “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (_____- raqami bilan ro‘yxatga olingan) (100000, Toshkent, Qori Niyoziy ko‘chasi, 39-uy. Tel.: (+99871)237-09-45; faks: (+99871)237-38-79, e-mail: admin@tiiame.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil “____” _____ kuni tarqatildi.

(2026 yil “___”_____dagi _____raqamli reestr bayonnomasi).

B.S. Mirzayev
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi, t.f.d. professor

U.T. Quziyev
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash ilmiy kotibi, PhD, dotsent.

D.B. Qodirov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, t.f.d. professor.

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda elektr tarmoqlarida, shu jumladan qishloq hududidagi elektr tarmoqlarida elektr energiyasi istofini kamaytirish va tarmoqdan foydalanish samaradorligini oshirish imkonini beradigan usul va vositalarni joriy etish yetakchi o‘rinlardan birini egallamoqda. Dunyo miqyosida va O‘zbekistonda elektr energiyasiga bo‘lgan talabning ortib borayotganligini hisobga olsak, tarmoqlarning elektr o‘tkazuvchanligini oshirish va ularning barqaror ishlashini ta’minlash o‘z navbatida yangi texnologik yechimlarni amaliyotga joriy etishni taqozo etadi[1]. Shu jihatdan qishloq elektr tarmoqlarida texnologik isroflarni kamaytirish, tizim ishonchliligini oshirish hamda elektr energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish dolzarb masala bo‘lib, tarmoqlarni modernizatsiya qilish va ularning optimal konfiguratsiyasini shakllantirish energetika tizimining barqaror rivojlanishini ta’minlashda muhim hisoblanadi.

Jahonda energiya resurslarini tejash va energetik uskunalardan samarali foydalanish, elektr energiyasining behuda sarflanishini oldini olish, elektr energetika tizimlarini rivojlantirish, xususan, qishloq elektr tarmoqlari obyektlarining ekspluatatsiya samaradorligini oshirish va energiya isroflarini kamaytirish usullarini takomillashtirishga yo‘naltirilgan bir qator maqsadli ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, jumladan xalqaro standartlarga mos ravishda loyihalashtirilgan hamda energiya iste’molini boshqarishning zamonaviy tamoyillarini o‘zida mujassam etgan usul va vositalarni ishlab chiqish ustuvor vazifalardan biri hisoblanadi. Shu jihatdan 35/6 kV li qishloq elektr tarmoqlari samaradorligini oshirish va elektr energiya isrofini kamaytirish uchun neyron tarmoqlarini qo‘llab sun’iy intellekt asosida energiya ta’minoti va iste’molini boshqarishning yangi usulini ishlab chiqish, uning ishlash sxemasi va parametrlarini asoslash dolzarb hisoblanadi.

Respublikamizda aholi soni, turmush darajasi va ishlab chiqarish hajmlarining ortishi elektr energiyasiga bo‘lgan talabni oshirib, ishlab chiqarish hajmining 81,5 milliard kW·h dan 86,7 milliard kW·h ga yetishiga sabab bo‘ldi. Shu munosabat bilan elektr energetika tizimi va tarmoqlarini takomillashtirish, taqsimlovchi tarmoqlarda elektr energiyasi isroflarini kamaytirish bo‘yicha keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. O‘zbekiston Respublikasi energetika tizimini rivojlantirishning 2020-2030 yillarga mo‘ljallangan strategiyasida, jumladan, “…energetika tizimining barqaror va ishonchli faoliyatini ta’minlash, elektr energiyasi ishlab chiqarish quvvatlarini kengaytirish hamda ularni zamonaviy texnologiyalar asosida modernizatsiya qilish, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish ulushini oshirish va ularni jadal rivojlantirish, elektr tarmoqlarida texnologik hamda tijorat yo‘qotishlarini minimallashtirish, energiya samaradorligini oshirish, shuningdek, elektr energiyasi iste’molini zamonaviy raqamli texnologiyalar va intellektual boshqaruv tizimlari asosida boshqarish...”[2] bo‘yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarini amalga oshirishda,

[1]O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining qarori. PQ–113-son, 2022-yil 3-fevral. “Jahon banki ishtirokida “Elektr energetika sektorini transformatsiya qilish va barqaror elektr uzatish” loyihasini amalga oshirish hamda respublika magistral elektr tarmoqlari tizimini rivojlantirish va uning samaradorligini oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”.

[2] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni PF–166-son. 28-sentabr 2023-y. “Energetika sohasini isloh qilishning navbatdagi bosqichini amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” – Toshkent, 2023.

jumladan, energetika infratuzilmasini modernizatsiya qilish, resurslardan oqilona foydalanish hamda ishlab chiqarish va iste'mol jarayonlarida raqamli boshqaruv tizimlarini keng joriy etish bo‘yicha energiya samaradorligini oshirish va elektr energiya isroflarini minimallashtirishga qaratilgan texnologik yechimlarni ishlab chiqish ham dolzarb ahamiyatga ega bo‘lib, bu sohada zamonaviy avtomatlashtirilgan va intellektual tizimlarni tatbiq etish mazkur strategik yo‘nalishlar nafaqat energetika tizimining barqaror ishlashini ta'minlashga, balki iqtisodiyotning barcha tarmoqlarida raqamli transformatsiya jarayonlarini jadallashtirishda muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Mazkur dissertatsiya ishi O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 28 sentabrdagi PF-166-son "Energetika sohasini isloh qilishning navbatdagi bosqichini amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida"gi va 2025 yil 27 martdagi PF-63-son "Energiya samaradorligini oshirish sahasida davlat boshqaruvini takomillashtirish va energiya servis kompaniyalari xizmatlari bozorini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida" gi farmonlari hamda 2023 yil 16 fevraldagi PQ-57-son "Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora - tadbirlari to‘g‘risida", 2024 yil 17 yanvardagi PQ-28-son "Energetika bozorini rivojlantirish va tartibga solish agentligi faoliyatini tashkil etish chora-tadbirlari to‘g‘risida" gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy - huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo‘yicha tadqiqotlar fan va texnologiyalar rivojlanishining II "Energetika, energiya tejamkorlik va muqobil energiya manbalari" ustuvor yo‘nalishiga mos keladi.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Elektr energetika tizimlari, shaharlar, sanoat karxonalari va qishloq xo‘jaligi elektr tarmoqlarini ekspluatatsiya samaradorligini oshirish va elektr energiyasi isrofini kamaytirish usullarini takomillashtirish kabi yo‘nalishda ilmiy tadqiqotlar masalalari va muammolari bo‘yicha N.I.Cherkasova, A.V.Kabyeshev, I.A.Suvorova, B.E.Murmanskiy, A.M.Berxane, Yu.I.Xanin, V.E.Bolyeshev, B.E.Murmanskiy, G.M.Lebedev, A.V.Lanin, N.V.Mironov va boshqalar tomonidan tadqiqot ishlari olib borilgan. 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsiya samaradorligini oshirish va elektr energiyasi isrofini kamaytirish usulini takomillashtirish va raqamli egizak texnologiyalarini qo‘llash bo‘yicha tadqiqotlar A.R.Axmetshin, A.I.Troiskiy, M.V.Borodin, A.V.Shaluxo, V.M.Tarasov, V.S.Bogachev, Ye.V.Jilin, S.A.Shishkin, S.R.Chorshanbiev, V.Yu.Vukolov, M.Yu.Termeski, A.A.Baranov, B.Zinoviy, K.Andriy, L.Heorhiy, Y.Andriy, A.Alexander va W.Jorge va boshqalar tomonidan o‘tkazilgan.

Respublikamizda energetika va elektr tarmoqlarining ekspluatatsiya samaradorligini oshirish va elektr energiyasi isrofini kamaytirish usullarini ishlab chiqish va takomillashtirish bo‘yicha tadqiqotlar A.J.Isaqov, I.X.Siddiqov, X.F.Fazilov, T.X.Nasirov, T.Sh.Gayipov, R.A.Siddiqov, A.D.Taslimov, M.B.Xudayorov, F.M.Raximov, A.I.Turaev, B.M.Xusanov, A.F.Xayrullaev, M.V.Meliqo‘ziev, A.A.Yuldashev, B.S.Bobonazarov, A.G.Latipov va boshqalar tomonidan bajarilgan.

Mazkur tadqiqotlar natijasida 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsiya samaradorligini oshirish va elektr energiyasi isrofini kamaytirish

usulini takomillashtirish va raqamli egizak texnologiyalarini qo‘llash bilan bog‘liq bo‘lgan ilmiy muammolar yetarlicha o‘rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya ishi bajarilgan oliy ta’lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog’liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti №28/24 - sonli “Past kuchlanishli 6/0,4 kV kuchlanishli elektr tarmoqlarida elektr energiyasining sifat ko‘rsatkichlarini va ishonchliligini ta’minlash usuli va vositalarini ishlab chiqish” (2023 - 2025) hamda 29/24 - sonli “Past kuchlanishli 6/0,4 kV kuchlanishli elektr tarmoqlarida elektr energiyasi isroflarini kamaytirish usul va vositalarini ishlab chiqish” (2023 - 2025) mavzusidagi ilmiy-tadqiqot ishi doirasida bajarilgan.

Tadqiqot ishining maqsadi 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarida raqamli egizak submodullarini qo‘llash orqali samaradorlikni oshirish va elektr energiya isrofini kamaytirish usulini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqot ishining vazifalari:

qishloq elektr tarmoqlarining joriy ekspluatatsion holati va energiya samaradorligini oshirishga ta’sir etuvchi omillarni tadqiq etish;

sun’iy neyron texnologiyalari asosida qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsion parametrlarini hisoblash modeli, avtomatik hisob usuli va algoritmlarini ishlab chiqish;

6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqining ekspluatatsiya samaradorligini indikatorlar bo‘yicha klassifikatsiyalash asosida baholash, ogohlantirish usuli va algoritmini ishlab chiqish;

real vaqt rejimi monitoringi me’zonlarini ta’minlash asosida 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmog’ining raqamli egizagi veb asosli dasturiy ta’minot submodullari va algoritmlarini ishlab chiqish.

Tadqiqot obyekti sifatida elektr tarmoqlari korxonasining 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlari olingan.

Tadqiqot predmeti 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlari samaradorligini oshirish va elektr energiya isrofini kamaytirish usuli hisoblanadi.

Tadqiqot ishining usullari. Tadqiqot jarayonida matematik hisoblash qoidalari, nazariy elektrotexnika qonuniyatlari, statistik tahlil usullari, tizimli tahlil, qiyosiy tahlil, matematik modellashtirish usullari eksperimentlarni matematik rejalashtirish va elektr o‘lchash usullari hamda mavjud me’yoriy hujjatlarda belgilangan usullardan foydalanilgan.

Tadqiqot ishining ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

qishloq elektr tarmoqlarining samaradorligini oshirish va elektr energiyasi isroflarini kamaytirish imkonini beruvchi umumiy (kumulyativ) xarajatlar va texnik cheklovlarni hisobga olish usuli ishlab chiqilgan;

6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlaridagi elektr uzatish liniyalarining yuklanishi va ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini sun’iy neyron tamoq usullari asosida baholash hamda SAIDI va SAIFI koeffitsiyentlarini aniqlash algoritmi ishlab chiqilgan;

6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining samaradorlik ko‘rsatkichlarini indikatorlar bo‘yicha klassifikatsiyalash asosida baholash va ogohlantirish usuli hamda algoritmi ishlab chiqilgan;

qishloq elektr tarmoqlarining energiya samaradorligi ko‘rsatkichlarini monitoring qilishga mo‘ljallangan raqamli egizak modullari majmuasi shakllantirilgan hamda mantiqiy algoritm asosida elektr tarmog‘idagi jarayonlarni real vaqt rejimida kuzatish algoritmi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsion samaradorligini oshirish va elektr energiyasi isroflarini kamaytirish usullari aniqlangan;

6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining elektr uzatish liniyalari va transformatorlarining yuklanishlarini, shuningdek, ekspluatatsion ishonchlilik ko‘rsatkichlari – SAIDI va SAIFI qiymatlarini aniqlashga mo‘ljallangan dasturiy ta’minot moduli ishlab chiqilgan;

6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsion samaradorligini monitoring qilish uchun raqamli egizak dasturiy ta’minoti ishlab chiqilgan;

6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining elektr energiyasi iste’moli va ekspluatatsion holati bo‘yicha hisobotlarni shakllantirish hamda ma’lumotlarni avtomatik almashishni ta’minlovchi usul va algoritm ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishlonchliligi. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati qishloq elektr tarmoqlarining elektr energiyasini kamaytirish usullari (mezonli tahlil va dasturlash)ni amalda qo‘llash, elektr tarmoqlarini modellashtirish, parametrlarini tanlash tadqiqotlari va ularning ijobiy natijalari va amaliyotga joriy etilganligi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati tanlangan parametrlar va umumiy xarajatlarning matematik ifodalari, elektr tarmoqlarining elektr energiya isrofini kamaytirish usulini tuzish va hisoblash usulini ishlab chiqish bilan tavsiflanadi. Bu esa zamonaviy qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsiya samaradorligini oshirish va elektr energiya isrofini kamaytirish usullarini takomillashtirish yordamida chegalanishlarini hisobga olgan holda elektr tarmoqlari parametrlarini ilmiy jihatdan aniqlash mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati 6 kV kuchlanishli tarmoqlarda elektr energiyasi isrofini kamaytirish parametrlarini aniqlashning takomillashtirilgan usulidan foydalanish hamda ushbu tarmoqlarni boshqarish bo‘yicha ishlab chiqilgan ilmiy-texnik tavsiyalarning amaliyotga tatbiq etilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.

Qishloq elektr tarmoqlarining elektr energiya isrofini aniqlash bo‘yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

SAIDI va SAIFI koeffitsiyentlarini aniqlash hamda ekspluatatsion holatni real vaqt rejimida monitoring qilish imkonini beruvchi “Raqamli egizak” Qibray tuman elektr tarmoqlari korxonasida joriy etilgan. (O‘zbekiston Respublikasi hududiy elektr tarmoqlari 2024 -yil 30 - iyundagi №01 - 02 - 6/1160 - sonli ma’lumotnomasi). Natijada, elektr tarmoqlari bo‘yicha yuklamalarni qayta optimal taqsimlash orqali ekspluatatsiya samaradorligi 2,4 foizga oshirilib, yiliga 103,2 mln. so‘m iqtisodiy samaradorlikka erishish imkoniyati yaratilgan;

ekspluatatsion holatni tahlil qilish va avariya holatlarini bashorat qilish imkonini beruvchi submodul Qibray tuman elektr tarmoqlari korxonasida joriy

etilgan. (O‘zbekiston Respublikasi hududiy elektr tarmoqlari 2024-yil 30 - iyundagi №01 - 02 - 6/1160 - sonli ma’lumotnomasi). Natijada, elektr tarmoqlari bo‘yicha yuklamalarni qayta optimal taqsimlash orqali ekspluatatsiya samaradorligi 2,4 foizga oshirilib, yiliga 103,2 mln so‘m iqtisodiy samaradorlikka erishish imkoniyati yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 8 ta ilmiy-texnik konferensiyalarda, jumladan 4 ta xalqaro va 4 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida va Fargo’na davlat texnika universitetining “Energitika muhandisligi” fakulteti “Energitika muhandisligi” kafedrasida aprobatsiyadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 28 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan O‘zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya Komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarida 7 ta maqola, jumladan, 4 tasi respublika va 3 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan, shuningdek, scopus ma’lumotlar bazasiga kirgan jurnallarda 4 ta hamda 8 ta EHM dasturi uchun va 2 ta ma’lumotlar bazasi uchun guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to‘rtta bob, umumiy xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tadqiqotning dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan, maqsad va vazifalar, obyekti hamda predmeti yoritilgan, uning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatib o‘tilgan. Shuningdek, tadqiqot natijalarining ishonchliligi, ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati ochib berilgan, olingan natijalarning nazariy hamda amaliy qiymati bayon etilgan. Bundan tashqari, tadqiqot natijalarining amaliyotga tatbiq etilishi, ishning aprobatsiya jarayonlari, chop etilgan ilmiy ishlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“6 kV li qishloq elektr tarmoqlarining tahlili”** deb nomlangan birinchi bobida O‘zbekiston va jahonda qishloq elektr tarmoqlari, SAIDI va SAIFI ko‘rsatkichlari hamda energiya isroflari tahlil qilingan. Qibray tumani misolida transformator va havo liniyalaridagi texnik muammolar aniqlangan, qishloq hududlarida energiya samaradorligini oshirish uchun raqamli yechimlarni joriy etish zarurligi asoslangan.

Qibray podstansiyasidagi 4000 kVA quvvatli transformatorlar tahlili yuklamaning ko‘pincha 70-85% oralig‘ida ekanini ko‘rsatdi. FNN asosidagi bashoratga ko‘ra, yuklama 8 yildan so‘ng 0,8 koeffitsiyentdan oshishi, 12 yildan keyin esa kritik darajaga yetishi aniqlangan. Bu holat yuklamani qayta taqsimlash va raqamli egizak texnologiyasi orqali ekspluatatsiya samaradorligini oshirish zarurligini tasdiqlaydi.

Dissertatsiyaning “**6 kV li qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsion holatinining baholash, ishonchlilik parametrlarini aniqlash va elektr energiya isroflarini modellashtirish**” deb nomlangan ikkinchi bobida 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsion ishonchlilik parametrlarini

modellashtirish, elektr uzatish liniyalaridagi isroflarni hisoblash hamda qo‘shimcha energiya isroflarini sun’iy intellekt asosida baholash masalalari ko‘rib chiqilgan. Xalqaro (IEEE 1366) va milliy standartlar SAIDI va SAIFI ko‘rsatkichlarini nazorat qilishni talab etsada, ularni hisoblash uchun yagona aniq matematik model mavjud emasligi ushbu yo‘nalishda modellashtirish zarurligini asoslaydi.

Tadqiqot obyektida zaxira tarmoq mavjud emasligi sababli rejalashtirilgan uzilishlar (havo va kabel liniyalarini ta’mirlash, transformatorlarni texnik ko‘rikdan o‘tkazish, kommutatsion qurilmalar ishlari) vaqtida iste’molchilarning to‘liq uzilishi kuzatilib, ular asosan 9:00 - 17:00 oralig‘ida sodir bo‘ladi. Avariya uzilishlari esa tabiiy ofatlar, uskunalar nosozligi, ortiqcha yuklama, inson omili hamda daraxt va hayvonlar ta’siri natijasida yuzaga kelib, eng yuqori uzilish darajasi Qipchoq fiderida qayd etilgan.

SAIFI normal holatda har bir iste’molchining belgilangan vaqt oralig‘ida uzilishlar sonini ifodalaydi va quyidagicha aniqlanadi:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ca(i)}{C_s} \tag{1}$$

bunda *Ca(i)* - kalendar yil davomida energiya ta’minoti tashkilotining elektr ta’minoti tizimidagi uzilgan iste’molchilar soni; C_s - iste’molchilarning umumiy soni.

SAIDI elektr ta’minoti tizimning normal holatda har bir iste’molchining belgilangan vaqtdagi o‘chishlarni soatdagi ifodasidir va quyidagicha aniqlanadi:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ca(i) \times t(i)}{C_S} \tag{2}$$

bunda *t(i)* - elektr ta’minotidagi uzilishning davomiyligi, soat; *Ca(i)* - kalendar yil davomida energiya ta’minoti tashkilotining elektr ta’minoti tizimidagi uzilgan iste’molchilar soni; *Cs* - elektr ta’minoti tizimidagi iste’molchilarning umumiy soni.

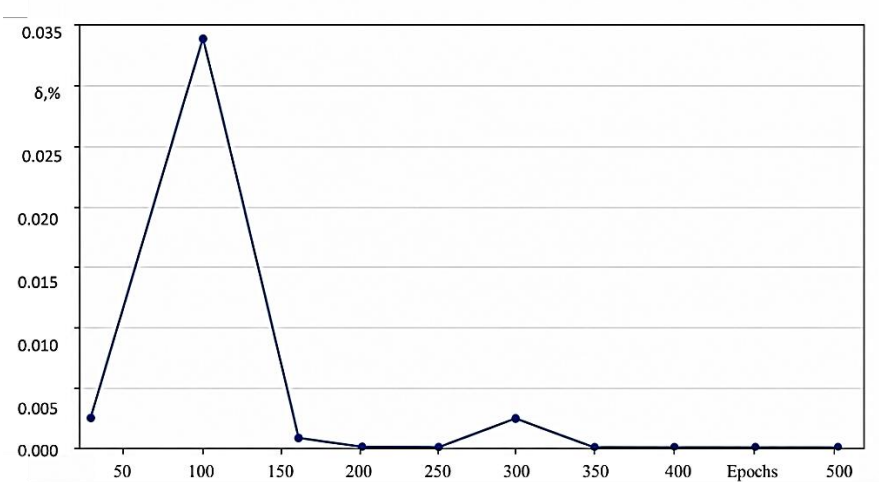
Rejalashtirilgan o‘chishlar oldindan belgilangan reja asosida amalga oshiriladi va ularni samarali tashkil etish hamda tartibga solishda raqamli egizak texnologiyasidan foydalanish muhim ahamiyatga ega. Rejasiz o‘chishlar esa oldindan aniq belgilab bo‘lmaydigan jarayonlar bo‘lib, ularni nazorat qilish, yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan uzilishlarni bashoratlash va ularning oqibatlarini kamaytirishda SAIDI hamda SAIFI ko‘rsatkichlarini modellashtirish muhim rol o‘ynaydi. Ushbu yondashuv elektr ta’minotidagi uzilishlarni tahlil qilish, ehtimoliy muammolarni oldindan aniqlash va ularni o‘z vaqtida bartaraf etish imkonini yaratadi.

Ushbu jarayonlarni bashoratlash uchun FNN neyron tarmog‘i qo‘llaniladi. Model qatlamlari bo‘yicha axborotning uzatilishi va yakuniy chiqish qiymatlari quyidagi formulalar asosida ifodalanadi:

Birinchi yashirin qatlam: $a_{\mathrm{i}}{}^{1} = W_{\mathrm{i}}{}^{1} \cdot x + b_{\mathrm{i}}{}^{1}$

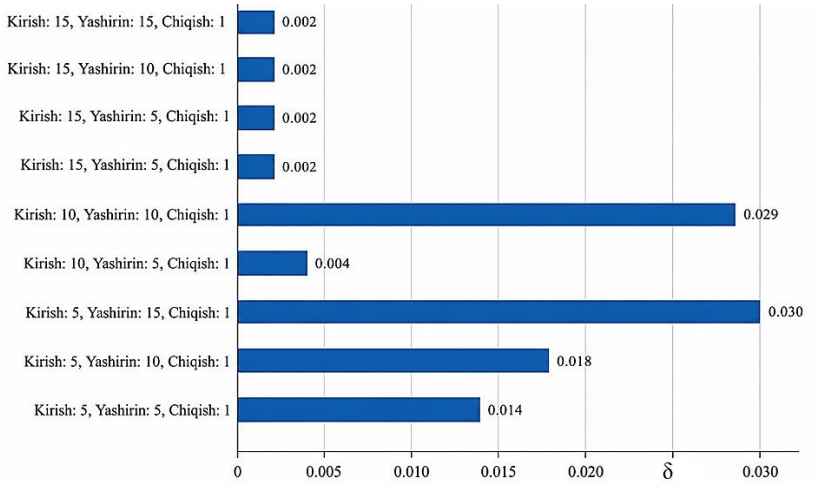
Ikkinchi yashirin qatlam: $a_{\mathrm{j}}{}^{2} = \Sigma\, W_{\mathrm{ji}}{}^{2} \cdot a_{\mathrm{i}}{}^{1} + b_{\mathrm{j}}{}^{2}$

Yakuniy chiqish: $a_{\mathrm{k}}{}^{3} = \Sigma\, W_{\mathrm{kj}}{}^{3} \cdot a_{\mathrm{j}}{}^{2} + b_{\mathrm{k}}{}^{3}$



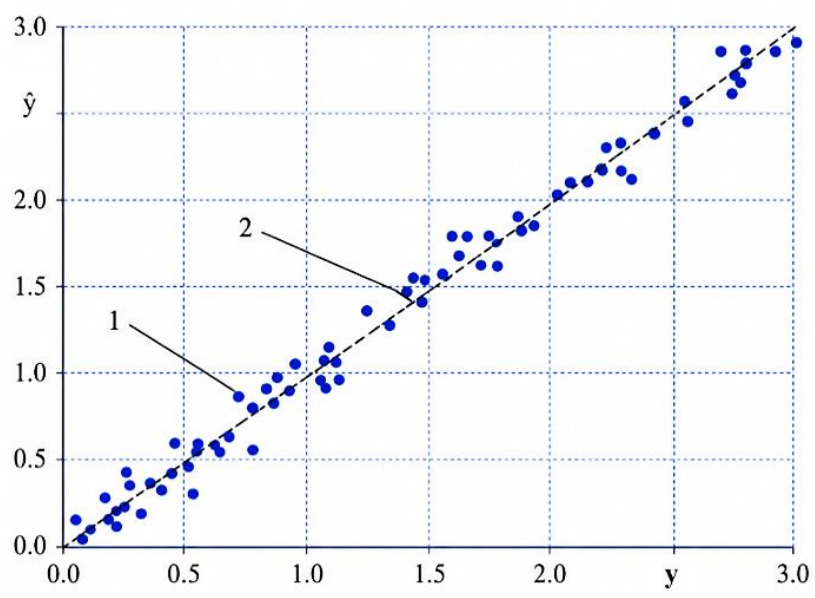
1 - rasm. Epoch parametrining optimal qiymatini aniqlash bo‘yicha laboratoriya tadqiqoti natijalari

1 - rasmdagi grafik ma’lumotlar dinamikasida 100 atrofida keskin maksimal pik, so‘ngra nolga yaqin pasayish va barqarorlik kuzatilgan. 300 atrofida kichik ikkilamchi tebranish aniqlangan bo‘lsada, u umumiy trendga ta’sir qilmaydi. Xulosa qilib aytganda, grafik bitta dominant ekstremum va past darajadagi barqaror tebranishlar bilan xarakterlanadi.



2 - rasm. Kirish, yashirin va chiqish qatlamidagi neyronlar qiymatlarini aniqlash laboratoriyasi natijasi

2-rasmda model kirish parametrlarining turli kombinatsiyalari bashoratlash aniqligiga ta’siri xatolik ko‘rsatkichlari asosida tahlil qilingan. Natijalar xatolik qiymatlari kombinatsiyalarga qarab sezilarli farqlanishini ko‘rsatadi: ayrim holatlarda u 0,03 gacha yetgan bo‘lsa, boshqalarida 0,005–0,015 oralig‘ida saqlangan. Bu esa kirish parametrlarining tanlanishi va o‘zaro kombinatsiyasi model samaradorligiga bevosita ta’sir qilishini anglatadi. Xatolikning pastligi bashoratlash aniqligi yuqoriligini ko‘rsatadi. Shu bois, parametrlar kombinatsiyasini baholash optimal konfiguratsiyani aniqlash, xatolikni kamaytirish va model ishonchliligini oshirishda muhim ahamiyatga ega.



1. Treningdagi real va bashorat qilingan natija; 2. Mukammal mos kelish

3 - rasm. Epoch va kirish, yashirin va chiqish qatlamidagi neyronlar qiymatlarining optimal qiymatini aniqlash laboratoriyasi natijasi hamda o‘qish va test model va fakt qiymatlari regression tahlili

3 - rasmdagi scatter plot kuzatuv qiymatlarining chiziqli regressiya bo‘ylab taqsimlanganini va o‘zgaruvchilar o‘rtasidagi kuchli ijobiy korrelyatsiyani ko‘rsatadi. Regressiya chizig‘idan og‘ish va dispersiya minimal bo‘lib, bu modelning yuqori aniqligi hamda bashoratlash xatoligining kichikligini tasdiqlaydi.

Korrelyatsiya koeffitsiyenti o‘qish va test qiymatlari uchun mos ravishda 0,9943 va 0,9965 ekanligi model natijasidan foydalanish mumkin ekanligini xarakterlaydi. Ushbu model natijasida olingan keyingi 5 yillik SAIDI va SAIFI qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan.

1 - jadval.

SAIDI va SAIFI larni aniqlash FNN modeli natijasida olingan 5 yillik ko‘rsatkichlari

№	Yil	SAIDI	SAIFI
1	2025	13,902	18,520
2	2026	14,191	18,780
3	2027	14,481	19,041
4	2028	14,770	19,301

1 - jadvaldagi FNN modeli natijalari kelgusi yillarda SAIDI va SAIFI ko‘rsatkichlari ortishini ko‘rsatmoqda. Ekspluatatsiya holatini ushbu koeffitsiyentlar orqali baholash ko‘p vaqt talab etganligi sababli, energiya isroflarini modellashtirish orqali samaradorlikni aniqlash zarur. Isroflarning ortishi qurilmalarning texnik holatini yomonlashtirib, xizmat muddatini qisqartiradi.

Energiya isroflari har bir bosqich (podstansiya, liniya, transformator) uchun alohida aniqlanib, umumiy isrof energiya balansi va quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$\Delta W = W_n - W_{n+1} \quad (3)$$

Keyingi bosqichda hisobiy elektr energiya isroflari maxsus formulalar yordamida aniqlanadi. So‘nggi bosqichda esa balans tuzilib, qo‘shimcha isroflar quyidagicha topiladi:

$$\Delta W_h = \Delta W - W_h \quad (4)$$

bunda ΔW_h - hisobiy usul bilan topilgan energiya isrofi. Hisoblash 35/6 kV podstansiyaning bir chiziqli sxemasi asosida transformatorlar, uzatish liniyalari, kommutatsion apparatlar va himoya qurilmalari bo‘yicha amalga oshiriladi.

Ma’lumki, podstansiyadagi asosiy elektr energiya isroflari bosh pasaytiruvchi transformatorlarda hosil bo‘ladi. Shuning uchun yillik energiya isrofi quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta W_{\text{пс}} = \sum n_i \cdot P_1 \cdot \text{T}_i + \sum(\frac{1}{n} \cdot k_2^2 \cdot P_2' \cdot T_i + \frac{1}{n} \cdot k_3^2 \cdot P_3' \cdot T_i) \quad (5)$$

bunda n - elementlar soni, P_1- salt ishlash rejimidagi quvvat sarfi, T - ishlash vaqti, k - yuklanish koeffitsiyenti (2 - yuqori kuchlanishda, 3-past kuchlanishda), P_3' - qisqa tutashuv rejimida quvvat sarfi.

Havo elektr uzatish liniyalaridagi umumiy yillik elektr energiya isroflari quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta W_{\text{хл}} = \frac{P_0^2+Q_0^2}{10^3 \cdot U_0^2} \cdot r_o \cdot L + \Delta P_0 \cdot L \cdot \text{T} \quad (6)$$

bunda L - havo liniyalarining uzunligi, r_o - havo liniyalarining solishtirma aktiv qarshiligi, P_0 va P_0, T - vaqt oralig‘ida oqib o‘tayotgan aktiv va reaktiv quvvat (hisoblashlarda vaqt oralig‘i 0,5 soat deb qabul qilinadi), U_0 - tarmoqning o‘rtacha kuchlanishi, ΔP_0 - izolyatordagi quvvat isrofi.

6/0,4 kV kuchlanishli transformatorlarda elektr energiya isroflari ularning pasport ma’lumotlari (turi, quvvati, salt va qisqa tutashuv isroflari), ishlash vaqti hamda yuklama grafiklaridagi tok qiymatlari (o‘rtacha va maksimal) asosida quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Delta W = \Delta P_0 t + \Delta P_1 \tau^2 \text{к}_2^2 \quad (7)$$

bunda ΔP_0 - izolyatordagi quvvat isrofi, t - transformatorning ishlash vaqti soatlari soni, ΔP1 - nominal yuklama rejimidagi quvvat isrofi, τ - maksimal isroflar vaqti, к_2^2 - yuklama koeffitsiyenti.

Tadqiqot obyektining mavjud texnik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlari hamda berilgan boshlang‘ich ma’lumotlari asosida elektr ta’minoti tizimida yuzaga keladigan qo‘shimcha elektr energiyasi isroflarini aniqlash metodikasi ishlab chiqiladi. Bunda

oldingi kichik boblarda keltirilgan hisoblash usullari asosida elektr energiyasi isroflarining tegishli tarkibiy qismlari aniqlanib, ularning qiymatlari o‘zaro taqqoslanadi. Hisoblash natijalarini tadqiqot obyektida qayd etilgan yoki hisobiy yo‘l bilan aniqlangan umumiy elektr energiyasi isroflari bilan solishtirish orqali qo‘shimcha isroflarning miqdoriy qiymati baholanadi. Hisoblash natijalari 2 - jadvalda keltirilgan.

2 - jadval

Tadqiqot obyektining elektr energiya isroflarini aniqlash

№	Yil	Umumiy EE mln. kW·h	Hisobiy EE isroflari mln. kW·h	Qo‘shimcha EE mln. kW·h
1	2022	9,92	2,24	7,98
2	2023	10,45		8,21
3	2024	9,35		7,11

2 - jadvalda keltirilgan natijalar qo‘shimcha isroflarning hisobiy isroflarga nisbatan ko‘p ekanligi, elektr energiya isroflarini aniqlashda tashqi omillarni e’tiborga olib elektr energiya isroflarini modellashtirish lozim ekanligini ko‘rsatadi. Shu sababli qo‘shimcha elektr energiya isroflarini e’tiborga olib elektr energiya isroflarini modellashtirish amalga oshirildi.

Hisobiy yo‘l bilan aniqlanadigan elektr energiya isroflarini kamaytirish yuqori qiymatli nuqtalarda liniya yoki transformatorlarni modernizatsiya qilish orqali amalga oshiriladi. Tashqi ta’sirlarni, jumladan harorat, namlik va ortiqcha yuklamani baholash uchun korrelyatsion tahlil qo‘llanilib, bu jarayonda Pearson korrelyatsiyasi ishlatildi. U ikki ko‘rsatkich o‘rtasidagi bog‘liqlikni baholash imkonini berib, tanlangan parametrlar - ortiqcha yuklanish koeffitsiyenti, harorat qiymatlari, havo namligi hamda qorli va yomg‘irli kunlar asosida hisoblandi. Natijalar 3-jadvalda keltirilib, ahamiyatlilik darajasi Fisher kriteriyasi orqali tekshirildi va 1,96 dan yuqori bo‘lgan qiymatlar muhim deb qabul qilindi.

3 - jadval

Elektr energiya isroflariga ta’sir etuvchi faktorlarning korrelyatsion tahlili

№	Ta’sir qiluvchi faktorlar	Qo‘shimcha EE nisbatan korrelatsiya koeffitsiyenti	Z	Ahamiyatlilik indikatori
1	**к**	0,72	2,72	TRUE
2	t_{max}	-0,61	-2,12	TRUE
3	t_{min}	-0,33	-1,02	FALSE
4	t	-0,57	-1,94	FALSE
5	φ	0,51	1,68	FALSE
6	n_1	0,57	1,94	FALSE
7	n_2	0,68	2,48	TRUE

3 - jadvalda korrelyatsion tahlil natijalari asosida ajratib olingan birlamchi ma’lumotlar asosida sun’iy intellektning ko‘p qatlamli neyron tarmoqlar

(Multilayer Perceptron - MLP) usuli yordamida elektr energiya isroflarini aniqlashning modeli ishlab chiqilgan.

4-jadvalda keltirilgan korrelyatsiya tahlili natijalaridan olingan birlamchi ma’lumotlar asosida, Ko‘p qatlamli Perceptron (bundan keyin MLP) sun’iy intellekt usuli yordamida elektr energiyasi isroflarini aniqlash modeli ishlab chiqildi. Sun’iy intellektga asoslangan ko‘p qatlamli dasturlash (MLP) asosidagi quvvat yo‘qotishlarini aniqlash modelining optimal parametrlari keltirilgan. Modelda faollashtirish funksiyasi sifatida ReLU, orqaga qarash qiymati 3, kirish qatlami 9 ta neyron, yashirin qatlamlar mos ravishda 9 va 30 ta neyron, o‘qitish jarayoni esa 103 ta epoch etib belgilangan. Mazkur parametrlar modelning elektr tarmog‘idagi quvvat yo‘qotishlarini aniqlash va bashoratlash jarayonida maqbul natijalarga erishishini ta’minlovchi optimal konfiguratsiyani ifodalaydi.

4-jadval

Sun’iy neyronga asoslangan ko‘p qatlamli dasturlash (MLP) asosidagi quvvat yo‘qotishlarini aniqlash modeli

№	Giperparametrlar	Qiymat
1	Activation (Faollashtirish)	ReLU
2	look_back (orqaga qarash)	3
3	Input layer neurons (Kirish qatlami neyronlari)	9
4	1st layer neurons of hidden layer (Yashirin qatlamning 1-qavat neyronlari)	9
5	2nd layer neurons of hidden layer (Yashirin qatlamning 2-qavat neyronlari)	30
6	Epoch (o‘qitish)	103

Tanlangan neyronlar va epoch qiymatlari bo‘yicha xatolikning juda kichikligi (0,003 va 0,002) elektr isroflarini aniqlashda MLP modelining adekvatligini hamda raqamli egizakda qo‘llanilishini tasdiqlaydi. Ushbu tarmoq asosida 2024 - 2026 - yillar uchun hisoblangan energiya isroflari bashorati 5-jadvalda keltirilgan.

5 - jadval

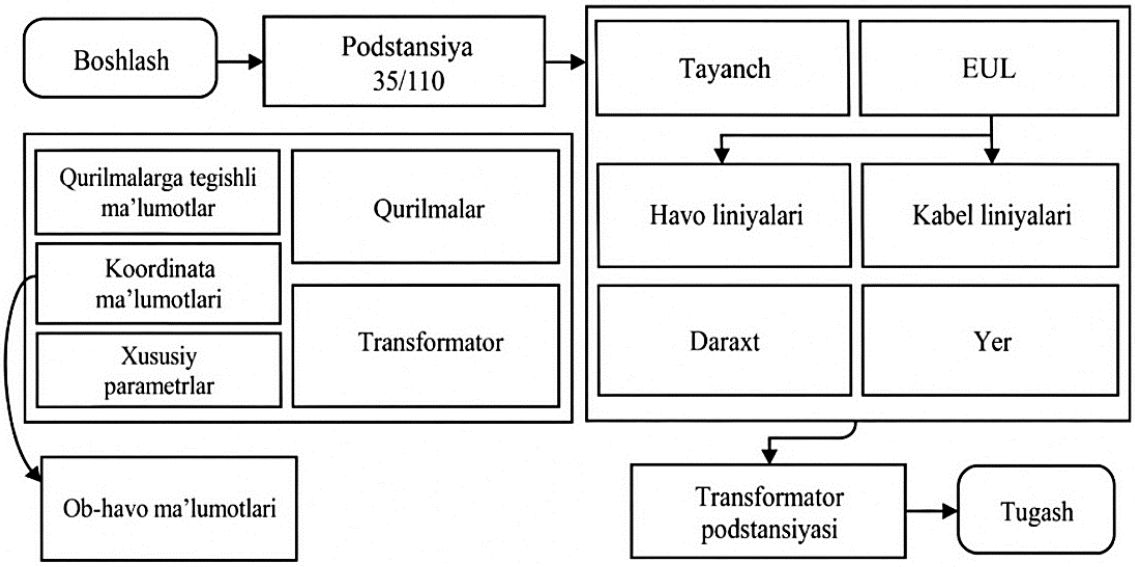
Elektr energiya isroflari

№	Yil	Umumiy EE isroflari mln.kW·h	Hisobiy EE isroflari mln.kW·h	Qo‘shimcha EE isroflari mln.kW·h	Umumiy EE iste’moliga nisbatan ulushi
1	2024	10,38	2,24	8,14	15,4%
2	2025	10,52		8,28	15,7%
3	2026	11,27		9,03	16,1%

Keyingi uch yilda energiya isroflari 10,38 dan 11,27 mln kW·h gacha, qo‘shimcha yo‘qotishlar esa 8,14 dan 9,03 mln kW·h gacha ortib, umumiy iste’moldagi ulushi 16,1% ga yetgan. Ushbu o‘sish tarmoqdagi texnik muammolar

va past samaradorlikdan dalolat beradi. Mazkur holatni bartaraf etish va monitoringni avtomatlashtirish uchun 6 kV kuchlanishli tarmoqlarda raqamli egizak texnologiyasini joriy etish zarur.

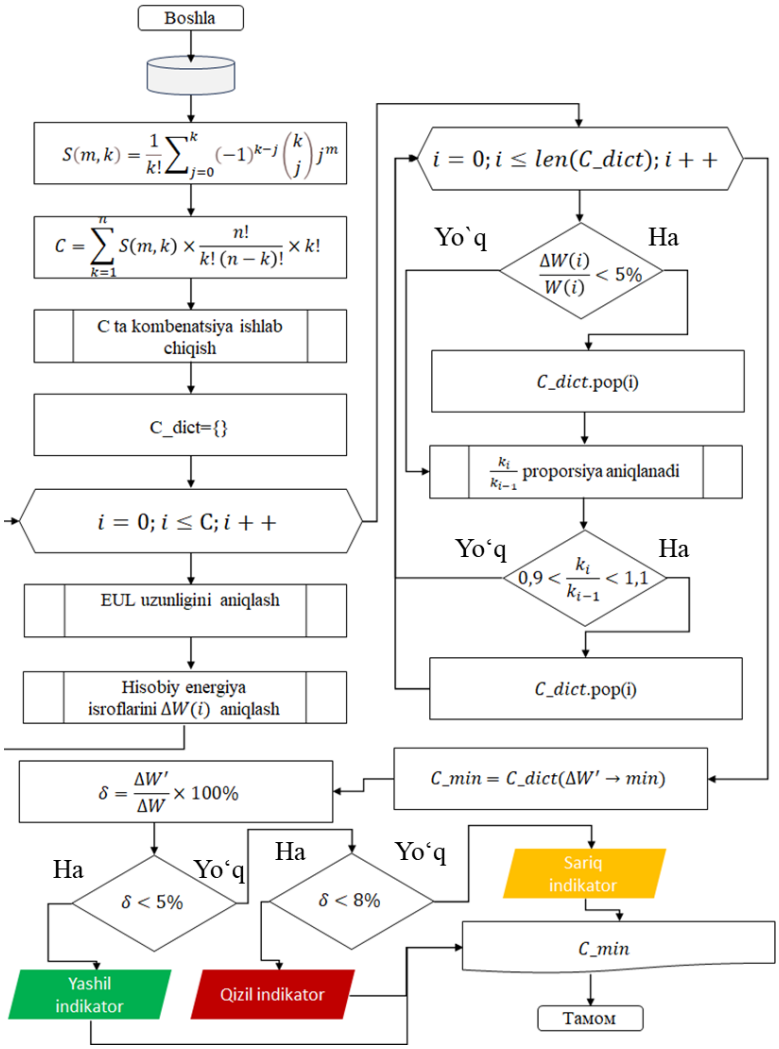
Dissertatsiyaning **“6 kv kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining raqamli egizag texnologiyasi asosida tarkibiy modellarini shakllantirish va ishlab chiqish”** deb nomlangan uchinchi bobida 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining texnik holatini monitoring qilish, ish rejimlarini tahlil etish, nosozliklarni bashoratlash va elektr ta’minoti ishonchliligini oshirishga yo‘naltirilgan raqamli egizakning tarkibiy modellari ishlab chiqilgan. Mazkur model doirasida transformator podstansiyalari, 6 kV kuchlanishli elektr uzatish liniyalari, yuklama va elektr energiyasi sifati ko‘rsatkichlari hamda ob-havo ma’lumotlarini yagona axborot muhitida birlashtiruvchi ma’lumotlar bazasi shakllantirilgan, shuningdek, tarmoq elementlarini klassifikatsiya qilish va texnik holatini baholash tizimi taklif etilgan. Raqamli egizakning real vaqt rejimida ma’lumotlarni yig‘ish va qayta ishlash imkoniyati tarmoqning joriy holatini kuzatish, yuklamalar dinamikasini tahlil qilish, me’yoriy chetlanishlarni aniqlash hamda ehtimoliy avariya holatlarini virtual muhitda modellashtirish imkonini beradi. Transformator va liniyalarning texnik holati, yuklama darajasi, ekspluatatsion ma’lumotlar va ob-havo omillarining o‘zaro bog‘liqligini hisobga olish orqali nosozliklar va avariya ehtimolini oldindan baholash hamda profilaktik texnik xizmat ko‘rsatishni rejalashtirish mumkin. Taklif etilgan raqamli egizak modeli SAIDI va SAIFI ko‘rsatkichlarini yaxshilash, elektr ta’minotidagi uzilishlar davomiyligi va chastotasini kamaytirish hamda tarmoqdagi energiya isroflarini minimallashtirishga xizmat qiladi. Shuningdek, yuklamaning o‘zgarishi, tarmoq elementlarining ishdan chiqishi, ob-havo sharoitlari va elektr ta’minoti sxemasining qayta konfiguratsiyasi kabi ssenariylarni modellashtirish orqali optimal ish rejimini tanlash va asoslangan boshqaruv qarorlarini qabul qilish imkoniyati yaratiladi. Natijada ishlab chiqilgan raqamli egizak 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining ishonchliligi, energiya samaradorligi va xizmat ko‘rsatish sifatini oshirishga imkon beradi.



4 - rasm. Ma’lumotlar bazasining ishlash mantiqiy blok-sxemasi.

4 - rasmdagi blok sxemaga asosan qora to‘rtburchakda berilgan uskunalar alohida holatda qo‘llaniladi. Ko‘k rang bilan berilgan uskunalar faqatgina qora chegara tarkibiga birika oladi, ya’ni alohida qo‘llash imkoniyati mavjud emas. Yashil rangda belgilangan uskunalar esa barcha boshqa uskunalar bilan birikib, ular to‘g‘risidagi ma’lumotlarni taqdim etadi. O‘z navbatida koordinata ma’lumotlari ob-havo ma’lumotlari bilan birikib, har bir qurilma joylashgan o‘rniga nisbatan ob-havo ma’lumotlari taqdim etiladi.

6 kV li elektr tarmoqlarini indikatorlarga klassifikatsiya qilish orqali baholash masalalari yoritilgan. Ushbu usul tizimning ishonchliligi, samaradorligi va iqtisodiy foydaliligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. To‘g‘ri baholash orqali energiya resurslari tejaladi, qurilmalarning xizmat muddati uzayadi va avariyalar kamayadi. Tizim baholash jarayonida yuklamalar xususiyati, manba ishonchliligi hamda texnik parametrlar inobatga olinadi. Notog‘ri tanlangan sxema ortiqcha energiya isroflariga va texnik muammolarga olib kelishi mumkinligi ta’kidlanadi. Qishloq elektr ta’minotida odatda radiyal va magistral sxemalar qo‘llanilib, ular afzalliklari va qo‘llash sharoitlariga ko‘ra farqlanadi. Optimal sxemani tanlash loyihalash, yangilash yoki mavjud sxemani baholash usullari asosida amalga oshiriladi va bu jarayon maxsus algoritm yordamida olib boriladi.



5 - rasm. Elektr ta’minoti tizimini indikatorlarga klassifikatsiya qilish orqali baholash

5 - rasmdagi algoritmga ko‘ra dastlab, fiderlar soni n va transformatorlar soni m ma’lumotlar bazasidan qabul qilinib, barcha hisoblanishi kerak bo‘lgan barcha sxemalar soni quyidagicha hisoblanadi:

$$C = \sum_{k=1}^{n} S(m,k) \times \frac{n!}{k!(n-k)!} \times k! \quad (8)$$

bunda S **(**m,k**)** Stirling soni bo‘lib, quyidagicha hisoblanadi:

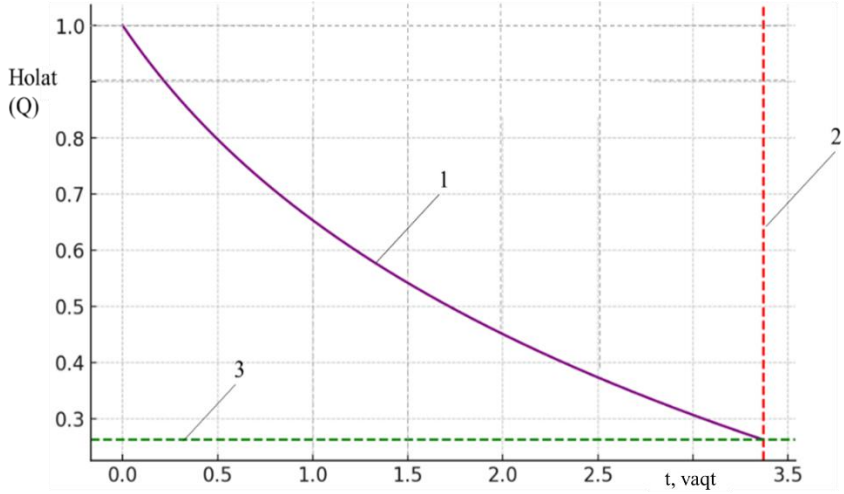
$$S(m,k) = \frac{1}{k!}\sum_{j=0}^{k}(-1)^{k-j}\binom{k}{j}j^m \quad (9)$$

(8) ni e’tiborga olgan holda (9) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$C = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{k!}\sum_{j=0}^{k}(-1)^{k-j}\binom{k}{j}j^m \times \frac{n!}{k!(n-k)!} \times k! \quad (10)$$

bunda, $k = 1..n, j = 1..k$.

Ta’minot sxemalari masofasi Haversin formulasi bilan, yuklama muvozanati esa IEC standartlari (5% gacha chegara) asosida tahlil qilinib, natijalar indikatorlarda qiyoslanadi. Tashqi ta’sir nazoratida yacheykalar, EUL va daraxtlar ta’siri logarifmik modelda baholanadi: yacheykalar holati kompleks monitoring orqali (3 - yildan so‘ng qizil indikator), EUL esa liniya uzunligi va muftalar soni bo‘yicha nazorat qilinadi.



1. Holatning logarifimik pasayishi; 2. Joriy sana: t = 3,5 yil; 3. Holat t = 3,5 yil

6 - rasm. Tok transformatori holatining logarifmik pasayish grafigi

6 - rasmda transformatorning boshlang‘ich holati ideal $Q_0 = 1$ deb olinib, vaqt o‘tishi bilan Q(t) ko‘rsatkichi logarifmik pasayishi ko‘rsatilgan. 2025-yil avgust holatiga ko‘ra t = 3,37 yil, transformator holati 0,3 gacha yomonlashgan, shu sababli joriy holat qizil indikator bilan baholanmoqda.

Tashqi ta’sir nazorati yo‘nalishida EUL (muftalar soni va uzunlik asosida) hamda daraxtlarning o‘sishi logarifmik model va indikatorlar (yashil, sariq, qizil) orqali tahlil qilinadi. 6 kV kuchlanishli tarmoqlarda raqamli egizak submodullari xavfni bashorat qilib, mutaxassislarni ogohlantiradi; bu esa profilaktik tadbirlarni (moy

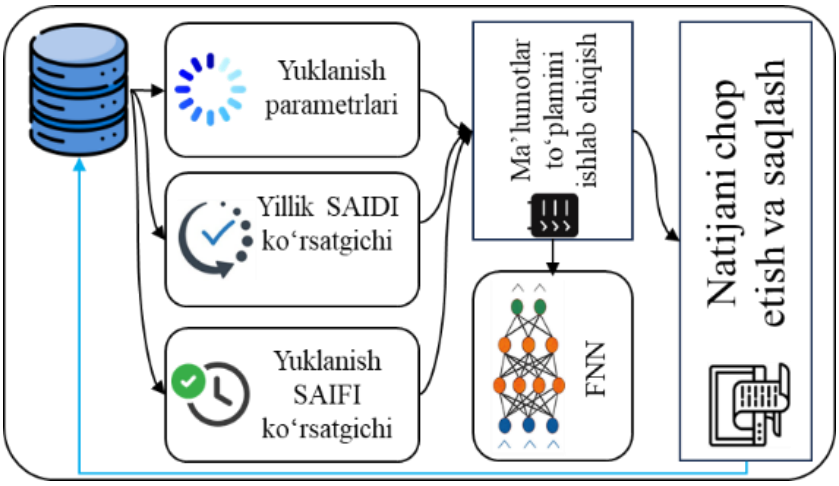
almashtirish, muftalarni yangilash, daraxt kesish) o‘z vaqtida bajarish orqali avariyalar sonini kamaytirib, energiya samaradorligi va iqtisodiy barqarorlikni oshiradi.

Dissertatsiyaning **“6 kV li qishloq elektr tarmoqlari raqamli egizagi va tadqiqot ishini qo‘llashdan olinadigan yillik iqtisodiy samarani hisoblash”** deb nomlangan to‘rtinchi bobida 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlari raqamli egizagining metodologiyasi va modulli strukturasi ishlab chiqilib, texnik-iqtisodiy samaradorlikka erishildi. Tizim tarkibiga avtorizatsiya, ekspluatatsiya (statik, dinamik va tashqi ta’sir nazorati) hamda baholash modullari kiritilgan. Ushbu modullar yuklama va SAIDI va SAIFI ko‘rsatkichlarini hisoblash, sun’iy intellekt yordamida bashoratlash va optimal tarmoq sxemasini tanlash imkonini beradi. Natijada, raqamli egizak monitoringni avtomatlashtirish, xavflarni oldindan aniqlash va tarmoqning iqtisodiy barqarorligini oshirishni ta’minlaydi.

Tarmoq ekspluatatsiya holati uni bajaradigan amallariga ko‘ra uch guruhga bo‘lingan holda tashkil etilgan:

Statik holat tahlillari submoduli; Dinamik holat tahlillari submoduli; Tashqi ta’sir nazorati submoduli.

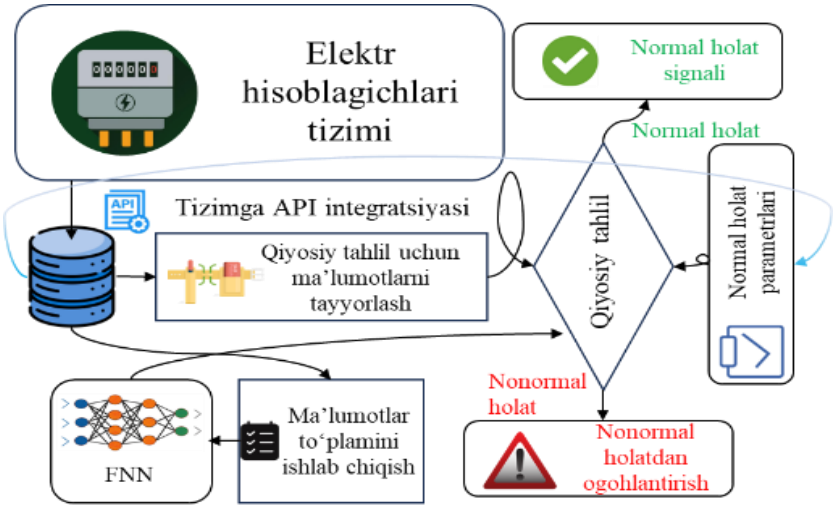
Statik holat tahlili submoduli 6 kV kuchlanishli qishloq tarmoqlarining o‘tgan, joriy va bashorat holatlarini tahlil qiladi: bazadagi yuklama, SAIDI va SAIFI ko‘rsatkichlari FNN neyron tarmog‘ida bashoratlanib, natijalar bir vaqtda chop etiladi hamda saqlanadi.



7 - rasm. Tarmoq ekspluatatsiya holati modulining statik holat tahlillari submodulining ishlash tamoyili

Dinamik holat tahlili submoduli elektr tarmog‘ining oniy parametrlarini real vaqt rejimida monitoring qilish, me’yoriy qiymatlardan og‘ishlarni aniqlash va kelgusi holatini baholashga xizmat qiladi. To‘plangan ma’lumotlar asosida FNN (Feedforward Neural Network) yordamida tarmoqning keyingi 10 soatlik ish holati va asosiy parametrlarining qiymatlari bashorat qilinadi. Prognoz natijalari me’yoriy parametrlar bilan taqqoslanib, ehtimoliy chetlanishlar va nosozliklar aniqlanadi. Mazkur jarayon o‘lchangan va bashorat qilingan kuchlanish qiymatlari nominal qiymatga nisbatan ruxsat etilgan og‘ish chegaralari bilan solishtiriladi. Qiymatlar belgilangan chegaralarda bo‘lsa, tarmoqning normal ish holati kutiladi, aks holda ish rejimi buzilishi yoki elektr ta’minoti sifati pasayishi mumkin. Shu tariqa, submodul

tarmoq holatini oldindan baholash, nosozliklarni aniqlash va avariyalarning oldini olish imkonini beradi.



8 - rasm. Tarmoq ekspluatatsiya holati modulining dinamik holat tahlillari submodulining ishlash tamoyili

Joriy kuchlanish qiymati U_i ham, bashorat kuchlanish qiymati U_j U_0 normal kuchlanish qiymatiga ko‘ra quyidagicha taqqoslanadi:

$$\delta U_i = \left|\frac{U_0 - U_i}{U_0}\right| \cdot 100\% \quad (12)$$

$$\delta U_j = \left|\frac{U_0 - U_j}{U_0}\right| \cdot 100\% \quad (13)$$

Statik va dinamik submodul natijalari interfeysda indikatorlar orqali aks etib, tarmoqni tahlil qilish va ogohlantirishga xizmat qiladi. Uzilishlar va uskunalar eskirishi kabi omillar ekspluatatsiya samaradorligini pasaytirsa, energiya isroflari hamda SAIDI va SAIFI ko‘rsatkichlari tizim ishonchlilii va barqarorligini baholashda asosiy mezon bo‘ladi.

Tadqiqot natijalari ekspluatatsiya samaradorligini aniqlash uchun ishlab chiqilgan usul asosida hisoblangan. Hisoblash ishlari 2024-yilda amalga oshirilib, elektr tarmog‘ining asosiy texnik va samaradorlik ko‘rsatkichlari aniqlangan hamda tahlil qilingan. Olingan natijalar asosida taklif etilgan usulning amaliy samaradorligi baholangan. Hisoblangan ko‘rsatkichlarning qiyosiy natijalari 6-7- va 8-jadvallarda keltirilib, ularda tadqiqot natijalarining o‘zgarishi va erishilgan samaradorlik darajasi aks ettirilgan.

6-jadval

Rejasiz elektr uzilishlari

Yil	Kutilayotgan edi		Tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish natijasida	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
2024	13,902	18,520	10,565	14,075

7 - jadval

Tarmoqdagi yuklanishlar miqdori

Yil	T1			T2		
	k_{min}	k_{max}	Δk	k_{min}	k_{max}	Δk
Kutilayotgan edi						
2024	0,51	0,96	0,41	0,52	0,97	0,43
Tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish natijasida						
2024	0,49	0,89	0,4	0,46	0,91	0,45

8 - jadval

Elektr energiya isroflarining holati

№	Yil	Umumiy EE isroflari mln.kW·h	Hisobiy EE isroflari mln.kW·h	Qo‘shimcha EE isroflari mln.kW·h	Umumiy EE iste’moliga nisbatan ulushi
Kutilayotgan edi					
1	2024	10,38	2,24	8,14	15,4%
Tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish natijasida					
1	2024	9,09	2,24	6,85	13,7%

2024-yilda tadqiqot asosida amalga oshirilgan choralar natijasida elektr ta’minoti tizimining samaradorligi sezilarli yaxshilandi. SAIDI 10,565 soatga, SAIFI esa 14,075 martaga tushib, ishonchlilik oshdi. Tarmoq yuklanishlari barqarorlashib, elektr oqimi samarali taqsimlandi. Elektr energiyasi isroflari 9,09 mln kVt·soatdan 6,85 mln kWt·h kamaydi. Umumiy isrof darajasi 13,7% dan 10,3% gacha tushib, iqtisodiy samaradorlik va resurs tejalishi ta’minlandi.

2024-yilda qishloq elektr ta’minoti tizimida raqamli egizak texnologiyasini qo‘llash natijasida yillik iqtisodiy samara aniqlandi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, 2023-yilda qo‘shimcha xarajatlar $d_1 = \frac{\Delta W_1 \cdot C_0}{W_1} = 4{,}18\, so‘m/kW \cdot h$, 2024-yilda esa $d_2 = \frac{\Delta W_2 \cdot C_0}{W_2} = 4{,}03\, so‘m/kW \cdot h$ bo‘lib, farq $\delta = 3{,}58\,\%$ ni tashkil etdi. Shu asosda dastlabki iqtisodiy samara $C = W_2 \cdot C_0 \cdot \delta = 701{,}36\, mln.so'm$ deb topildi. Ammo raqamli egizakning ishonchlilik $R(t) = 0{,}81$ va yaroqlilik $Y(t) = 0{,}73$ koeffitsiyentlarini inobatga olganda yakuniy natija $C_2 = 701{,}36 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}73 = 414{,}7\, mln.so‘m$ ni tashkil etdi. Xarajatlar (311,5 mln.so‘m) chiqarib tashlanganda, sof yillik iqtisodiy samara 103,2 mln.so‘mga teng bo‘ldi.

XULOSA

“35/6 kV li elektr tarmoqlari samaradorligini oshirish va elektr energiya isrofini kamaytirish usulini takomillashtirish” Mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari asosida quyidagi xulosalar taqdim etildi.

1. O‘zbekiston Respublikasi va xorijiy mamlakatlarda qishloq elektr tarmoqlarining joriy ekspluatatsion holati qiyosiy tahlil qilindi. Tahlil natijasida O‘zbekistondagi 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarida ekspluatatsion

ko‘rsatkichlarning talab darajasida emasligi, jumladan, elektr ta’minotidagi uzilishlarning davomiyligi va takrorlanishini ifodalovchi SAIDI ≥ 60 hamda SAIFI > 2 ko‘rsatkichlari, shuningdek, (isrof≥ 6%) va undan yuqori ekanligi aniqlandi. Olingan natijalar asosida 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsion samaradorligini oshirish, elektr ta’minoti ishonchliligini yaxshilash hamda elektr energiyasi isroflarini kamaytirishga qaratilgan usulni takomillashtirish dolzarbligi asoslandi.

2. Tadqiqot obyekti elektr tarmoqlarining ekspluatatsion parametrlari nuqtayi nazaridan kompleks tahlil qilindi hamda obyekt tarkibidagi transformatorlarning yuklanish koeffitsiyentlarini oldindan baholashga mo‘ljallangan FNN (Feedforward Neural Network) arxitekturasiga asoslangan sun’iy neyron tarmoq modeli ishlab chiqildi. Taklif etilgan modelni qo‘llash natijasida transformatorlarning istiqboldagi yuklanish koeffitsiyentlarini 95 % aniqlik darajasida prognozlash va hisoblash jarayonining tezkorligini ta’minlash imkoniyati yaratildi.

3. Qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsion ishonchliligini tavsiflovchi SAIDI (elektr ta’minotidagi uzilishlarning o‘rtacha davomiylik indeksi) va SAIFI (elektr ta’minotidagi uzilishlarning o‘rtacha takrorlanish chastota indeksi) ko‘rsatkichlarini sun’iy neyron texnologiyalari asosida hisoblash va prognozlash uchun ko‘p qatlamli perseptron (MLP) neyron tarmoq modeli ishlab chiqildi. Model yordamida olingan natijalarni test ma’lumotlari asosida aniqlangan qiymatlar bilan taqqoslash natijasida 0,99 muvofiqlik ko‘rsatkichiga erishilib, modelning adekvatligi baholandi. Shuningdek, SAIDI va SAIFI ko‘rsatkichlarini avtomatlashtirilgan hisoblash usuli hamda uni amalga oshirish algoritmlari ishlab chiqildi. Natijada qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsion ishonchlilik ko‘rsatkichlarini yuqori aniqlikda oldindan prognozlash, elektr ta’minotidagi uzilishlar davomiyligi va takrorlanishining kutilayotgan qiymatlarini aniqlash hamda tarmoq ekspluatatsiyasini samarali rejalashtirish imkoni yaratildi.

4. Elektr energiya isroflariga yuqori ta’sir etuvchi faktorlar baholandi va z (z≥1,96) kriteriya asosida ajratib olindi 6 kV kuchlanishli elektr tarmolarini klassik va MLP (ReLU, 3,9,9,30, 63) sun’iy neyron tarmoqlari asosida ko‘p faktorli elektr energiya isroflarini aniqlash modeli ishlab chiqildi. Natijada 6 kV kuchlanishli elektr tarmoqlari sxema turiga asosan elektr energiya isroflarini baholash imkoni yaratildi.

5. Real vaqt rejimi monitoringi mezonlarini ta’minlash asosida 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining raqamli egizagi dasturiy ta’minot algoritmlari va ular asosida submodullari ishlab chiqildi. Natijada to‘liq 6 kV kuchlanishli elektr tarmoqlarining ekspluatatsion holatini nazorat qilish imkoni yaratildi.

6. Elektr energiyasi isroflarini minimallashtirish mezoni asosida 6 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarining optimal elektr ta’minoti sxemasini tanlash va ekspluatatsion holatini sun’iy neyron texnologiyalari yordamida prognozlash usuli takomillashtirildi hamda uni amalga oshirish algoritmlari ishlab chiqildi. Taklif etilgan usulni amaliyotga qo‘llash orqali elektr yuklamalarini me’yoriy ko‘rsatkichlar bilan taqqoslash va optimal elektr ta’minoti sxemasini tanlash asosida qishloq elektr tarmoqlarining ekspluatatsion samaradorligini 3,62 % ga oshirish imkoniyati asoslandi. Natijada mazkur ilmiy-texnik yechimlarni joriy etishdan kutilayotgan yillik iqtisodiy samara 103,2 mln. so‘mni tashkil etishi aniqlandi.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ДОКТОРА НАУК ЗА НОМЕРОМ DSc.03/30.12.2019.T.10.01 ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ «ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА

ХУЖАЁРОВ ФАЗЛИДДИН ЭШДАВЛАТОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 35/6 кВ И СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

05.05.07 - «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам

Ташкент - 2026 год

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером Б2025.2. PhD/T3146

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу (www.tiiame.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:	**Исақов Абдусаид Жалилович** доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	**Мухаммадиев Ашраф Мухаммадиевич** доктор технических наук, профессор
	Рахматов Абдугани Джумабекович Кандидат технических наук, доцент
Ведущая организация:	Академия наук Республики Узбекистан, Институт проблем энергетики

Защита диссертации состоится “____” _____ 2026 г. в _____ часов на заседании Научного совета по присуждению учёных степеней доктора наук за номером DSc.03/30.12.2019.t.10.01 при Национальном исследовательском университете “Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства” (Адрес: 100000, Ташкент, улица Кори Ниёзий, 39. Тел: (+998 71) 237 09 45; факс: (+998 71)237 38 79, e-mail:admin@tiiame.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального исследовательского университета “Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства” (регистрационный номер ____ (Адрес: 100000, Ташкент, улица Кори Ниёзий, 39. Тел: (+998 71) 237 09 45; факс: (+998 71) 237 38 79, e-mail: admin@tiiame.uz).

Автореферат диссертации разослан «____» _____ 2026 года.
(Протокол рассылки № ___ от «_____» _____ 2026 года).

Б.С. Мирзаев
Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н. профессор

У.Т. Кузиев
Учёный секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, PhD, доцент.

Д.Б. Кадыров
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, д.т.н. профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философия (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. Применение исследований по снижению энергопотребления и повышению эффективности эксплуатации в сельских электросетях, особенно в сетях 6 кВ, является одним из ведущих направлений в мире. Растущий спрос на электроэнергию в мире и в Узбекистане требует совершенствования и внедрения современных методов управления потреблением, включая систему тарифов, основанных на времени суток[1]. В этой связи актуальными задачами являются сокращение технологических потерь в сельских электросетях, повышение надёжности системы и внедрение энергосберегающих технологий, а модернизация сетей и формирование их оптимальной конфигурации рассматриваются как важный фактор обеспечения устойчивого развития энергетической системы, при этом эффективное использование этих подходов имеет большое значение.

Результаты мировых научных исследований в области энергосбережения и эффективного использования энергооборудования показывают, что расточительное потребление электроэнергии препятствует удовлетворению растущего спроса даже при увеличении генерирующих мощностей. В связи с этим проводятся исследования по повышению эффективности эксплуатации сельских электросетей и совершенствованию методов снижения потерь энергии. Приоритетной задачей является разработка научно-технических решений, соответствующих узбекским и международным стандартам, с учётом современных принципов строительства, оптимизации параметров электросетей, сокращения потерь электроэнергии и совокупных затрат.

В нашей республике электроэнергетическая система, являющаяся одним из важных секторов экономики, развивается на основе современных подходов к выбору основных параметров электрических сетей, а также к сокращению потерь электроэнергии в распределительных сетях. В результате повышения уровня жизни и расширения объёмов производства спрос на электроэнергию растёт из года в год. В последние годы объём производства значительно увеличился, достигнув 81,5 млрд кВт·ч в 2024 году и 86,7 млрд кВт·ч в 2025 году. При населении более 38 миллионов человек реализуются комплексные меры, и достигаются определённые результаты. Указ Президента Республики Узбекистан № УП - 166 от 28 сентября 2023 года «О мерах по реализации следующего этапа реформы энергетического сектора» определяет, среди прочего, важные задачи по «…обеспечение надёжности энергетической системы, расширение и модернизация генерирующих мощностей, развитие возобновляемой энергетики, сокращение потерь в электрических сетях, повышение энергоэффективности и внедрение цифровых и интеллектуальных систем управления потреблением электроэнергии…»[2]. При выполнении этих задач также важно разрабатывать технологические решения,

[1] Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-113 от 3 февраля 2022 г. «О мерах по реализации проекта «Преобразование электроэнергетического сектора и устойчивая передача электроэнергии» с участием Всемирного банка и развитию системы основных электросетей республики и повышению её эффективности».

[2]Указ Президента Республики Узбекистан № УП-166 от 28 сентября 2023 г. «О мерах по реализации следующего этапа реформы энергетического сектора» – Ташкент, 2023 г..

направленные на повышение энергоэффективности и минимизацию потерь электроэнергии, включая модернизацию энергетической инфраструктуры, рациональное использование ресурсов и широкое внедрение цифровых систем управления в производственные и потребительские процессы. Внедрение современных автоматизированных и интеллектуальных систем в этой области имеет большое значение. Эти стратегические направления важны не только для обеспечения стабильной работы энергетической системы, но и для ускорения процессов цифровой трансформации во всех секторах экономики.

Указ Президента Республики Узбекистан № УП - 57 от 16 февраля 2023 г. «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий», № ПП - 192 от 31 мая 2023 г. «О мерах по организации деятельности Исполнительного управления «Эко-Энергетика» и поощрению внедрения возобновляемых источников энергии», № УП - 166 от 28 сентября 2023 г. «О мерах по реализации следующего этапа реформы энергетического сектора». Закон Республики Узбекистан № ПП-28 от 17 января 2024 г. «О мерах по организации деятельности Агентства по развитию и регулированию энергетического рынка», Закон Республики Узбекистан № ЗРУ-939 от 7 августа 2024 г. «Об электроэнергетической отрасли (новое издание)» и Закон № УП – 63 от 27 марта 2025 г. «О мерах по совершенствованию государственного управления в сфере повышения энергоэффективности и развития рынка услуг энергетических сервисных компаний». Данная диссертационная работа в определённой степени способствует выполнению задач, поставленных в постановлениях и других нормативно-правовых документах, касающихся данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Исследование, представленное в диссертации, соответствует II приоритетному направлению развития науки и техники «Энергетика, энергоэффективность и альтернативные источники энергии».

Степень изученность проблемы. Научно-исследовательские работы по вопросам и проблемам научных исследований в области повышения эффективности работы электроэнергетических систем, городов, промышленных предприятий и сельскохозяйственных электросетей, а также совершенствования методов сокращения потерь электроэнергии проводили Н.И.Черкасова, А.В.Кабыешев, И.А.Суворова, Б.Е.Мурманский, А.М.Берхане, Ю.И.Ханин, В.Е.Болешев, Г.М.Лебедев, А.В.Ланин, Н.В.Миронов и др. Исследования по повышению эффективности работы сельских электросетей напряжением 6 кВ и совершенствованию методов сокращения потерь электроэнергии с использованием технологий цифрового двойника проводили А.Р.Ахметшин, А.И.Тройский, М.В.Бородин, А.В.Шалухо, В.М.Тарасов, В.С.Богачев, Е.В.Жилин, С.А.Шишкин, С.Р.Чоршанбиев, В.Ю.Вуколов, М.Ю.Термесский, А.А.Баранов, проводят Б.Зиновий, К.Андрей, Л.Георгий, Ю.Андрей, А.Александр и В.Хорхе и др.

Исследования по разработке и совершенствованию методов повышения эксплуатационной эффективности энерго- и электроэнергетических сетей и сокращения потерь электроэнергии в нашей республике проводились

Исаковым А.Дж.Сиддиков, И.Х.Фазилов, Х.Ф.Насиров, Т.Х.Гайипов, Т.Ш.Сиддиков, Р.А.Таслимов, А.Д.Худайоров, М.Б.Рахимов, Ф.М.Тураев, А.И.Хусанов, Б.М.Хайруллаев, А.Ф.Меликозьев, М.В.Юлдашев, А.А.Бобоназаров, Б.С.Латипов и др.

В результате этих исследований научные проблемы, связанные с повышением эксплуатационной эффективности сельских электросетей напряжением 6 кВ и совершенствованием методов сокращения потерь электроэнергии и применением технологий цифрового двойника, недостаточно изучены.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование проводилось в рамках научно-исследовательского проекта № 28/24 Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова по теме «Разработка методов и средств обеспечения качества и надёжности электроэнергии в низковольтных электрических сетях 6/0,4 кВ» (2023 - 2025 гг.) и № 29/24 «Разработка методов и средств снижения потерь электроэнергии в низковольтных электрических сетях 6/0,4 кВ» (2023-2025 гг.).

Целью исследования усовершенствовать метод повышения эффективности и сокращения потерь электроэнергии за счёт использования цифровых двойников в сельских электросетях напряжением 6 кВ.

Задачи исследования:

Исследование текущего эксплуатационного состояния сельских электрических сетей и факторов, влияющих на повышение энергоэффективности;

Разработка модели расчёта эксплуатационных параметров сельских электрических сетей на основе технологий искусственного интеллекта, а также разработка методов и алгоритмов их автоматизированного расчёта;

Разработка метода и алгоритма оценки эксплуатационной эффективности сельской электросети 6 кВ с классификацией по показателям, а также метода предупреждения;

Разработка веб-ориентированных программных подмодулей и алгоритмов для цифрового двойника сельской электросети 6 кВ на основе критериев мониторинга в реальном времени.

Объект исследования В качестве исходных данных были взяты сельские электросети электросетевого предприятия напряжением 6 кВ.

Предмет исследования напряжение 6 кВ-это способ повысить эффективность сельских электросетей и сократить потери электроэнергии.

Методы исследования. В процессе исследования применялись математические правила расчёта, теоретические законы электротехники, методы статистического анализа, систематический анализ, сравнительный анализ, методы математического моделирования, математическое планирование экспериментов и методы электрических измерений, а также методы, указанные в существующих нормативных документах.

Научная новизна исследования включает в себя следующее:

разработан метод учёта совокупных (кумулятивных) затрат и технических ограничений, обеспечивающий повышение эффективности сельских электрических сетей и снижение потерь электрической энергии;

разработан алгоритм оценки загрузки и эксплуатационных показателей линий электропередачи сельских электрических сетей напряжением 6 кВ на основе методов искусственного интеллекта, а также определения коэффициентов SAIDI и SAIFI;

разработаны метод и алгоритм оценки и предупреждения о состоянии сельских электрических сетей напряжением 6 кВ на основе классификации показателей их эффективности по соответствующим индикаторам;

сформирован комплекс модулей цифрового двойника, предназначенный для мониторинга показателей энергоэффективности сельских электрических сетей, а также разработан алгоритм мониторинга процессов, протекающих в электрической сети, в режиме реального времени на основе логического алгоритма.

Практические результаты исследования состоят в следующим:

определены методы повышения эксплуатационной эффективности сельских электрических сетей и снижения потерь электрической энергии;

разработан программный модуль, предназначенный для определения загрузки линий электропередачи и трансформаторов сельских электрических сетей напряжением 6 кВ, а также значений показателей эксплуатационной надёжности SAIDI и SAIFI;

разработано программное обеспечение цифрового двойника для мониторинга эксплуатационной эффективности сельских электрических сетей напряжением 6 кВ;

разработаны метод и алгоритм формирования отчётности по электропотреблению и эксплуатационному состоянию сельских электрических сетей напряжением 6 кВ, обеспечивающие автоматизированный обмен данными.

Достоверность результатов исследования. Научная значимость результатов исследования основана на практическом применении методов снижения энергопотребления в сельских электросетях (критериальный анализ и программирование), исследованиях моделирования и подбора параметров электросетей, а также на их положительных результатах и внедрении на практике.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования характеризуется разработкой математических выражений выбранных параметров и суммарных затрат, разработкой метода составления и расчёта методики снижения потерь электроэнергии в электрических сетях. Это объясняется возможностью научного определения параметров электрических сетей с учётом ограничений современных сельских электрических сетей путём повышения эффективности их эксплуатации и методов снижения потерь электроэнергии.

Практическая значимость исследования объясняется применением усовершенствованной методики определения параметров снижения потерь электроэнергии в сетях 6 кВ и практическим применением разработанных научно-технических рекомендаций по управлению такими сетями.

Внедрение результатов исследований.

На основе научных результатов, полученных при определении потерь электроэнергии в сельских энергосетях:

На Кибрайском районном энергопредприятии внедрен «цифровой двойник», позволяющий определять коэффициенты SAIDI и SAIFI и отслеживать рабочее состояние в режиме реального времени. (Ссылка № 01 - 02 - 6/1160 Территориальных энергосетей Республики Узбекистан от 30 июня 2024 г.). В результате, благодаря оптимальному перераспределению нагрузок по энергосетям, эффективность работы повысилась на 2,4%, что позволило достичь экономической эффективности в 103,2 миллиона сумов в год.

Подмодуль, обеспечивающий анализ эксплуатационного состояния и прогнозирование аварийных ситуаций, внедрён в Кибрайском районном предприятии электрических сетей (справка АО «Региональные электрические сети» Республики Узбекистан № 01-02-6/1160 от 30 июня 2024 года). В результате за счёт оптимального перераспределения нагрузок между электрическими сетями достигнуто повышение эксплуатационной эффективности на 2,4 %, что обеспечило возможность получения экономического эффекта в размере 103,2 млн. сумов в год.

Утверждение результатов исследования. Результаты исследования были утверждены на 8 научно - технических конференциях, в том числе на 4 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях, а также на кафедре «Электротехника» факультета «Энергетика» Ферганского государственного технического университета 8 ноября 2025 года.

Публикация результатов исследований. По теме диссертации опубликовано всего 28 научных работ, из них 7 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 4 статьи опубликованы в республиканских и 3 в зарубежных научных журналах. Кроме того, получены 6 свидетельств на программы для ЭВМ и 2 свидетельства на базы данных.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Объём диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и необходимость исследования, освещаются цели и задачи, объект и предмет исследования, а также указывается его соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники в республике. Также раскрываются достоверность, научная новизна и практическая значимость результатов исследования, описывается теоретическая и практическая ценность полученных результатов. Кроме того, предоставляется информация о применении результатов исследования на практике, процедурах утверждения работы, опубликованных научных работах и структуре диссертации.

Первая глава диссертации, озаглавленная **«Анализ сельских электросетей 6 кВ»,** анализирует сельские электросети Узбекистана и мира, показатели SAIDI и SAIFI и потери энергии. На примере Кибрайского района были выявлены технические проблемы в трансформаторах и воздушных линиях электропередачи, а также обоснована необходимость внедрения цифровых решений для повышения энергоэффективности в сельской местности.

Анализ трансформаторов мощностью 4000 кВА на Кибрайской подстанции показал, что нагрузка часто находится в диапазоне 70-85%. Согласно прогнозу, основанному на FNN, было установлено, что нагрузка превысит коэффициент 0,8 через 8 лет и достигнет критического уровня через 12 лет. Это подтверждает необходимость перераспределения нагрузки и повышения эффективности эксплуатации с помощью технологии цифрового двойника.

Вторая глава диссертации, озаглавленная **«Моделирование параметров эксплуатационной надёжности и потерь электроэнергии в сельских электросетях напряжения 6 кВ»,** рассматривает вопросы моделирования параметров эксплуатационной надёжности сельских электросетей напряжения 6 кВ, расчёта потерь в линиях электропередачи и оценки дополнительных потерь энергии на основе искусственного интеллекта. Хотя международные (IEEE 1366) и национальные стандарты требуют мониторинга показателей SAIDI и SAIFI, отсутствие единой точной математической модели для их расчёта оправдывает необходимость моделирования в этом направлении.

Из-за отсутствия резервной сети на научно-исследовательском объекте во время плановых отключений (ремонт воздушных и кабельных линий, техническая инспекция трансформаторов, работы на коммутационных устройствах), которые в основном происходят с 9:00 до 17:00, наблюдается полное отключение потребителей. Аварийные отключения происходят в результате стихийных бедствий, отказов оборудования, перегрузок, человеческого фактора, а также воздействия деревьев и животных, при этом наибольший уровень отключений зафиксирован на Кипчакском фидере.

Показатель SAIFI представляет собой количество отключений электроэнергии, зафиксированных у каждого потребителя за определённый период времени при нормальных условиях, и определяется следующим образом:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ca(i)}{C_s} \tag{1}$$

где Ca(i) - количество отключенных потребителей в системе электроснабжения энергоснабжающей организации в течение календарного года; Cs - общее количество потребителей.

Подача электроэнергии SAIDI представляет собой почасовое выражение отключений каждого потребителя в указанное время при нормальном состоянии системы и определяется следующим образом:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ca(i) \times t(i)}{C_S} \quad (2)$$

где t(i) - продолжительность отключения электроэнергии, часы; Ca(i) - количество отключенных потребителей в системе электроснабжения энергоснабжающей организации в течение календарного года; Cs - общее количество потребителей в системе электроснабжения.

Плановые отключения планируются и требуют использования технологии цифровых двойников для управления ими. Внеплановые отключения представляют собой неконтролируемые процессы, и моделирование показателей SAIDI и SAIFI для их мониторинга позволяет прогнозировать и устранять неполадки.

Для прогнозирования этих процессов используется нейронная сеть FNN. Передача информации между слоями модели и конечные выходные значения выражаются следующими формулами:

1. Первый скрытый слой: $a_i^1 = W_i^1 \cdot x + b_i^1$
2. Второй скрытый слой: $a_j^2 = \Sigma W_{ji}^2 \cdot a_i^1 + b_j^2$
3. Конечный результат: $a_k^3 = \Sigma W_{kj}^3 \cdot a_j^2 + b_k^3$

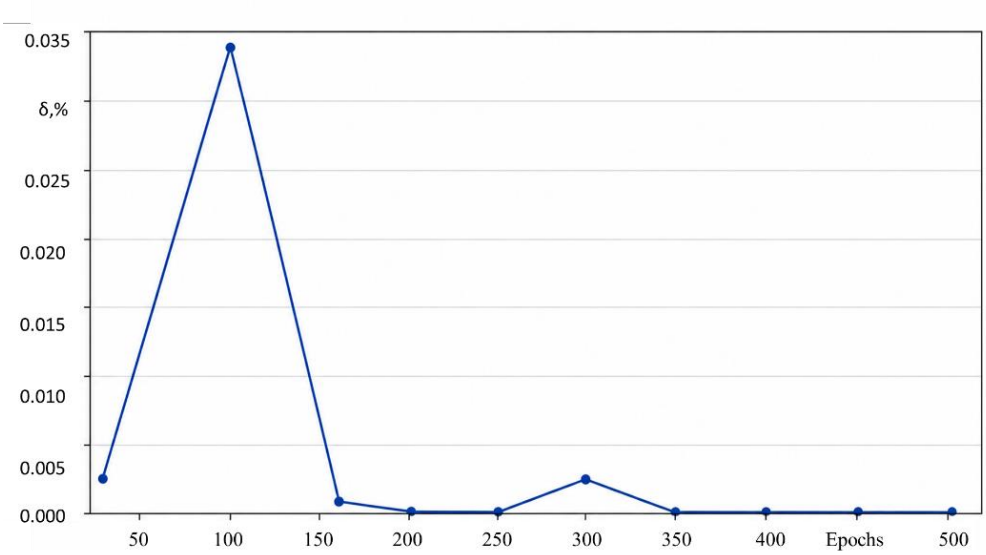


Рис.1. Результаты лабораторных исследований по определению оптимального значения параметра Epoch

Анализ графических данных, представленных на рисунке 1, выявляет выраженный максимум в области значения около 100, сопровождающийся резким ростом исследуемого показателя. После достижения экстремума наблюдается значительное снижение показателя, затухание колебаний и стабилизация значений вблизи нуля. В области около 300 отмечается незначительное вторичное колебание с малой амплитудой, не оказывающее существенного влияния на общую динамику. В целом график характеризуется наличием одного доминирующего максимума, последующим снижением

показателя и переходом к относительно устойчивому состоянию. Это свидетельствует о концентрации основных изменений в начальной части исследуемого диапазона и последующей стабилизации значений.

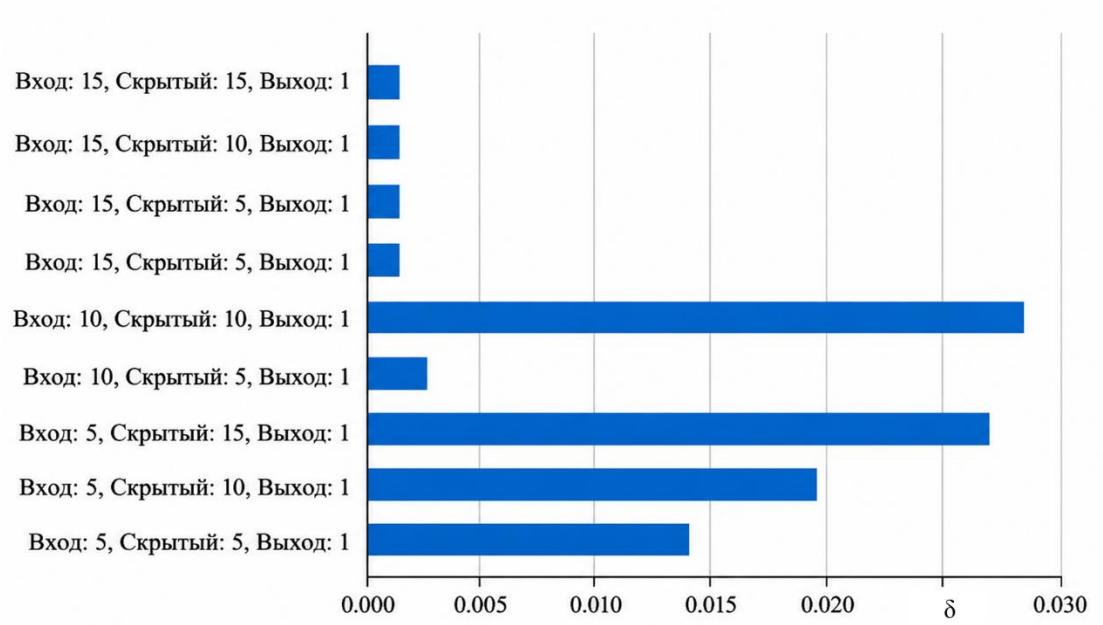
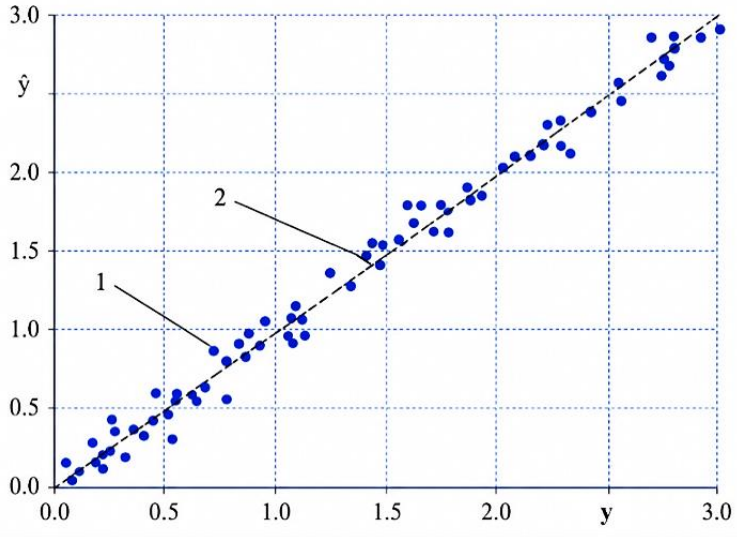


Рис.2. Результат лабораторного определения значений нейронов во входном, скрытом и выходном слоях

Диаграмма на рисунке 2 представляет собой сравнительный анализ ошибок, соответствующих комбинациям входных параметров. Результаты показывают, что частота ошибок в некоторых случаях достигает ~0,03, а в других остается стабильной в диапазоне 0,005-0,015. Изменение параметров существенно влияет на точность модели, а некоторые комбинации обеспечивают оптимальные прогнозы.



1. Реальный и прогнозируемый результат в тренировках; 2. Идеально подходит

Рис.3. Регрессионный анализ модели исследования и испытаний и фактических значений

На рисунке 3 представлены результаты лабораторных экспериментов по определению оптимальной эпохи и количества нейронов модели, а также результаты регрессионного анализа на этапах обучения и тестирования.

Коэффициенты корреляции для обучающих и тестовых значений составляют 0,9943 и 0,9965 соответственно, что свидетельствует о возможности использования результатов модели (рисунок). Значения SAIDI и SAIFI, полученные с помощью этой модели за последние 5 лет, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

5-летние показатели SAIDI и SAIFI, полученные в результате использования модели FNN для определения SAIDI и SAIFI

№	Год	SAIDI	SAIFI
1	2025	13,902	18,520
2	2026	14,191	18,780
3	2027	14,481	19,041
4	2028	14,770	19,301

Результаты модели FNN, представленные в таблице 1, показывают, что показатели SAIDI и SAIFI будут расти в ближайшие годы. Поскольку оценка состояния эксплуатации с помощью этих коэффициентов занимает много времени, необходимо определить эффективность путём моделирования потерь энергии. Увеличение потерь ухудшит техническое состояние оборудования и сократит срок его службы.

Потери энергии определяются отдельно для каждого этапа (подстанция, линия, трансформатор), а общие потери рассчитываются на основе энергетического баланса и следующей формулы:

$$\Delta W = W_n - W_{n+1} \tag{3}$$

На следующем этапе с помощью специальных формул определяется расчётный объём потерь электроэнергии. На заключительном этапе составляется баланс, и выявляются дополнительные потери следующим образом:

$$\Delta W_h = \Delta W - W_h \tag{4}$$

где ΔWh - потери электроэнергии, рассчитанные расчётным методом. Расчёт выполнен на основе однолинейной схемы подстанции 35/6 кВ, включающей трансформаторы, линии электропередачи, коммутационные аппараты и устройства защиты.

Известно, что основные потери электроэнергии на подстанции происходят в главных понижающих трансформаторах. Поэтому годовые потери электроэнергии рассчитываются следующим образом:

$$\Delta W_{\text{пс}} = \sum n_i \cdot P_1 \cdot \mathrm{T}_i + \sum\left(\frac{1}{n} \cdot k_2^2 \cdot P_2' \cdot T_i + \frac{1}{n} \cdot k_3^2 \cdot P_3' \cdot T_i\right) \tag{5}$$

где, n - количество элементов, P_1 - потребляемая мощность в режиме холостого хода, Т - время работы, k - коэффициент загрузки (2 - при высоком напряжении, 3 - при низком напряжении), P_3' - потребляемая мощность в режиме короткого замыкания.

Суммарные годовые потери электроэнергии в воздушных линиях электропередачи определяются следующим образом:

$$\Delta W_{\text{хл}} = \frac{P_0^2+Q_0^2}{10^3 \cdot U_0^2} \cdot r_o \cdot L + \Delta P_0 \cdot L \cdot \text{Т} \quad (6)$$

L - длина воздушных линий, r_o - удельное активное сопротивление воздушных линий, P_0 и P_0, T - активная и реактивная мощность, протекающая за интервал времени (в расчётах интервал времени принят равным 0,5 часа), U_0 - среднее напряжение сети, ΔP_0 − мощность рассеяния в изоляторе.

Потери электрической энергии в трансформаторах 6/0,4 кВ определяются по следующей формуле на основе их паспортных данных (тип, мощность, перенапряжения и потери при коротком замыкании), времени работы и значений тока (среднего и максимального) на графиках нагрузки:

$$\Delta W = \Delta P_0 t + \Delta P_1 \tau^2 \text{к}_2^2 \quad (7)$$

где t - количество часов работы трансформатора.

На основе данных, предоставленных объектом исследования (см. раздел 1.2 диссертации), для определения дополнительных потерь объекта исследования были рассчитаны потери, представленные в вышеуказанных подразделах, и оценены дополнительные потери электроэнергии в системе электроснабжения 6 кВ путём определения разницы по отношению к общим потерям. Результаты расчётов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Таблица для определения потерь электроэнергии объекта исследования

№	Год	Общие потери ЭЭ млн kW·h	Оценочные потери ЭЭ млн kW·h	Дополнительные потери ЭЭ млн kW·h
1	2022	9,92	2,24	7,98
2	2023	10,45		8,21
3	2024	9,35		7,11

Результаты, представленные в таблице-2 показывают, что дополнительные потери превышают расчётные, и что при определении потерь электроэнергии необходимо учитывать внешние факторы при моделировании потерь электроэнергии. Поэтому в следующем подразделе диссертации было проведено моделирование потерь электроэнергии с учётом дополнительных потерь электроэнергии.

Сокращение потерь электроэнергии осуществляется путём модернизации линий и трансформаторов в высокоэффективных точках.

Внешние факторы (температура, влажность, нагрузка) анализировались с использованием корреляции Пирсона для оценки взаимосвязи между показателями. Значимость результатов проверялась с помощью точного теста Фишера, значения выше 1,96 считались статистически значимыми.

Таблица 3

Таблица корреляционного анализа факторов, влияющих на потери электроэнергии

№	Влияющие факторы	Коэффициент корреляции для дополнительной ЭЭ	Z	Индикатор значимости
1	κ	0,72	2,72	TRUE
2	t_{max}	-0,61	-2,12	TRUE
3	t_{min}	-0,33	-1,02	FALSE
4	t	-0,57	-1,94	FALSE
5	φ	0,51	1,68	FALSE
6	n_1	0,57	1,94	FALSE
7	n_2	0,68	2,48	TRUE

На основе первичных данных, полученных в результате корреляционного анализа, представленного в таблице 4, была разработана модель обнаружения потерь электроэнергии с использованием метода искусственного интеллекта - многослойного персептрона (далее - MLP). Представлены оптимальные параметры модели обнаружения потерь электроэнергии на основе многослойного программирования (MLP) с использованием искусственного интеллекта. Модель использует функцию активации ReLU, значение look_back равное 3, входной слой - 9 нейронов, скрытые слои - 9 и 30 нейронов соответственно, а процесс обучения - 103 эпохи. Эти параметры представляют собой оптимальную конфигурацию, обеспечивающую достижение моделью приемлемых результатов в процессе обнаружения и прогнозирования потерь электроэнергии в энергосистеме.

Таблица 4

Модель выявления и локализации потерь электрической энергии на основе многослойного перцептрона (MLP) с применением технологий искусственного интеллекта

№	Гиперпараметры	Ценить
1	Activation (Активация)	ReLU
2	look_back	*3*
3	Input layer neurons (Нейроны входного слоя)	9
4	1st layer neurons of hidden layer (Нейроны 1-го слоя скрытого слоя)	9
5	2nd layer neurons of hidden layer (Нейроны 2-го слоя скрытого слоя)	30
6	Epoch	103

Учитывая, что общая погрешность модели, полученной на основе выбранных значений, составляет 0,003 за счёт полученных нейронов и 0,002 за счёт значения эпохи, тот факт, что общая погрешность составляет весьма малые значения, характеризует адекватность модели данного метода искусственного интеллекта для определения потерь электроэнергии на основе типа MLP и используется в цифровом двойнике сельской электросети. На основе данной нейронной сети был рассчитан ожидаемый уровень потерь электроэнергии на 2024-2026 годы, представленный в таблице 5.

Таблица 5

Потери электр энергии

№	Год	Общие потери ЭЭ млн. kW·h	Оценочные потери ЭЭ млн. kW·h	Дополнительные потери ЭЭ млн. kW·h	Общего потребления ЭЭ
1	2024	10,38	2,24	8,14	15,4%
2	2025	10,52		8,28	15,7%
3	2026	11,27		9,03	16,1%

За последние 3 года резко возросли потери энергии, достигнув 10,38 млн. kW·h в 2024 году, 10,52 млн. kW·h в 2025 году и 11,27 млн. kW·h в 2026 году. Одновременно увеличились и дополнительные потери электроэнергии, достигнув 8,14 млн. kW·h в 2024 году и 9,03 млн. kW·h к 2026 году. Это привело к увеличению общего потребления электроэнергии с 15,4% до 16,1%. Данная тенденция свидетельствует о технических потерях в сети, неконтролируемых нагрузках и неэффективной работе оборудования. Для устранения этих проблем и автоматизации управления внедрение технологии цифровых двойников в электрических сетях 6 кВ является актуальной задачей.

В третьей главе диссертации, озаглавленной **«Разработка структурных моделей цифрового двойника сельских электросетей напряжения 6 кВ»,** были разработаны структурные модели цифрового двойника, предназначенные для мониторинга технического состояния сельских электросетей напряжения 6 кВ, анализа режимов работы, прогнозирования отказов и повышения надёжности электроснабжения. В рамках этой модели была сформирована база данных, объединяющая трансформаторные подстанции, линии электропередачи 6 кВ, показатели нагрузки и качества электроэнергии, а также метеорологические данные в единой информационной среде, и предложена система классификации элементов сети и оценки их технического состояния. Возможность цифрового двойника собирать и обрабатывать данные в режиме реального времени позволяет отслеживать текущее состояние сети, анализировать динамику нагрузки, выявлять отклонения от нормы и моделировать возможные аварийные ситуации в виртуальной среде. С учётом взаимосвязи технического состояния трансформаторов и линий, уровня нагрузки, эксплуатационных данных и метеорологических факторов, можно заранее прогнозировать вероятность

отказов и аварий, и планировать профилактическое обслуживание. Предложенная модель цифрового двойника позволяет улучшить показатели SAIDI и SAIFI, сократить продолжительность и частоту отключений электроэнергии, а также минимизировать потери энергии в сети. Кроме того, моделирование таких сценариев, как изменение нагрузки, отказы элементов сети, погодные условия и реконфигурация схемы электроснабжения, позволяет выбрать оптимальный режим работы и принимать обоснованные управленческие решения. В результате разработанный цифровой двойник позволяет повысить надёжность, энергоэффективность и качество обслуживания сельских электросетей напряжением 6 кВ.

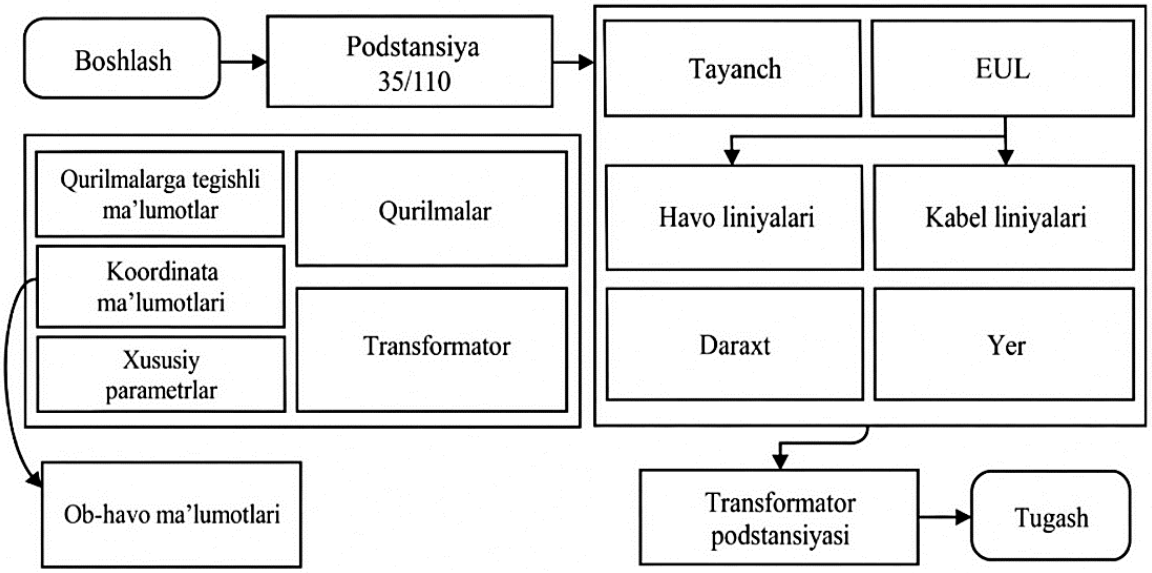


Рис 4. Блок-схема логики базы данных

Согласно блок-схеме на рисунке-5 устройства, показанные в чёрном прямоугольнике, используются по отдельности. Устройства, показанные синим цветом, могут комбинироваться только с чёрной рамкой, то есть не могут использоваться по отдельности. Устройства, отмеченные зелёным цветом, объединены со всеми остальными устройствами и предоставляют информацию о них. В свою очередь, данные о координатах комбинируются с данными о погоде, предоставляя информацию о погоде относительно местоположения каждого устройства.

Рассматриваются вопросы оценки системы электроснабжения 6 кВ путём её классификации по показателям. Этот метод имеет большое значение для обеспечения надёжности, эффективности и экономической выгоды системы. Правильная оценка позволяет экономить энергоресурсы, продлевать срок службы устройств и снижать аварийность. При оценке системы учитываются характер нагрузок, надёжность источника и технические параметры. Подчеркивается, что неправильно выбранная схема может привести к перерасходу энергии и техническим проблемам. В сельском электроснабжении обычно используют радиальные и магистральные схемы, которые различаются по своим преимуществам и условиям применения.

Выбор оптимальной схемы осуществляется на основе методов проектирования, модернизации или оценки существующей схемы и осуществляется с помощью специального алгоритма.

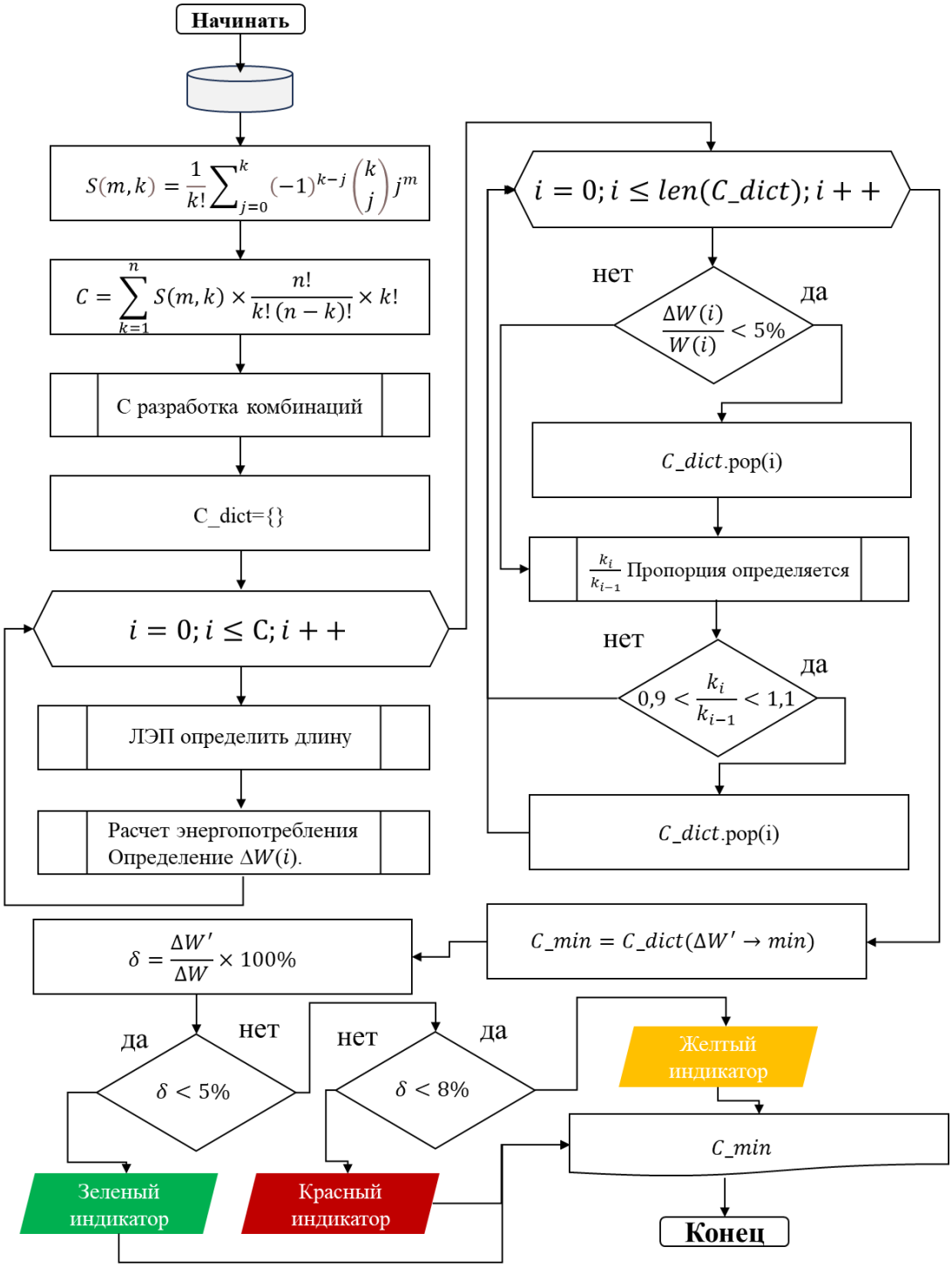


Рис 5. Блок-схема Оценка системы электроснабжения путем её классификации по показателям

Согласно алгоритму, представленному на рисунке 4, изначально из базы данных берутся количество фидеров ***n*** и количество трансформаторов ***m***, а количество всех цепей, подлежащих расчёту, рассчитывается следующим образом:

$$C = \sum_{k=1}^{n} S(m,k) \times \frac{n!}{k!(n-k)!} \times k! \quad (8)$$

где S(m,k) — число Стирлинга, которое рассчитывается как:

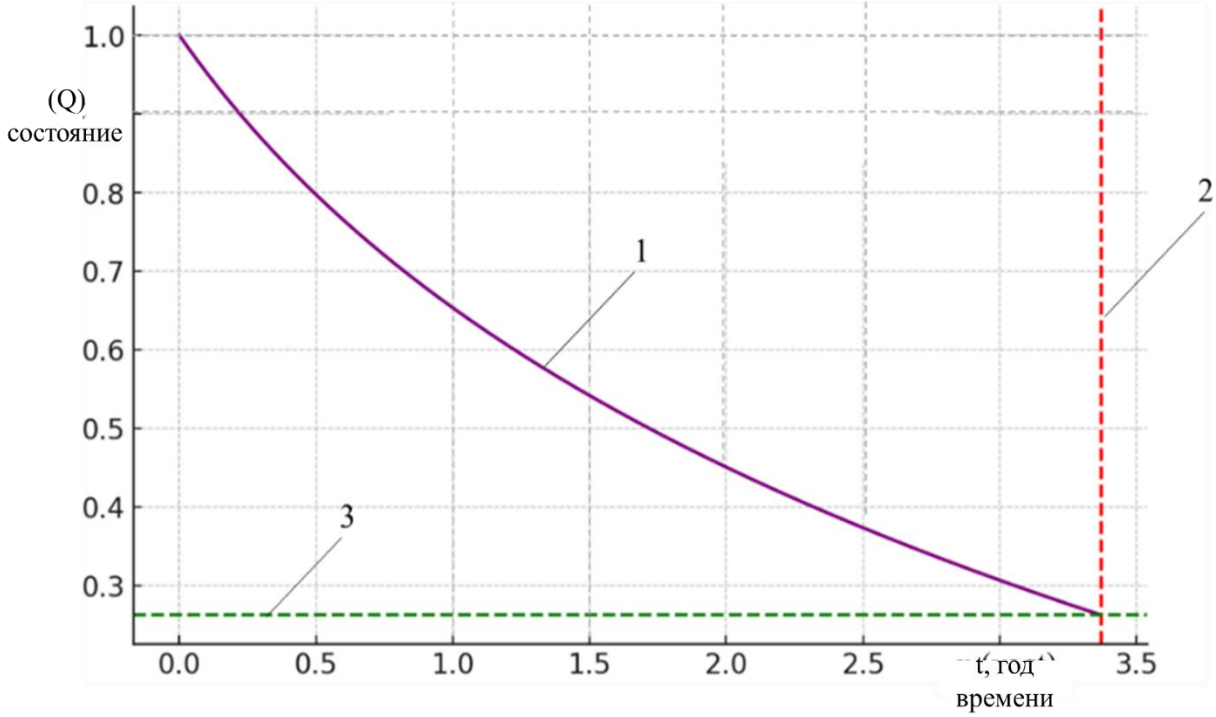
$$S(m,k) = \frac{1}{k!}\sum_{j=0}^{k}(-1)^{k-j}\binom{k}{j}j^m \quad (9)$$

С учётом (8), (9) можно записать следующим образом:

$$C = \sum_{k=1}^{n}\frac{1}{k!}\sum_{j=0}^{k}(-1)^{k-j}\binom{k}{j}j^m \times \frac{n!}{k!(n-k)!} \times k! \quad (10)$$

где $k = 1..n, j = 1..k.$

Расстояние между линиями электропередачи анализируется с использованием формулы Хаверсина, а баланс нагрузки анализируется на основе стандартов IEC (предел до 5%), результаты сравниваются по показателям. При контроле внешнего воздействия оценивается влияние ячеек, EUL и деревьев в логарифмической модели: состояние ячеек контролируется посредством комплексного мониторинга (красный индикатор через 3 года), а EUL контролируется по длине линии и количеству соединений.



1. Логарифмическое убывание состояния; 2. Текущая дата: t = 3,5 года; 3. Состояние t = 3,5 года

Рис 6. График логарифмического спада состояния трансформатора тока

Рисунок 6. Предполагается, что идеальное состояние трансформатора составляет $Q_0 = 1$, и показан логарифмический контроль показателя Q(t) во времени. По состоянию на август 2025 года, t = 3,37

года, состояние трансформатора ухудшилось до 0,3, поэтому текущее состояние показано красным цветом.

В направлении контроля внешнего влияния анализируются EUL (на основе количества и длины соединений) и рост производства с использованием логарифмических моделей и показателей (зеленый, желтый, красный). В сетях 6 кВ упорядоченные сдвоенные субмодули прогнозируют мощность и производят продукцию; это позволяет проводить профилактическое техническое обслуживание (подача масла, замена соединений, вырубка деревьев) для снижения количества аварий, налаживания производства энергии и экономического развития.

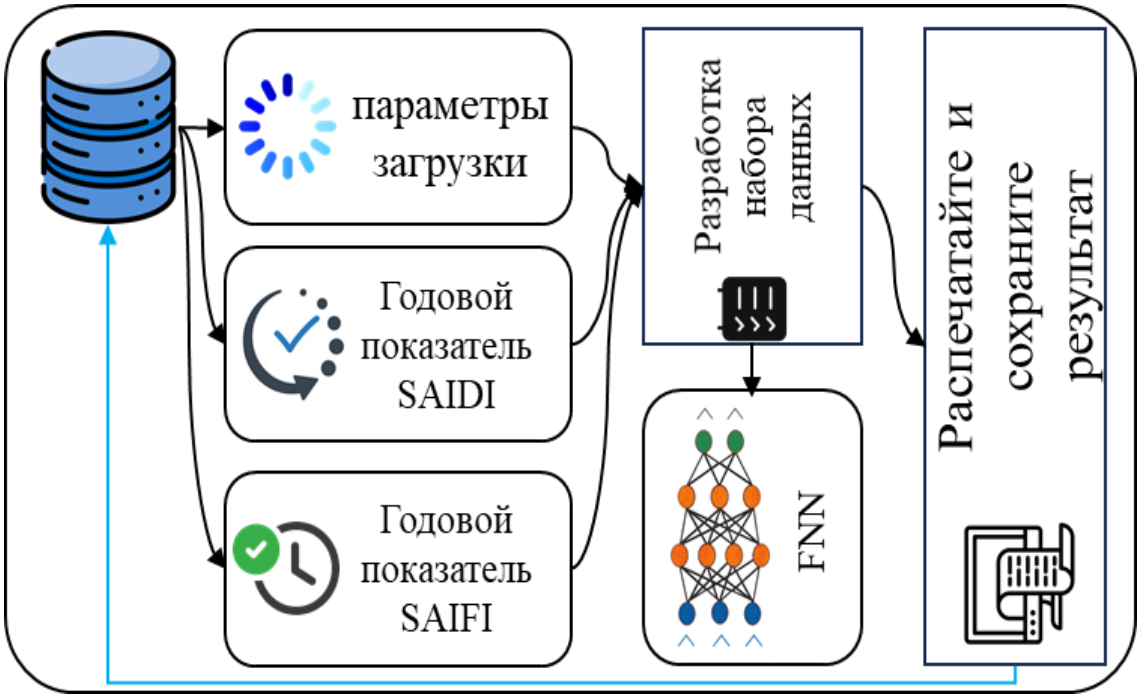


Рисунок 7. Принцип работы подмодуля статического анализа состояния модуля состояния работы сети.

Подмодуль динамического анализа состояния предназначен для непрерывного мониторинга мгновенных параметров энергосистемы в режиме реального времени, выявления их отклонений от нормативных значений и прогнозирования дальнейшего состояния электрической сети. На основе накопленных данных с использованием прямой нейронной сети FNN (Feedforward Neural Network) выполняется прогнозирование рабочего состояния сети и ожидаемых значений её основных параметров на следующие 10 часов. Полученные результаты сопоставляются с нормативными показателями, соответствующими нормальному режиму работы, что позволяет своевременно выявлять потенциальные отклонения, нарушения и возможные неисправности. Принцип работы данного подмодуля можно рассмотреть на примере анализа напряжения в электрической сети. В этом случае значения напряжения, измеренные в реальном времени, и значения, спрогнозированные с помощью FNN, сравниваются с установленными допустимыми пределами отклонения относительно номинального

напряжения. Такое сопоставление позволяет определить, соответствуют ли текущие и прогнозируемые параметры установленным требованиям. Если прогнозируемые значения напряжения находятся в допустимых пределах, предполагается сохранение нормального режима работы сети. В случае выхода значений за установленные границы возникает вероятность нарушения рабочего режима, ухудшения качества электроснабжения или возникновения нештатных ситуаций.

Таким образом, подмодуль динамического анализа состояния обеспечивает комплексную оценку текущего и прогнозируемого состояния электрической сети. Его применение позволяет заблаговременно обнаруживать потенциальные отклонения параметров, оценивать вероятность возникновения неисправностей и принимать необходимые меры для предупреждения аварийных ситуаций, повышения надёжности функционирования энергосистемы и обеспечения требуемого качества электроснабжения.

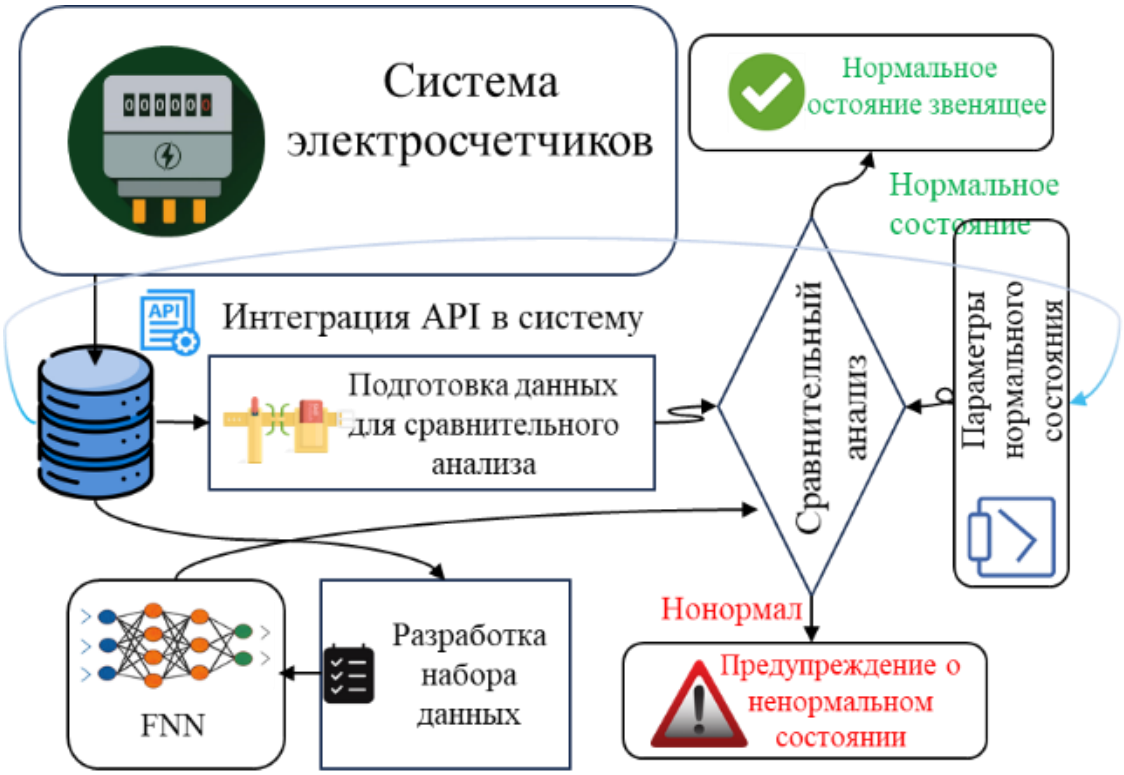


Рис. 8. Принцип работы подмодуля динамического анализа состояния модуля операционного состояния сети.

Как текущее значение напряжения U_i, так и прогнозируемое значение напряжения U_j сравниваются с нормальным значением напряжения U_0 следующим образом:

$$\delta U_i = \left|\frac{U_0 - U_i}{U_0}\right| \cdot 100\% \quad (11)$$

$$\delta U_j = \left|\frac{U_0 - U_j}{U_0}\right| \cdot 100\% \quad (12)$$

Результаты работы статических и динамических подмодулей отображаются на интерфейсе в виде индикаторов, которые служат для анализа и предупреждения сети. В то время как такие факторы, как перебои в работе и износ оборудования, снижают эффективность эксплуатации, основными критериями оценки надёжности и стабильности системы являются потери энергии, а также показатели SAIDI и SAIFI.

Результаты исследования были рассчитаны на основе разработанной методики определения эксплуатационной эффективности. Расчёты проводились в 2024 году, были определены и проанализированы основные технико-технические и эффективные показатели энергосистемы. На основе полученных результатов была оценена практическая эффективность предложенной методики. Сравнительные результаты рассчитанных показателей представлены в таблицах 6-7 и 8, которые отражают изменения в результатах исследования и достигнутом уровне эффективности.

Таблица 6

Незапланированное отключение

Ожидаемый процесс			**В результате применения результатов исследования**	
Год	**SAIDI**	**SAIFI**	**SAIDI**	**SAIFI**
2024	13,902	18,520	10,565	14,075

Таблица 7

Количество сетевых загрузок

Год	T1			T2		
	k_{min}	k_{max}	Δk	k_{min}	k_{max}	Δk
Ожидаемый процесс						
2024	0,51	0,96	0,41	0,52	0,97	0,43
В результате применения результатов исследования						
2024	0,49	0,89	0,4	0,46	0,91	0,45

Таблица 8

Состояние потери электроэнергии

№	**Год**	**Общие потери ЭЭ (млн. кВт·ч)**	**Оценочные потери ЭЭ (млн. кВт·ч)**	**Дополнительные потери ЭЭ (млн. кВт·ч)**	**Общего потребления ЭЭ**
Ожидаемый процесс					
1	2024	10,38	2,24	8,14	15,4%
В результате применения результатов исследования					
1	2024	9,09	2,24	6,85	13,7%

В результате принятых в 2024 году мер, основанных на результатах исследований, значительно повысилась эффективность системы

электроснабжения. SAIDI снизился до 10 565 часов, а SAIFI - до 14 075 часов, что повысило надёжность. Стабилизировались нагрузки на сеть и эффективно распределялись электропередачи. Расход электроэнергии снизился с 9,09 млн. кВт·ч до 6,85 млн. кВт·ч. Общий уровень потерь снизился с 13,7% до 10,3%, что обеспечило экономическую эффективность и ресурсосбережение.

Определён годовой экономический эффект от применения технологии цифрового двойника в системе электроснабжения сельской местности в 2024 году. Согласно расчётам, в 2023 году дополнительные затраты составили $d_1 = \frac{\Delta W_1 \cdot C_0}{W_1} = 4{,}18\, so'\mathrm{m}/kW \cdot h$, в 2024 году $d_2 = \frac{\Delta W_2 \cdot C_0}{W_2} = 4{,}03\, so'm/kW \cdot h$ разница составила δ=3,58%. Исходя из этого, начальный экономический эффект составил $C = W_2 \cdot C_0 \cdot \delta = 701{,}36$ млн. сумов. Однако, с учётом коэффициентов надёжности $R(t) = 0{,}81$ и валидности $Y(t) = 0{,}73$ цифрового двойника, итоговый результат составил $C_2 = 701{,}36 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}73 = 414{,}7$ млн. сумов. При исключении затрат (311,5 млн. сумов) чистый годовой экономический эффект составляет 103,2 млн. сумов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов научных исследований, выполненных в рамках диссертационной работы на соискание учёной степени доктора философии (PhD) по теме «Совершенствование методов повышения эффективности электрических сетей напряжением 35/6 кВ и снижения потерь электрической энергии», сформулированы следующие основные научные выводы и результаты исследования.

1. Проведён сравнительный анализ текущего эксплуатационного состояния сельских электрических сетей Республики Узбекистан и зарубежных стран. По результатам анализа установлено, что эксплуатационные показатели сельских электрических сетей напряжением 6 кВ в Узбекистане не в полной мере соответствуют требуемому уровню. В частности, выявлены значения показателей SAIDI ≥ 60 и SAIFI > 2, характеризующих продолжительность и частоту перерывов электроснабжения, а также уровень потерь электроэнергии, составляющий 6 % и более. На основании полученных результатов обоснована актуальность совершенствования метода, направленного на повышение эксплуатационной эффективности сельских электрических сетей напряжением 6 кВ, повышение надёжности электроснабжения и снижение потерь электроэнергии.

2. Проведён комплексный анализ объекта исследования с точки зрения эксплуатационных параметров электрических сетей. Разработана модель искусственной нейронной сети на основе архитектуры FNN (Feedforward Neural Network), предназначенная для предварительной оценки коэффициентов загрузки трансформаторов, входящих в состав исследуемого объекта. Применение предложенной модели позволило обеспечить возможность

прогнозирования перспективных коэффициентов загрузки трансформаторов с точностью 95 % и повысить оперативность выполнения расчётов.

3. Разработана модель многослойного персептрона (MLP) для расчёта и прогнозирования показателей эксплуатационной надёжности сельских электрических сетей на основе технологий искусственных нейронных сетей, а именно SAIDI (средний индекс продолжительности перерывов электроснабжения) и SAIFI (средний индекс частоты перерывов электроснабжения). В результате сравнения полученных с помощью модели результатов со значениями, определёнными на основе тестовых данных, достигнут показатель соответствия 0,99, что позволило оценить адекватность модели. Кроме того, разработаны метод автоматизированного расчёта показателей SAIDI и SAIFI, а также алгоритмы его реализации. В результате создана возможность высокоточного прогнозирования показателей эксплуатационной надёжности сельских электрических сетей, определения ожидаемых значений продолжительности и частоты перерывов электроснабжения, а также эффективного планирования эксплуатации сети.

4. Проведена оценка факторов, оказывающих наибольшее влияние на потери электроэнергии, и выполнен их отбор на основе критерия zz ($z \geq 1{,}96$). Разработана многофакторная модель определения потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 6 кВ на основе классического подхода и искусственной нейронной сети MLP с функцией активации ReLU и архитектурой (3, 9, 9, 30, 63). В результате создана возможность оценки потерь электроэнергии в сетях напряжением 6 кВ с учётом типа схемы электрической сети.

5. Разработаны алгоритмы программного обеспечения цифрового двойника сельских электрических сетей напряжением 6 кВ и соответствующие субмодули, обеспечивающие выполнение критериев мониторинга в режиме реального времени. В результате создана возможность контроля эксплуатационного состояния электрических сетей напряжением 6 кВ в полном объёме.

6. Усовершенствован метод выбора оптимальной схемы электроснабжения сельских электрических сетей напряжением 6 кВ и прогнозирования их эксплуатационного состояния с использованием технологий искусственных нейронных сетей на основе критерия минимизации потерь электроэнергии. Разработаны алгоритмы реализации предложенного метода. Практическое применение данного метода позволило обосновать возможность повышения эксплуатационной эффективности сельских электрических сетей на 3,62 % за счёт сопоставления электрических нагрузок с нормативными показателями и выбора оптимальной схемы электроснабжения. В результате установлено, что ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения предложенных научно-технических решений составляет 103,2 млн сумов.

DOCTOR OF SCIENCE DEGREE NUMBER DSc.03/30.12.2019.T.10.01 AT THE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION ENGINEERS AND AGRICULTURAL MECHANIZATION"

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM KARIMOV

KHOJAYOROV FAZLIDDIN ESHDAVLATOVICH

IMPROVING THE METHOD FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF 35/6 KV RURAL ELECTRICITY NETWORKS AND REDUCING ELECTRICITY WASTE

05.05.07 - "Electrical technologies and electrical equipment in agriculture"

DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR (PhD) ON PHILOSOFY

Tashkent -2026

The topic of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) is registered in the Higher Attestation Commission und the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2025.2. PhD/T3146

The dissertation Tashkent state technical university named after Islam Karimov The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summar)) is posted on the web page of the Scientific Council at (www.tiiame.uz) and the Information and Educational Portal "ZiyoNet" (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:	**Isaqov Ablusaid Jalilovich** Doctor of technical sciences, professor.
Official opponents:	**Muxammadiyev Ashraf Muxammadiyevich** Doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	**Rakhmatov Abdugani Djumabekovich** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Leading organization	Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Institute of Energy Problems

The defense of the dissertation will take place on "____" _____ 2026 at _____ o'clock at a meeting of the scientific council for awarding academic degrees of Doctor of Sciences under number DSc.03/30.12.2019.t.10.01 at the National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" (Address: 100000, Tashkent, Kori Niyoziy street, 39. Tel: (+999871) 237 09 45; fax: (+99871)237 38 79, e - mail:admin @ tiiame .uz).

The dissertation can be found at the Information Resource Center of the National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" (registration number ____ (Address: 100000, Tashkent, Kori Niyoziy Street, 39. Tel: (+999871) 237 09 45; fax: (+99871)237 38 79 , e - mail : admin @ tiiame.uz) .

The dissertation abstract was sent out on "____" _____, 2026.

(Minutes of mailing No. ___ dated "_____" _____ 2026).

B.S. Mirzaev
Chairman of the Scientific Council for Awarding Academic Degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

U.T. Kuziev
Scientific Secretary of the Scientific Council for Awarding Academic Degrees, PhD, Associate Professor.

D.B. Kodirov
Chairman of the scientific seminar at the scientific council for awarding academic degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (PhD dissertation abstract)

The aim of the work. It consists in increasing the operational efficiency of the 6 kV rural power supply system through the development and application of digital twin submodules.

Object of the research is the 6 kV distribution power networks of the rural electricity supply system were taken as the object of study.

The scientific novelty of the study is as follows:

a method for accounting for cumulative costs and technical constraints has been developed, enabling the improvement of the efficiency of rural power distribution networks and the reduction of electrical energy losses.

an algorithm has been developed for assessing the loading and operational performance of power transmission lines in 6 kV rural power distribution networks using artificial intelligence methods, as well as for determining the SAIDI and SAIFI reliability indices.

a method and algorithm have been developed for assessing the efficiency indicators of 6 kV rural power distribution networks based on indicator-based classification and for providing early warnings.

A set of digital twin modules has been developed for monitoring the energy-efficiency indicators of rural power distribution networks, and an algorithm has been developed for real-time monitoring of processes in the power network based on a logical algorithm.

Implementation of stady result. Based on the obtained results:

mathematical models and algorithms for evaluating operational indicators (loading of transmission lines and transformers, SAIDI and SAIFI coefficients) of the 6 kV rural power supply system, as well as digital twin modules for real-time monitoring, were experimentally implemented in 2024 at the Qibray district power networks enterprise (Certificate No. 01-02-10/1160 dated June 30, 2024, of the Regional Power Networks of Uzbekistan). As a result, by optimal redistribution of loads, the operational efficiency of the system was increased by 2,4 %, ensuring annual economic benefits of 103.2 million UZS;

the developed software module enabled monitoring of operational indicators, reporting on power consumption and equipment conditions, automatic data exchange, and optimization of energy distribution in 6 kV rural networks. This led to a significant reduction of energy losses, extended equipment lifetime, and improved reliability of electricity supply.

Volume and content of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

E’LON QILINGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo‘lim (I часть, I part)

1. Isakov A.J. Khojayorov F.E. Modeling reliability parameters of the operational condition of 6-10 kV rural power supply//Web of Scientist: International Scientific Research Journal. - 2023. - №7(4). P. 203-212 (05.00.00. ResearchBib. №14). https: // Wos.academaiscience.org

2. Isakov A.J. Khojayorov F.E. Evaluating Operational Condition Reliability Through Load Condition Forecasting. International Bulletin Of Engineering And Technology. 2023. P. 65-71. (05.00.00. ResearchBib. №14.) https: // doi.org/10.5281/zenodo.14202057

3. Isakov A.J. Khojayorov F.E. Saidxadjayev A.G. Calculation of electricity losses in rural power transmission lines with 6-10 kV voltage // European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies. - №11(4). - P. 99-106. (05.00.00. ResearchBib. №14). https: // doi.org/10.55640/eijmrms-04-011-15

4. Isakov A.J. Mamarasulova F.S. Xo’jayorov F.E. 6 kV li qishloq elektr tarmoqlari raqamli egizagi modullari va uning strukturasini ishlab chiqish//Central Asian Journal of Education and Innovation. - №12(3) 2024. - P. 5-10. (05.00.00. ResearchBib. №14). https: // doi.org/10.5281/zenodo.14288060

5. Isakov A.J. Khojayorov F.E. Improving electricity supply to agricultural consumers and enhancing the operational efficiency of power supply systems // «Energiya va resurslarni tejash muammolar» Maxsus nashr. 2022-№ 3. - P. 31-35. (05.00.00. №21). energy.tdtu.uz/index.php/journal/issue/archive

6. Isakov A.J. Xo’jayorov F.E. Jahon va mahalliy miqyosda qishloq elektr ta’minotining qiyosiy tahlili. «Energiya va resurslarni tejash muammolar» Maxsus nashr. 2023-№ (84).-B. 200-208. (05.00.00. №21). energy.tdtu.uz/index.php/journal/issue/archive

7. Isakov A.J. Rafikova G.R. Xo‘jayorov F.E. 6/10 kV li qishloq elektr tarmoqlarida elektr energiya isroflarini sun’iy intellekt orqali modellashtirish // «Energiya va resurslarni tejash muammolar» Maxsus nashr. №87. - Б. 317-322. (05.00.00. №21). energy.tdtu.uz/index.php/journal/issue/archive

II bo‘lim (II часть, II part)

8. Saidxodjaev A.G. Khojayorov F.E. Development of the theory of complexly closed city electrical networks // Rudenko International Conference on Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems E3S Web of Conferences 461, 01086 RSES (2023).
https: // doi.org/10.1051/e3sconf/202346101086

9. Saidxodjaev A.G. Khojayorov F.E. To evaluate the operational status of the transformer load using a feed-forward neural network for analysis. Rudenko International Conference on Methodological Problems in Reliability Study of Large

Energy Systems, E3S Web of Conferences 461, 01085 RSES 2023. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346101085

10. Saidxodjaev A.G. Khojayorov F.E. Karimov.I. Ilyasov.A. Problems of power supply to residential and public consumers in cities of Uzbekistan. // Scientific and Technical Conference on Actual Issues of Power Supply Systems, ICAIPSS 2023 Tashkent 7 September 2023до 8 September 2023.
https: // doi.org/10.1063/5.0219612

11. Saidxodjaev A.G. Khojayorov F.E. Orepberganov.Sh. Shermatov N. Smart Grid in Complex Closed Systems Supply City Electric “Smart grid” in complex closed systems city electric supply research article june 17 2024 aip conf. Proc. 3152, 050001 (2024). https://doi.org/10.1063/5.0219605

12. Kurbonov N. Akhmedova N. Khojayorov F. Djurayeva Sh. Dynamic method and algorithm for energy consumption optimization. // AIP Conf. Proc. 3331, 080003 (2025). https://doi.org/10.1063/5.0307093

13. Xo‘jayorov F.E. Qishloq xo‘jaligi iste’molchilarining elektr ta’minot tizimini kompleks yaxshilish muammolari va yechimlari // Xalqaro ilmiy-texnik anjuman «Elektr ta’minoti tizimining dolzarb muammolari». - Toshkent, 2022. - 11-12 noyabr. - B. 41-44.

14. Isakov A.J. Khojayorov F.E. Analysis of rural electrification in international and local standards // Actual problems of system power supply: collection of works of the international scientific and technical conference. - Tashkent: TDTU. 2023. - P. 103-105.

15. Isakov A.J. Khojayorov F.E. Analysis of rural electrification in international and local standards // Current Problems of the Electric Power Supply System: Proc. of the Int. Sci.-Tech. Conf. - Tashkent, 2023. - P. 214-217.

16. Isakov A.J. Khojayorov F.E. Development of the digital twin database for 6 kV rural power networks // Innovative research in science: International scientific-online conference. P. 70-71. - DOI: 10.5281/zenodo.14511957

17. Isakov A.J. Xo’jayorov F.E. Qishloq xo‘jaligi iste’molchilarini elektr energiyasi bilan ta’minlash va elektr ta’minoti tizimining ekspluatatsiya samaradorligini oshirish // «Energiya va resurs tejamkor innovatsion texnologiyalarni rivojlantirishning dolzarb muammolari» Respublika ilmiy-amaliy anjumani. - Qarshi, 2022. - B. 32-36.

18. Isaqov A.J. Xo‘jayorov F.E. Qishloq elektr ta’minoti raqamli egizagining tashqi nazorati. O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi. Sertifikat № DGU 44849. 21.11.2024.

19. Isaqov A.J. Xo‘jayorov F.E. 6/10 kV li optimal elektr ta’minoti sxemasini tanlash. O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi. Sertifikat № DGU 44850. 21.11.2024.

20. Isaqov A.J. Xo‘jayorov F.E. 6/10 kV li qishloq elektr tarmoqlarida qo‘shimcha elektr energiya isroflarini sun’iy intellekt orqali modellashtirish. O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi. Sertifikat № DGU 44851. 21.11.2024.

21. Isaqov A.J. Xo‘jayorov F.E. Qishloq elektr ta’minoti ekspluatatsion holati ishonchliligi parametrlarini hisoblash. O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi. Sertifikat № DGU 44852. 21.11.2024.

22. Isaqov A.J. Xo‘jayorov F.E. Qishloq elektr ta’minoti ekspluatatsion holati ishonchliligi parametrlarini hisoblash. O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi. Sertifikat № DGU 44853. 21.11.2024.

23. Isaqov A.J. Xo‘jayorov F.E. Qishloq elektr ta’minoti ekspluatatsion holati ishonchliligini yuklanish holatini bashorat qilish orqali baholash. O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi. Sertifikat № DGU 44855. 21.11.2024.

24. Isaqov A.J. Xo‘jayorov F.E. ElectricalNetwork ma’lumotlar bazasi. O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi. Sertifikat № BGU 1732. 18.12.2024.

25. Isaqov A.J. Xo‘jayorov F.E. Environmental Monitoring ma’lumotlar bazasi. O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi. Sertifikat № BGU 1756.21.12.2024.

Avtoreferat “Iqtidor egalari” MCHJ tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va uning o‘zbek, rus, ingliz (tezis) tillardagi matnlari mosligi tekshirildi. (__ ____2026 y.)

Bosishga ruxsat etildi: _____2026-yil.
Bichimi 60x84 1/16 , “Times New Roman”
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3.2. Adadi: 100. Buyurtma: № 77.
“Iqtidor egalari” MCHJ nashriyotida bosildi.
Toshkent sh. Olmazor tumani, Nodira ko‘chasi, 19-uy.