

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

XAYRULLAYEV ALISHER FAYZULLA O'G'LI

PAST KUCHLANISHLI HAVO ELEKTR UZATISH LINIYALARINING
SIMSIZ SENSOR TARMOQLARI ASOSIDA MASOFADAN
MONITORINGI

05.04.02 – Radiotexnika, radionavigatsiya, radiolokatsiya va televideniye tizimlari va qurilmalari. Mobil, tolaoptik aloqa tizimlari

TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI

Toshkent – 2025

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

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical science**

Xayrullayev Alisher Fayzulla o‘g‘li

Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining simsiz sensor tarmoqlari
asosida masofadan monitoringi 3

Хайруллаев Алишер Файзулла угли

Дистанционный мониторинг низковольтных воздушных линий
электропередачи на основе беспроводных сенсорных сетей 21

Khayrullaev Alisher Fayzulla ugli

Remote monitoring of low-voltage overhead power lines based on wireless sensor
networks 41

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works 45

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

XAYRULLAYEV ALISHER FAYZULLA O'G'LI

PAST KUHLANISHLI HAVO ELEKTR UZATISH LINIYALARINING
SIMSIZ SENSOR TARMOQLARI ASOSIDA MASOFADAN
MONITORINGI

05.04.02 – Radiotexnika, radionavigatsiya, radiolokatsiya va televideniye tizimlari va qurilmalari. Mobil, tolaoptik aloqa tizimlari

TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.3.PhD/T3694 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tuit.uz) va «ZiyoNet» axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich
texnika fanlar doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Siddikov Ilxomjon Xakimovich
texnika fanlar doktori, professor

Djabbarov Shuxrat Yuldashevich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Toshkent davlat transport universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.02 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil "3" may soat 10⁰⁰ daqi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (+99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (348 - raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (+99871) 238-64-15).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil "22" aprelda tarqatildi.
(2025 yil "22" apreldagi 5 - raqamli reestr bayonnomasi).



B.Sh. Maxkamov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

M.S. Saitkamolov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi, iqtisodiyot fanlari doktori, dotsent

D.Ya. Irgasheva
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda energetika sohasining rivojlanishi natijasida, energiya resurslarini tejash, energetika xavfsizligini ta'minlash shuningdek, iqtisodiyot sohalari va aholining energiya resurslariga tobora o'sib borayotgan ehtiyojini qondirishda simsiz sensorli tizimlar asosida nazorat va monitoring qilishning axborot dasturiy ta'minoti hamda innovatsion o'lchov qurilmalarini ishlab chiqishga alohida e'tibor berilmoqda. Energiya samaradorligini baholashda intellektual raqamli texnologiyalar va axborot kommunikatsiya texnologiyalarini qo'llash, elektr energiya iste'moli me'yorlarini aniqlashni avtomatlashtirish xususan, elektr tarmoqlari xo'jaliklarida elektr energiya isroflarini kamaytirish, havo elektr uzatish liniyalariga tashqi muhit ta'sirini aniqlash va texnik nosozliklarni oldini olishga qaratilgan bir qator amaliy yechimlar ishlab chiqilmoqda.

Jahonda energiya resurslari manbaalari narxining keskin oshishi ishlab chiqarishning barcha sohaslarida energiya tejamkorlik muammosining yechimlarini topishga doir ilmiy tadqiqotlar olib borishni taqozo etadi. Jumladan, ushbu sohada, simsiz sensorli texnologiyalardan foydalanish, monitoring modellari, turli vaziyatlarda simsiz sensorli tizimning ishlash algoritmlarini yaratish nihoyatda dolzarb hisoblanmoqda. Ayniqsa, iqlim omillarini hisobga olgan holda past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini uzluksiz monitoring qilishning zamonaviy tizimlarini joriy etish, holatlar bo'yicha tezkorlik bilan ogohlantiruvchi o'lchov va nazoratni amalga oshirish hamda masofadan monitoring tizimining ishonchligini baholash analitik ifodalarini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda energiya resurslaridan noqonuniy foydalanish va uzatish tarmoqlardagi nosozlik holatlarini oldini olish, elektr uzatish liniyalarini masofadan monitoring etish, mamlakatimizning energetik salohiyati va iqtisodiyotimizning raqobatbardoshligini oshirishda axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan samarali foydalanishga qaratilgan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-sonli Farmonining 24-maqсадida: "O'zbekiston energetika tizimining qo'shni davlatlar energetika tizimlari bilan barqaror ishlashini ta'minlash. Sanoat tarmoqlarida yo'qotishlarni kamaytirish va resurslarni ishlatish samaradorligini oshirish" vazifalari belgilangan¹. Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan monitoring qilish qurilmasini ishlab chiqish, simsiz sensor tarmoqlari asosida real vaqt rejimida ishonchli va xavfsiz ma'lumot uzatish jarayonini tashkil etish, tarmoq samaradorligini oshirish uchun monitoring tizimlarining ishonchligini baholashning analitik ifodalarini ishlab chiqish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 28-sentabrdagi "Energetika sohasini isloh qilishning navbatdagi bosqichini amalga oshirish chora-tadbirlari

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son Farmoni.

to'g'risida" PF-166-sonli Farmoni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 13-fevraldagi "Yoqilg'i-energiya resurslaridan foydalanish sohasida davlat nazorati samaradorligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida" PQ-54-son Qarori, O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2021-yil 31-avgustdagi "Yuridik va jismoniy shaxslarni elektr tarmoqlariga ulash bo'yicha davlat xizmatlari ko'rsatishning ma'muriy reglamentini tasdiqlash to'g'risida" 555-son Qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II. "Energetika, energiya va resurslar tejamkorligi" va IV. "Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish" ustuvor yo'nalishlari doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. So'ngi yillarda energetika sanoatini baholash, elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish va iste'mol qilish jarayonida yuz beruvchi hodisalarni monitoring qilishda zamonaviy simsiz sensor texnologiyalarini tadbiq etish bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda. Simsiz sensor texnologiyalari yordamida tashkil etiladigan masofadan monitoring tizimlarining modellari, ishlash algoritmlari va dasturiy vositalarini yaratish, o'lchov natijalarini o'z vaqtida yetkazib berish bo'yicha keng qamrovli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan monitoring qilish usullari va algoritmlarini yaratishga mo'ljallangan masalalar hamda ularning yechimlari Springer, IEEE Xplore, Cyberlink, Scopus, Web of Science, Elsevier hamda ProQuest nashriyotlarining ma'lumotlar bazalariga kiritilgan jurnallarda chop etilgan maqolalar tahlil qilindi.

Simsiz sensor tarmoqlari asosida masofadan monitoring qilish muammolari dunyo ilm hamjamiyatida keng yoritilgan. Jumladan, havo elektr uzatish liniyalarida masofadan monitoring modeli va intellektual diagnostika tizimlarini tashkil etish masalalariga Wang G, Q.-p.Yang, K.Zhang, Troppauer W., M.I.Ibrahim, M.M.Fouda, Poudel B., A.Giovanni, C.Antonio, C.Valentina, M.Eissa, S.Abdelrahman, M.I.Fyodorova, I.N.Fomin, V.A.Listyuxin va boshqa taniqli olimlarning ilmiy ishlarida yoritilgan. Elektr uzatish liniyalaridagi noqonuniy ulanishlarni aqlli hisoblagichlar asosida monitoring qilish A.P.Sanyukta., A.V.Christopher, Krishnasvamy R., Jurgen Schlabbach va boshqa olimlarning ilmiy ishlarida ko'rib chiqilgan. Simsiz sensor tarmoqlari va sun'iy intellekt asosida aqlli energetika tarmoqlarini qurish muammolarini yechishga esa A.D.Muruganandhan, S.Saha, Lei Deng, Andrzej Antosz, C.M.Jonilo va boshqa xorijiy olimlarning ilmiy ishlari bag'ishlangan. Energiya ta'minot manbalarining masofadan monitoring tarmog'ini tashkil etish masalalarida respublikamizning olimlari X.F.Fozilov, I.X.Siddikov, X.A.Sattarov, A.N.Tovboyev, N.N.Mirzoyev, X.E.Xujamatovlar tadqiqotlar olib borishgan. Shu bilan birga akademik T.D.Rajabov, A.M.Nazarov, M.M.Muxitdinov, R.I.Isayev, N.X.Gulto'rayev, Sh.Yu.Djabbarov, B.N.Raximov, Sh.U.Pulatovlarning telekommunikatsiya tarmoqlari va ularning ishonchlilik masalalarini yechishga qaratilgan ilmiy ishlarini alohida e'tirof etish lozim.

Olib borilgan tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, past kuchlanishli havo elektr

uzatish liniyalarining simsiz sensorli tarmoqlari asosida masofadan monitoringi, taqsimlash transformatori va iste'molchi hisoblagichi orasidagi liniyani nazorat qilishda masofadan monitoring usuli, algoritmlari va ularni ishonchliligini baholashning analitik ifodalarini ishlab chiqish hamda amaliyotga tadbiiq qilish masalalari bo'yicha yetarlicha tadqiqot olib borilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim yoki ilmiy tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.

Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy tadqiqot ishlari rejasining №UZB-Ind-2021-94-sonli "CRN asoslangan IoT dan foydalaniladigan "Aqlli shahar" tizimlarida energiya tejamkor aloqa va ma'lumotlar oqimi (2021-2023)" mavzusidagi xalqaro va FL-7923051857 sonli "Sun'iy yo'ldosh aloqa kanallarining xususiyatlarini modellashtirish usullari, texnikasi va dasturiy ta'minoti (2024-2026)" mavzusidagi ilmiy loyihalar doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini simsiz sensorli tarmoq yordamida masofadan monitoringi usuli, algoritmlari va ishonchlikni baholashning analitik ifodalarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

havo elektr uzatish liniyalarida energiya yo'qolishi va texnik nosozliklarga ta'sir etuvchi mavjud muammolar hamda ularni monitoring qilish usullari va vositalarini tahlil qilish;

simsiz sensor tarmoqlari asosida past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining masofadan monitoring usulini takomillashtirish;

past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan monitoring qilish qurilmasining modelini ishlab chiqish;

past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan monitoringi tizimi va qurilmasining ishlash algoritmlarini yaratish;

masofadan monitoring tizimi simsiz sensor tarmog'i ishonchliligining baholash analitik ifodalarini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obyekti sifatida simsiz sensorli tarmoqlar, past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining ko'rsatgichlari (kuchlanish, tok kuchi, quvvat), masofadan monitoring tizimi olingan.

Tadqiqotning predmetini past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarini simsiz sensorli tarmoqlar asosida masofadan monitoring usuli, algoritmlari hamda ularning ishonchliligini baholashning analitik ifodalari tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida simsiz sensor tarmoqlari asosida past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatining ko'rsatkichlari ma'lumotlarini qayta ishlashning ilmiy tahlili, simsiz sensorlar va havo elektr uzatish liniyalarining elektr xususiyatlari o'zgarishlarini eksperimental o'rganish, avtomatik boshqarish va masofadan monitoring nazariyasi, ishonchlik nazariyasi, tajriba sinovlar o'tkazish hamda tadqiqot natijalarini statistik qayta ishlash usullaridan foydalanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

simsiz sensor tarmoq yordamida past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalardagi joriy kuchlanish, tok kuchi, haroratni masofadan monitoringi asosida

normal, qisqa tutashuv, faza va neytral uzilish holatlarini aniqlovchi usul takomillashtirilgan;

past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalardagi kuchlanish, tok kuchini o'lchaydigan, harorat va namlik sensorlaridan tashkil topgan, GPS orqali nosozlik joyini aniqlovchi, o'lchangan ma'lumotlarni simsiz aloqa yordamida uzatish va qabul qilish imkonini beruvchi masofadan monitoring qurilmasining modeli va ishlash algoritmi yaratilgan;

simsiz tarmoq yordamida o'lchangan kuchlanish, tok kuchi, haroratni kuzatish orqali havo elektr uzatish liniyalardagi nosozliklarni aniqlovchi va samaradorlikni oshiruvchi masofadan monitoring tizimining ishlash algoritmi yaratilgan;

past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari monitoring tizimi simsiz sensor tarmog'i ishonchliligining baholash aniqligini oshirish imkonini beruvchi ketma-ket va murakkab ulanish topologiyalari uchun analitik ifodalar ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining kuchlanishi, tok kuchi, quvvati va chastotasi kabi asosiy elektr parametrlarini masofadan o'lchash va monitoring qilish imkonini beruvchi qurilmaning zamonaviy dasturiy ta'minot algoritmlari va axborot uzatish texnologiyalarini o'zida mujassamlashtirgan funksional dasturiy modul ishlab chiqildi;

qurilma sensorlaridan yig'ilgan ma'lumotlarni serverda saqlash, ularni real vaqt rejimida doimiy kuzatish, yig'ilgan ma'lumotlar ustida statistik tahlillar olib borish va holatni oldindan baholash hamda bashorat qilish imkoniyatini beradigan past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalaridagi joriy holatini masofadan monitoring tizimi uchun dasturiy ta'minot yaratildi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi liniyadagi texnik nosozliklarni oldini olish maqsadida past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini simsiz sensor tarmoqlari asosida masofadan monitoring qilish tizimining ishlab chiqilganligi, muammoning to'g'ri bayon qilinishi va amaliy tadqiqotlarning tasdiqlanishi, tekshirilgan hisoblash usullari va algoritmlaridan foydalanish, nazariy va amaliy tadqiqotlar natijalarini umumiy qabul qilingan mezonlar asosida qiyosiy tahlil qilish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida energiya yo'qolishi va texnik nosozliklarga ta'sir etuvchi liniya ko'rsatkichlarni o'lchovchi va ma'lumotlarni simsiz uzatish qurilmasining fizik modeli va ishlash algoritmi yaratilganligi, simsiz sensorlar asosida masofadan monitoring usulining takomillashtirilganligi hamda tizimning ishonchliligini baholash analitik ifodalari ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyadagi har bir faza kuchlanishi, tok kuchi va chastotasini, muhit haroratini o'lchash qurilmasi uchun dastur, qurilma sensorlaridan olingan ma'lumotlarni serverda saqlash, ularni real vaqt rejimida doimiy kuzatish, yig'ilgan ma'lumotlar ustida statistik tahlillarni olib borish, holatni baholash imkoniyatini beradigan masofadan monitoring tizimi uchun dasturi yaratilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini simsiz sensor tarmoqlari asosida masofadan monitoringini amalga oshirish bo'yicha olingan natijalar asosida:

past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan monitoring qilish qurilmasining modeli va ishlash algoritmi "Hududiy elektr tarmoqlari" AJ Qashqadaryo hududiy filiali Muborak tumani ETK da joriy etilgan ("Hududiy elektr tarmoqlari" AJ Qashqadaryo hududiy filiali Muborak tumani ETKning 2024-yil 5-sentabrdagi dalolatnomasi; O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalari vazirligining 2024-yil 31-oktabrdagi 33-8/7374-05/6078-son ma'lumotnomasi). Ilmiy tadqiqot natijasida, past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan monitoring qilish qurilmasining fizik modeli va ishlash algoritmi asosida uch fazali past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyasidagi har bir fazaning kuchlanish va tok kuchini o'lchash xatoligi o'rtacha 0,5 foizdan oshmagan, chastotani yuqori aniqlikda o'lchash, GPS moduli o'rnatilganligi hisobiga nosozlik sodir bo'lgan hududni masofadan aniqlash imkoniyati paydo bo'lgan. Har bir fazaning o'lgangan kuchlanish, tok kuchi, chastota ko'rsatkichlari to'g'risida ma'lumotlar monitoring markaziga hamda nazoratchi mutaxassis mobil qurilmasiga xabar SMS shaklida yuboriladi;

past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining takomillashtirilgan masofadan monitoring usuli, masofadan monitoring tizimining ishlash algoritmi va dasturi "UNICON.UZ" MChJ da joriy etilgan ("UNICON.UZ" MChJning 2024-yil 20-sentabrdagi 6-12/1867-son dalolatnomasi; O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalari vazirligining 2024-yil 31-oktabrdagi 33-8/7374-05/6078-son ma'lumotnomasi). Takomillashtirilgan masofadan monitoring usuli qo'llanilishi natijasida, uch fazali past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalaridagi kuchlanish, tok kuchi va chastota qiymatlarining monitoringi orqali real vaqtda liniyaning joriy holatini va nosozliklarni aniqlash imkoniyati yaratilgan. Masofadan monitoring tizimining ishlash algoritmi va dasturi yordamida uch fazali past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyasidagi qisqa tutashuv, faza yoki neytralning uzilishi kabi nosozliklar simsiz tarmoq orqali operativ (tezkor) aniqlashga erishildi. Natijada, hisoblash jarayonlari 1,5-2 barobarga tezlashgan, elektr liniyalarining texnik holatidagi o'zgarishlarni nazorat qilinishini tezlashtirgan holda monitoring aniqligi 20-30% ga oshirilgan;

simsiz sensor tarmog'i ishonchliligini baholash analitik ifodalari, takomillashtirilgan masofadan monitoring usuli, masofadan monitoring tizimining ishlash algoritmi va dasturi yordamida olingan natijalar "O'zbektelekom" AK va "UNICON.UZ" MChJda joriy etilgan ("O'zbektelekom" AKning 2024-yil 18-oktabrdagi 27-02-21/3748-son dalolatnomasi; "UNICON.UZ" MChJning 2024-yil 20-sentabrdagi 6-12/1867-son dalolatnomasi; O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalari vazirligining 2024-yil 31-oktabrdagi 33-8/7374-05/6078-son ma'lumotnomasi). Natijada, ikki turdagi (ketma-ket va murakkab) ulanishlar uchun ishlab chiqilgan ishonchlilikni baholash analitik modellari yordamida tarmoqda nosozliklar paydo bo'lishidan oldin tuzatuvchi ishonchlilik choralari qo'llash orqali rad etish ehtimolini kamaytirishga va tarmoqning rad etmasdan ishlash vaqtini 15-20% gacha oshirishga erishilgan.

Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan monitoring qilish qurilmasi uchun O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi tomonidan foydali model uchun patent olingan (FAP 2577, 10.09.2024 yil).

Tadqiqot natijalarining aprotatsiyasi. Tadqiqotlar natijalari 6 ta xalqaro, 4 ta respublika ilmiy-amaliy konferensiyalar hamda ilmiy seminarlarda muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi. Tadqiqot mavzusi bo‘yicha jami 25 ta ilmiy ishlar, ulardan 10 ta maqolalar O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan jurnallarda, shu jumladan 2 ta xorijiy jurnallarda chop etilgan. 1 ta foydali model uchun patent va 4 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarga O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi tomonidan rasman ro‘yxatdan o‘kazilganlik guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya ishi o‘zbek tilida yozilgan bo‘lib, uning hajmi 118 bet, jumladan, kirish, to‘rtta bob, xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat.

DISSERTATSIYA ISHINING ASOSIY MAZMUNI

Kirishda dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, maqsad va vazifalar shakllantirilgan, tadqiqot obyektlari va predmetlari aniqlangan, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi ilm-fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi aniqlashtirilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan, olingan natijalarining ishonchliligi asoslangan, olingan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, amaliyotga joriy etilgan tadqiqot natijalari, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya ishining tuzilmasi bo‘yicha ma‘lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning “**Havo elektr uzatish liniyalarining tuzilishi, monitoring usullari va vositalari**” deb nomlangan birinchi bobida elektr energiyasini taqsimlash, uzatish va iste‘molchilarga yetkazib berish tizimining xususiyatlari, havo elektr uzatish liniyalari (HEUL)ning samaradorlik va ishonchlilik ko‘rsatkichlarini aniqlashda ularning monitoring holati, liniyadagi nosozlik sabablari hamda ularni monitoring qilish usullari va qurilmalarining qiyosiy tahlili keltirilgan. Tahlillar natijasida, HEULdagi nosozlik va energiya yo‘qolishining asosiy ulushi past kuchlanishli liniyalar hissasiga to‘g‘ri kelishi, ushbu liniyalarning ko‘rsatkichlarini nazorat qilish hamda real vaqtda simsiz sensorli tarmoqlar asosida masofadan monitoring tizimini yaratish zaruriyati ko‘rsatilgan.

Elektr energiyasini hududiy elektr tarmoqlari bo‘ylab uzatishda uning yuklama yo‘qotishlari hajmi ($\Delta W_{y.H.}$) quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\Delta W_{y.H.} = \Delta W_{y.T} \cdot \left(\frac{W_{TBH}}{W_{TBT}} \right)^2, \quad (1)$$

bu yerda $\Delta W_{y.T}$ —elektr energiyasining tayanch davrdagi yuklama yo‘qotishlari hajmi, W_{TBH}, W_{TBT} —tegishli tayanch va hisob davrida hududiy elektr tarmoqlariga berilgan (beriladigan) elektr energiyasining hajmi. Bunda boshqa elektr tarmoqlari orqali iste‘molchilarga yetkazib berilgan elektr energiyasi ushbu hajmga

kiritilmaydi. Hududiy elektr tarmoqlari bo‘ylab elektr energiyasini uzatishda uning hisobga olish tizimining ruxsat etilgan xatoliklari bilan bog‘liq yo‘qotishlari hajmi ($\Delta W_{xato.H}$) quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$\Delta W_{xato.H} = \frac{W_{xato.T\%} \cdot W_{TB.H}}{100}, \quad (2)$$

bu yeda $W_{xato.T\%}$ – hisoblangan tayanch davrdagi elektr energiyasining hisobga olish tizimining ruxsat etilgan xatoliklari bilan bog‘liq yo‘qotishlari hajmi (foizda).

Past kuchlanishli HEUL holatini (qisqa tutashuv, faza va neytral simning uzilishi, normal) aniqlash va simsiz sensor tarmoqlari asosida samarali monitoring tizimini yaratish yuqorida ta’kidlangan yo‘qotishlarni kamaytirish va liniyaning yashovchanligini oshirishga xizmat qilishi aniqlandi.

Dissertatsiyaning “**Masofadan monitoring usuli, qurilmaning modeli va ishlash algoritmini yaratish**” deb nomlangan ikkinchi bobida past kuchlanishli HEULdagi nosozliklarni monitoring qilish va energiya yo‘qotishlarini kamaytirish uchun simsiz sensor tarmoqlari asosida takomillashtirilgan masofadan monitoring usuli taklif etilgan. Ushbu usulni samarali amalga oshirish uchun past kuchlanishli HEULning holatini masofadan monitoring qurilmasini tuzilish sxemasi ishlab chiqilgan va fizik modeli yaratilgan. Shuningdek, liniyadagi kuchlanish, tok kuchi, harorat, chastota va quvvat kabi parametrlarni aniqlash uchun masofadan monitoring qurilmasining ishlash algoritmi ham yaratilgan.

Past kuchlanishli uch fazali (A, B, C fazalar) HEUL da kuzatiladigan nosozliklarning eng ko‘p tarqalgan turlari sifatida qisqa tutashuvlar, faza yoki neytral simlarning uzilishi, noqulay ob-havo sharoitlari ta’sirida elektr o‘tkazgichlarning uzilishi, izolyatsiya qoplamalarining eskirishi va mexanik shikastlanishlarni sanash mumkin. Ushbu holatlarni oldini olish va nosozliklarni monitoring qilish uchun simsiz sensor tarmoqlari asosida takomillashtirilgan masofadan monitoring usuli 1-rasmda keltirilgan. Ushbu usul quyidagi bosqichlardan tashkil topgan:

1. *Nazorat ko‘rsatkichlarini aniqlashda* asosiy ko‘rsatkichlar: kuchlanish (U), tok kuchi (I) va muhit harorati (T) o‘lchanadi. Bu ko‘rsatkichlar asosida C_{HEUL} – HEUL holati funksiyasi yordamida liniyaning joriy yoki favqulodda holati aniqlanadi.

2. *Past kuchlanishli HEUL holatini tekshirish* bosqichida past kuchlanishli HEULning joriy holati yaratilgan masofadan monitoring qurilmasi tomonidan o‘lchangan liniya ko‘rsatkichlari haqidagi ma’lumotlar asosida aniqlanadi. Ushbu o‘lchangan ko‘rsatkichlar yordamida monitoring tizimi quyidagi asosiy holatlarni aniqlashi mumkin:

Normal holat. Sensorlardan olingan ma’lumotlar asosida dastlab belgilangan minimal va maksimal qiymatlar bilan taqqoslanadi:

$$U_{\min} \leq U \leq U_{\max}, I_{\min} \leq I \leq I_{\max}, T_{\min} \leq T \leq T_{\max}, \quad (3)$$

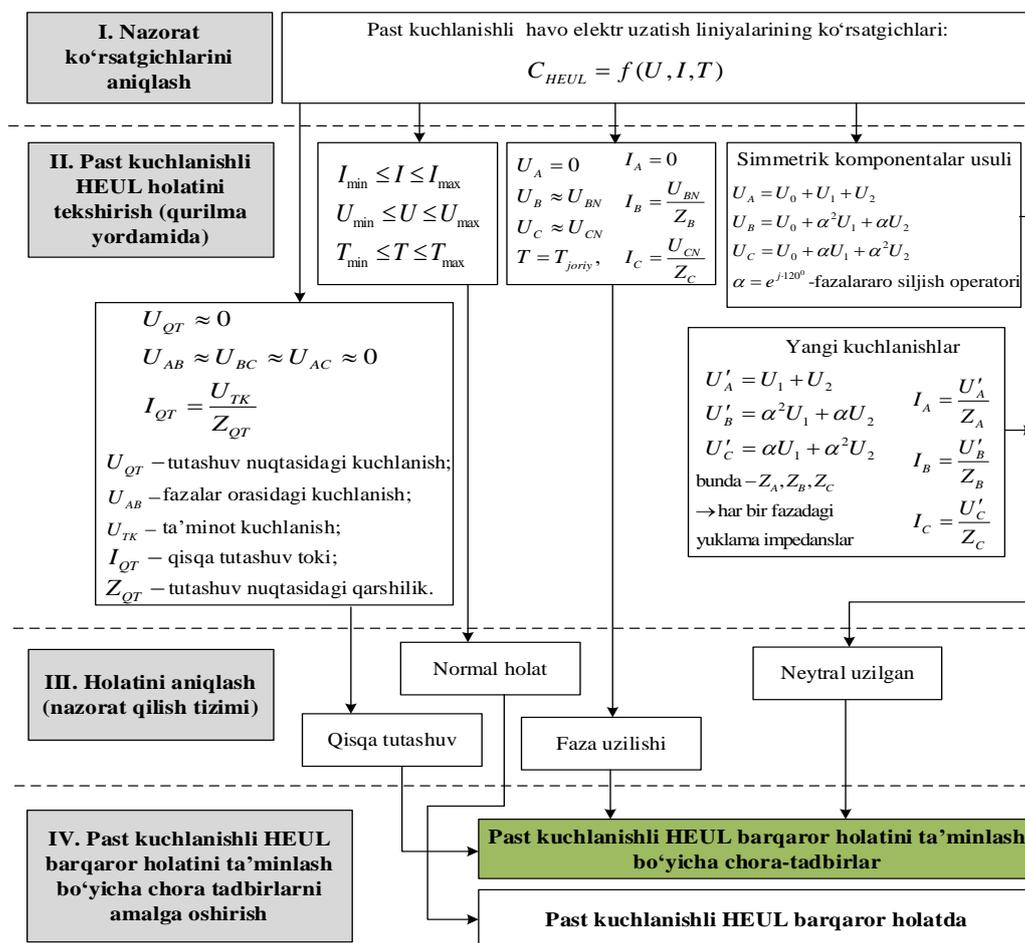
bu yerda U_{\min}, U_{\max} – fazadagi kuchlanishning minimal va maksimal ruxsat etilgan qiymatlari; I_{\min}, I_{\max} – fazadagi tokning minimal va maksimal ruxsat etilgan

qiymatlari; T_{\min}, T_{\max} — muhit haroratining minimal va maksimal ruxsat etilgan qiymatlari.

Agar har qanday parametr ushbu (3) chegaraviy shartlarni qanoatlantirsa elektr liniyasi normal holatda deb baholanadi, aks xolda tizim normal ishlash holatini yo‘qotadi.

Qisqa tutashuv. Odatda fazalararo yoki fazadan yerga qisqa tutashuv paydo bo‘lganida A, B, C fazalar orasidagi kuchlanishlar (U_{AB}, U_{BC}, U_{AC}) ning nolga teng bo‘lishi yoki qisqa tutashuv toki (I_{QT}) ning keskin oshishi holati kuzatiladi (1-rasm).

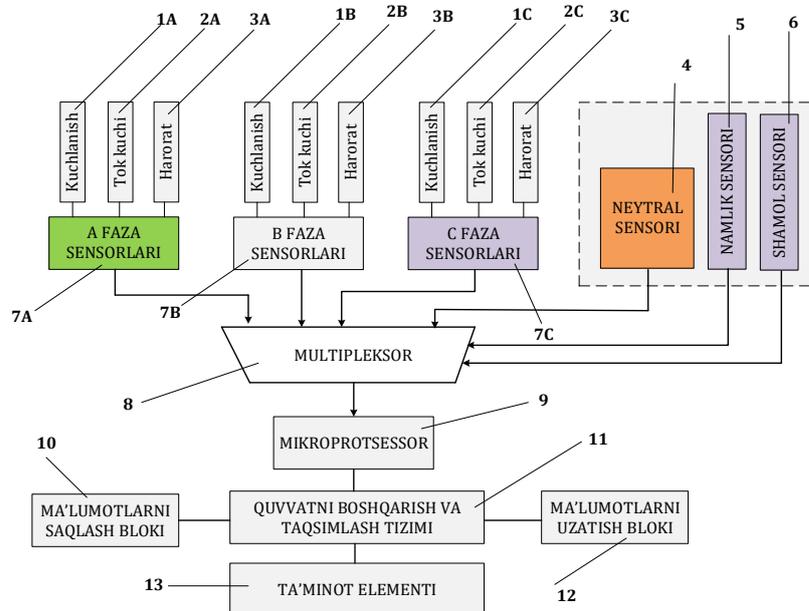
Faza va neytral uzilishi. A, B, C fazalardan birining uzilishi sababli simmetrik komponentalar usuli yordamida fazalardagi tok (I_A, I_B, I_C) va kuchlanishlarning (U_A, U_B, U_C) nolga tengligi aniqlanadi. Simmetrik komponentalar usuli va yangi kuchlanishlar (U'_A, U'_B, U'_C) ning paydo bo‘lishi ehtimoli bo‘yicha liniyaning real vaqtdagi fazalarning kuchlanish va tok ko‘rsatkichlari o‘lchanadi va har bir fazaning qiymatlari tahlil qilinadi. Agar yangi ko‘rsatkichlar chegaraviy qiymatlardan chetga chiqqan bo‘lsa, unda nosozliklar bor deb qabul qilinadi.



1-rasm. Masofadan monitoringni tashkil etishning takomillashtirilgan usuli

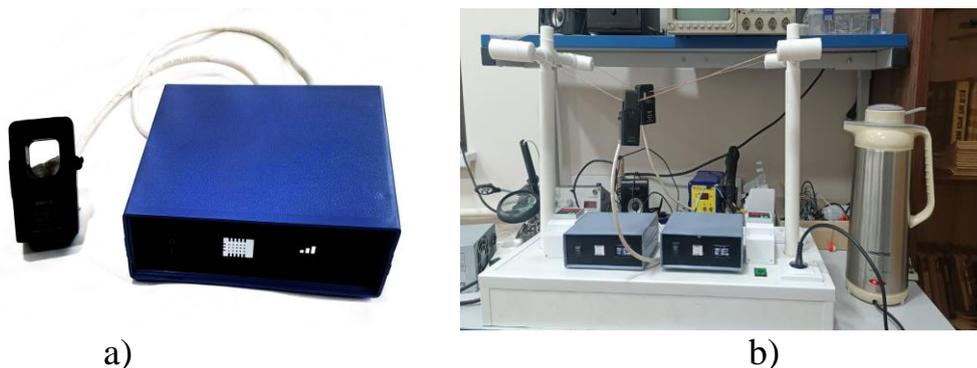
3. *Holatini aniqlash (nazorat qilish tizimi)* bosqichida aniqlangan nosozliklar (qisqa tutashuv, faza uzilishi, neytral uzilishi) va normal holatlar asosida keyingi bosqichda liniyani barqaror holatga keltirish uchun belgilangan chora-tadbirlar amalga oshiriladi.

4. Past kuchlanishli HEUL barqaror holatini ta'minlash bo'yicha chora tadbirlarni amalga oshirish. Agar qisqa tutashuvlar aniqlangan bo'lsa, liniya avtomatik ravishda o'chiriladi va nosozliklar bartaraf etiladi. Agar liniya chegaraviy qiymatlar asosida ishlayotgan bo'lsa, past kuchlanishli HEUL barqaror holatda ishlayotganligi to'g'risida monitoring markaziga axborot beriladi. Takomillashtirilgan monitoring usulini muvaffaqiyatli amalga oshirish uchun masofadan monitoring qurilmasining tuzilish sxemasi ishlab chiqilgan (2-rasm).



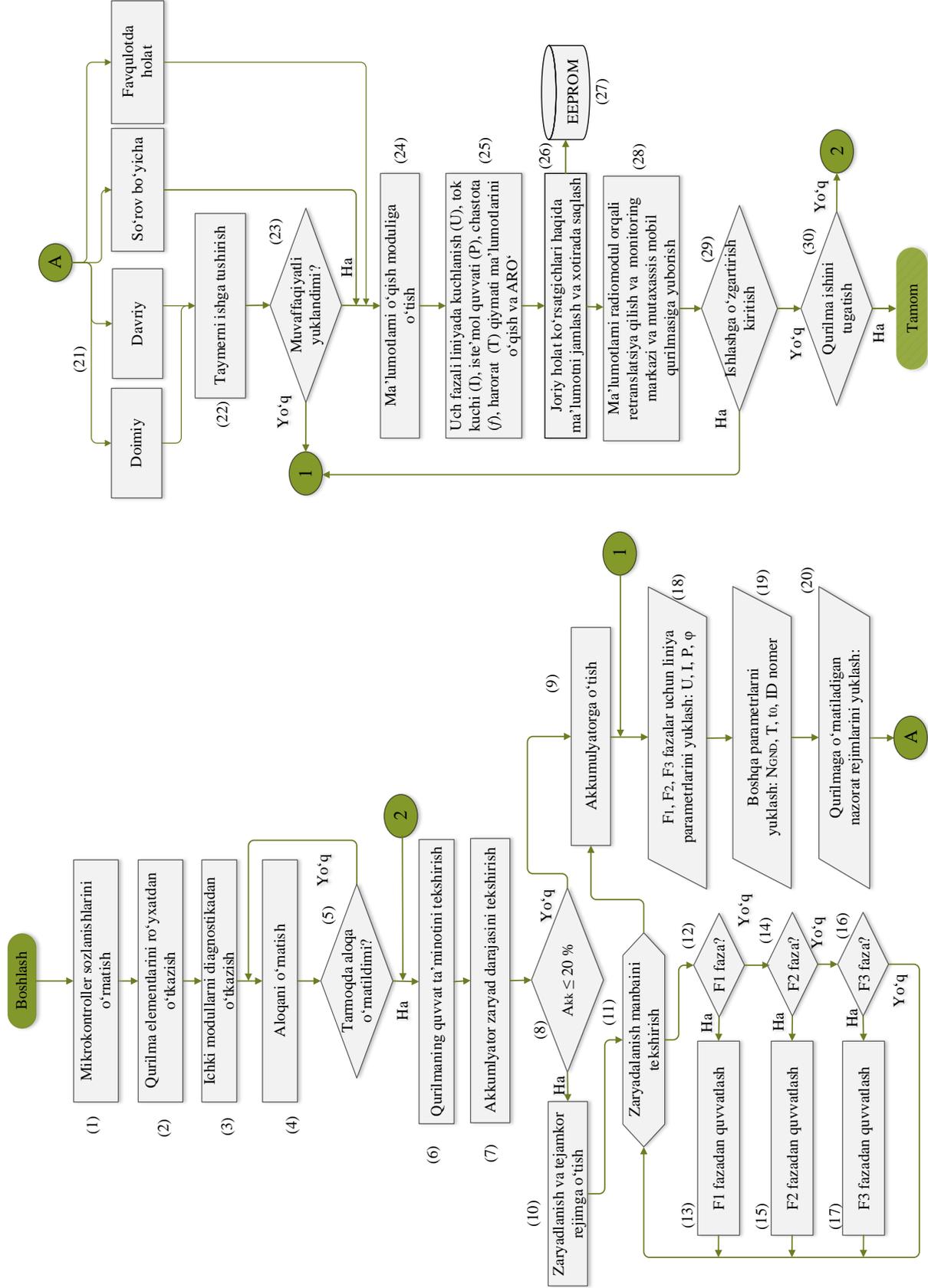
2-rasm. Masofadan monitoring qurilmasining tuzilish sxemasi

Qurilma fazalarning kuchlanish (U), tok kuchi (I), quvvat (P), chastota (f) kabi parametrlari, atrof-muhit harorati (T) va namligi, shamol tezligini doimiy o'lchaydi, lokatsiyasi aniqlanadi va nosozlik sodir bo'lgan hududni masofadan aniqlashga hamda simsiz tarmoq yordamida holat to'g'risida ma'lumot uzatish va qabul qilishga imkon beradi.



3-rasm. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan monitoring qurilmasining fizik modeli: a) tashqi ko'rinishi; b) tajriba sinov jarayoni

Ishlab chiqilgan masofadan monitoring qurilmasining tuzilish sxemasi asosida elementlar bazasi tanlandi va qurilmaning fizik modeli ishlab chiqildi (3-rasm). Ushbu qurilmaga O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi tomonidan foydali model uchun patent olingan.



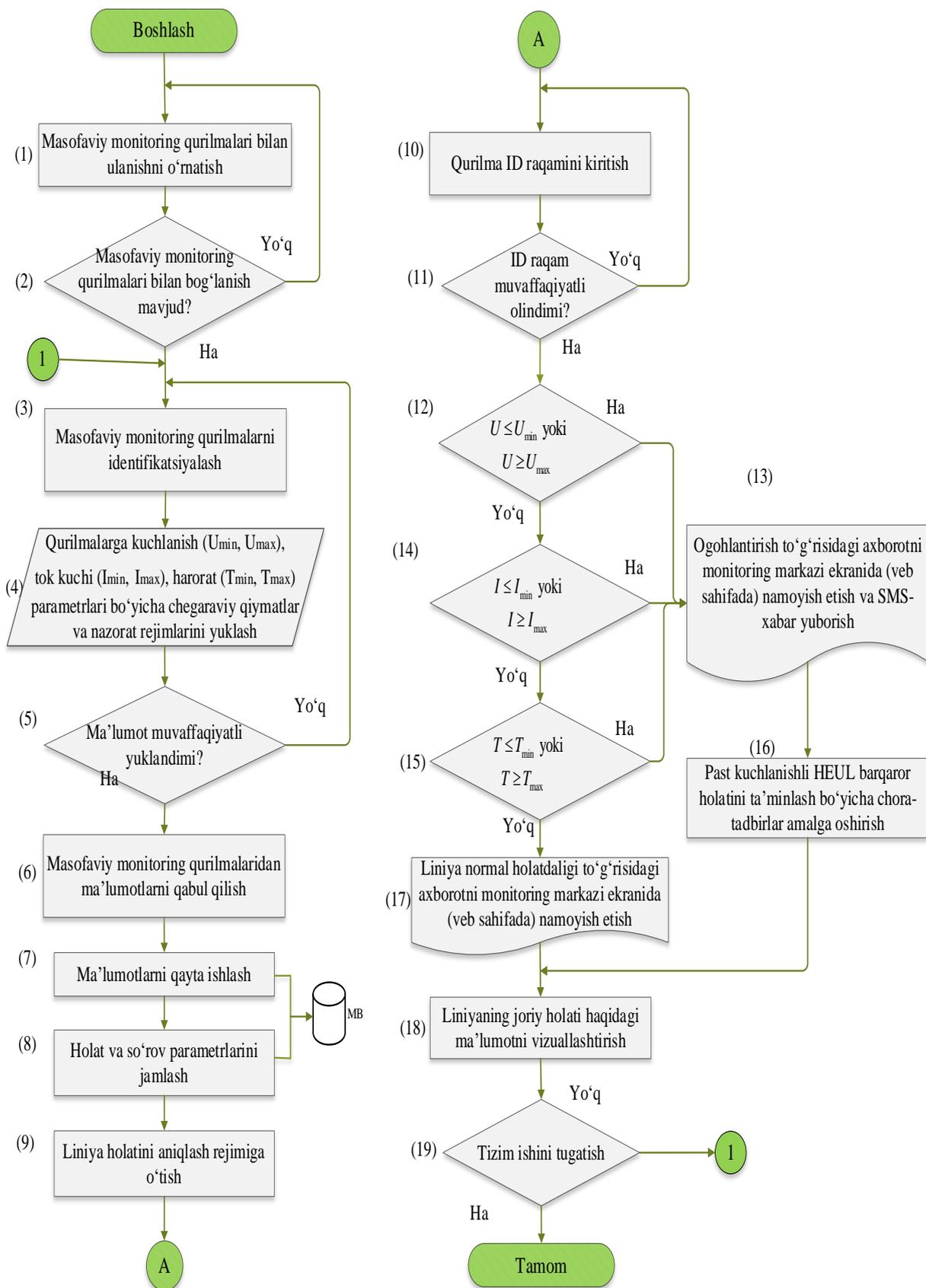
4-rasm. Masofadan monitoring qurilmasining ishlash algoritmi

HEUL ko'rsatkichlarini masofadan monitoring qurilmasi liniyada o'lchov sensorlarni o'rnatish, hamda ushbu sensor qurilmalar o'rtasidagi simsiz ma'lumot uzatish tarmog'i yordamida o'lchov ma'lumotlarini monitoring markaziga yuborish orqali holatni aniqlashni amalga oshiradi. HEULLarini masofadan monitoring qilish maqsadida o'rnatilgan ko'rsatkichlar chegarasidan yoki oldindan belgilangan qiymatdan oshib ketishi aniqlansa, darhol bu haqida operatorni SMS-xabar hamda boshqaruv dasturi orqali xabardor qilinadi.

Qurilmaning ishlash algoritmi va dasturi yaratilgan. Ushbu algoritm 4-rasmda keltirilgan va ishlash jarayonida har bir faza ko'rsatkichlari (kuchlanish, tok kuchi, muhit harorati, quvvat, chastota)ning chegaraviy qiymatlar bilan taqqoslash, neytral holati (N_{GND}), akkumulyatorning quvvat darajasini (A_{kk}), vaqt nazorati (t_o), davriyligi, ish rejimiga o'zgartirish kiritish va boshqa holatlarni inobatga oladi. Algoritm qurilmada boshlang'ich sozlanishlarni o'rnatish, ichki elementlar va modullarini ro'yxatdan hamda diagnostikadan o'tkazish, tarmoqda aloqani o'rnatish, quvvat ta'minotini tekshirish, monitoring parametrlarini va ishlash rejimlarini (doimiy, davriy, so'rov bo'yicha, favqulotda holat) yuklash, liniyadagi sensorlardan o'lchangan ma'lumotlarni ZigBee orqali retranslatiya qilish, mobil tarmoq yordamida monitoring markazi va mutaxassis mobil qurilmasiga xabar yuborish hamda flash xotira (EEPROM)da ma'lumotlarni saqlash vazifalarini bajaradi. Masofadan monitoring qurilmasining ishlash algoritmi asosida past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining holatini simsiz texnologiyalar asosida avtomatlashtirilgan tizim ishlashiga erishiladi. Bundan tashqari masofaviy monitoring tizimlari nafaqat energiya taqsimotining ishonchligini oshiribgina qolmay, balki tarmoqning ishlashi haqida ishonchli axborot ham beradi.

Dissertatsiyaning **“Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari masofadan monitoring tizimini qurish va amaliyotda tadbiiq etish”** deb nomlangan uchinchi bobida masofaviy monitoring tizimlarida simsiz sensor tarmoqlardan foydalanish xususiyatlari, HEULda simsiz sensor tarmog'ini qurishda qo'llaniladigan simsiz texnologiyalar tahlil qilingan hamda elektromagnit maydon va atrof-muhit ta'siriga bardoshlilik, energiya tejamkorligi, yuboriladigan ma'lumotlar hajmi, retranslyatsiya xususiyatining mavjudligi va mavjud tizimlar bilan oson integratsiya qilishi bo'yicha ZigBee texnologiyasidan foydalanish samarali ekanligi aniqlangan. Monitoring tizimining samarali ishlashini nazorat qilish, shuningdek, turli qurilmalardan kelayotgan o'lchov ma'lumotlarini tahlil qilish, qayta ishlash va yagona axborot oqimiga keltirish maqsadida, tizimning barcha bosqichlarini qamrab oluvchi, funksional jihatdan umumlashtirilgan va uzluksiz ishlashga moslashtirilgan algoritm ishlab chiqilgan (5-rasm).

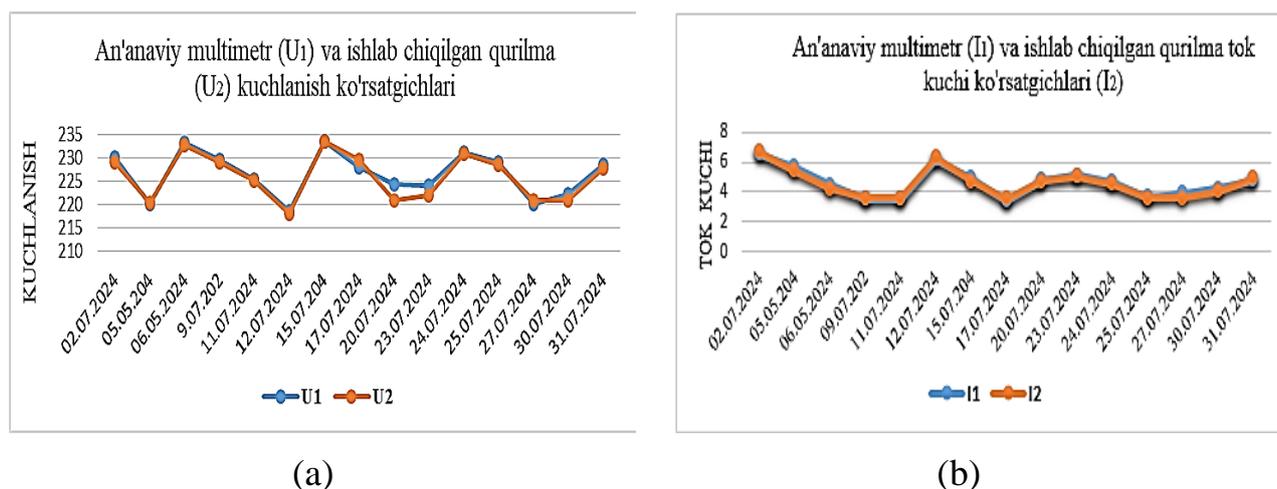
Masofadan monitoring tizimining ishlash algoritmi o'lchov ma'lumotlarini yig'ish, qayta ishlash va tahlil qilish jarayonlarini hisobga olgan holda yaratilgan bo'lib, masofadan monitoring qurilmalari bilan ulanishni o'rnatish, ularni identifikatsiyalash, qurilmalarga kuchlanish ($U_{min}; U_{max}$), tok kuchi ($I_{min}; I_{max}$) va harorat ($T_{min}; T_{max}$) parametrlari bo'yicha chegaraviy va nazorat rejimlarini yuklash, holat va so'rov parametrlarini jamlash, qurilmaning ID raqami yordamida liniyadagi joriy holatni monitoring markazida vizuallashtirish va qisqa tutashuv, faza yoki neytralning uzilishi hamda normal holat haqida axborot berishni ta'minlaydi.



5-rasm. Monitoring tizimining umumlashgan ishlash algoritmi

Tadqiqot doirasida yaratilgan masofadan monitoring qurilmasining fizik modeli laboratoriya sharoitida va real muhitda “Hududdiy elektr tarmoqlari” AJ

Qashqadaryo hududiy filiali Muborak tumani Elektr ta'minot korxonasi tajriba-sinovlardan o'tkazilgan va amaliy natijalar olingan (6-rasm).



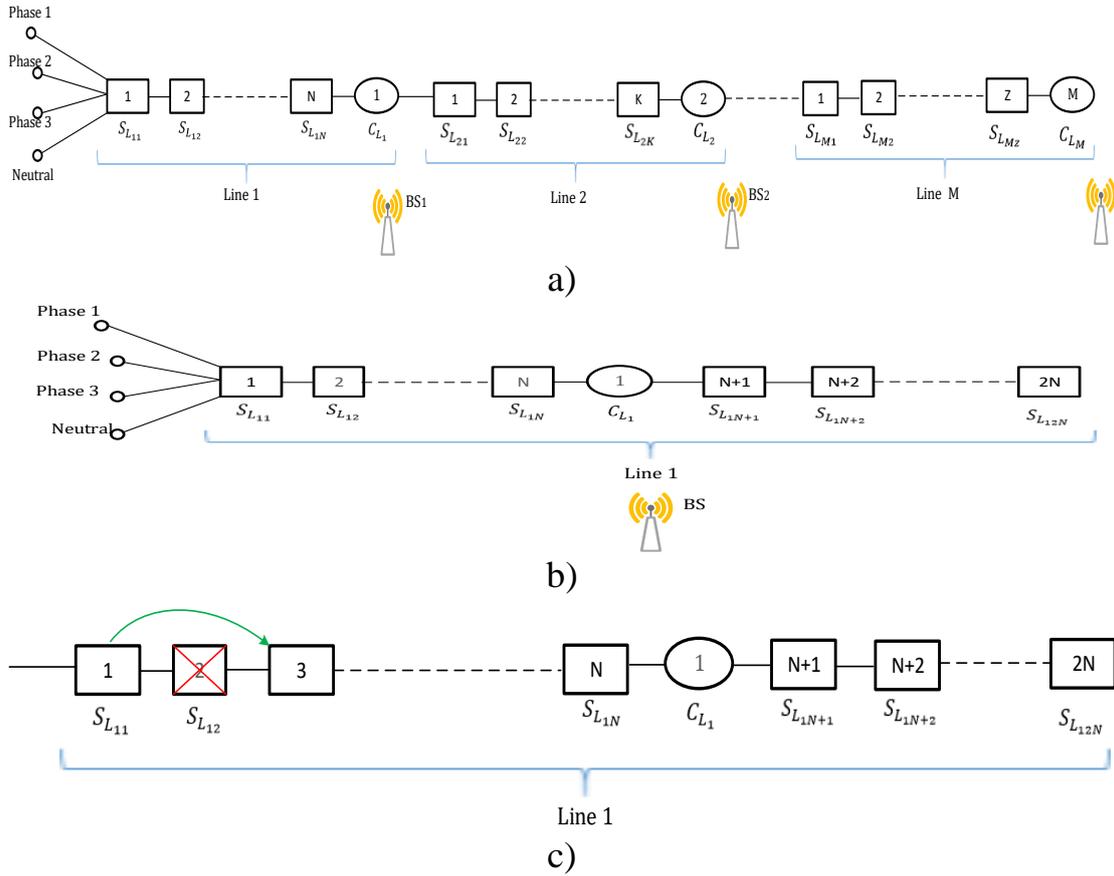
6-rasm. Tajriba sinov vaqtidagi multimetr va ishlab chiqilgan qurilmaning qiyosiy o'lchov ko'rsatkichlari: a) kuchlanish taqqoslanishi, b) tok kuchi taqqoslanishi

Past kuchlanishli HEUL holatini masofadan monitoring qurilmasining fizik modeli va ishlash algoritmi asosida uch fazali past kuchlanishli HEULdagi har bir fazaning kuchlanish va tok kuchini o'lchash xatoligi o'rtacha 0,5 foizdan oshmagan, chastotani yuqori aniqlikda o'lchash, GPS moduli o'rnatilganligi hisobiga nosozlik sodir bo'lgan hududni masofadan aniqlash imkoniyati yaratilgan.

Dissertatsiyaning **“Masofadan monitoring tizimining simsiz sensor tarmog'i ishonchliligini baholash analitik ifodalari ishlab chiqish”** deb nomlangan to'rtinchi bobida masofadan monitoring tizimida ishonchlilikni baholash ko'rsatkichlari, HEUL holatini monitoring qilishda sensorlar va konsentratorlardan tashkil topgan simsiz sensor tarmog'ining ishonchliligini baholash zarurati tahlil qilingan. Tadqiqot natijasida, masofadan monitoring tizimi sensor tarmog'ining ikki turdagi (ketma-ket va murakkab) ulanishlar uchun ishonchlilikni baholashning analitik ifodalari ishlab chiqilgan hamda ular yordamida ishonchlilik ko'rsatkichlarini hisoblash aniqligini oshirish imkoniyati yaratilgan.

Simsiz tarmoq ishonchliligini baholashda sensorlarning va konsentratorlarning ishonchlilik bo'yicha ulanish tuzilmasi (7-rasm) asosida quyidagi chegaraviy shartlar kiritildi:

- sensorlar va konsentratorlarning funksional ketma-ketlikda qayta tiklanmaydigan tizim sifatida ulanishi;
- ekspluatatsiya jarayonida $\lambda(t)$ - rad etishlar intensivligining o'zgarmasligi
- tizimdagi elementlarning rad etishlari eksponensial qonunga amal qilishi;
- sensorlarning (P_s) rad etmasdan ishlash ehtimolliklari qiymatlari o'zaro tengligi, konsentratorlarning (P_c) rad etmasdan ishlash ehtimolliklari qiymatlari o'zaro tengligi;
- sensorlarning (λ_s) rad etishlar intensivligi qiymatlari o'zaro tengligi, konsentratorlarning (λ_c) rad etishlar intensivligi qiymatlari o'zaro tengligi.



7-rasm. Sensorlarning va konsentratorlarning ishonchlilik bo‘yicha ulanish tuzilmasi: a) N ta sensor va bitta konsentratorning bitta liniyada ketma-ket ulanishi; b) $2N$ ta sensor va bitta konsentratorning bitta liniyada ketma-ket ulanishi; c) $2N$ ta sensor va bitta konsentratorning murakkab ulanish uchun tarmoq tuzilishi (bu yerda BS –ma’lumotlarni mobil tarmoq orqali monitoring markaziga yuborish uchun tayanch stansiya, S_L - liniyadagi sensor qurilma, C_L – liniyadagi konsentartor qurilmasi)

Berilgan shartlar asosida ikki xil (7,a- va 7,b-rasmlar) ulanishdagi tizimning rad etmasdan ishlash ehtimolligi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$P_{\text{sys1}} = e^{-\left(\sum_{i=1}^N \lambda_{S_{1i}} + \sum_{j=1}^K \lambda_{C_{1j}}\right)t}, \quad (4)$$

$$P_{\text{sys2}} = e^{-\left(\sum_{i=1}^N \lambda_{S_{2i}} + \sum_{j=1}^L \lambda_{C_{2j}}\right)t}, \quad (5)$$

bu yerda K va L - ikki xil ulanishda tarmoqdagi konsentratorlar soni, bunda $K \geq 2L$.

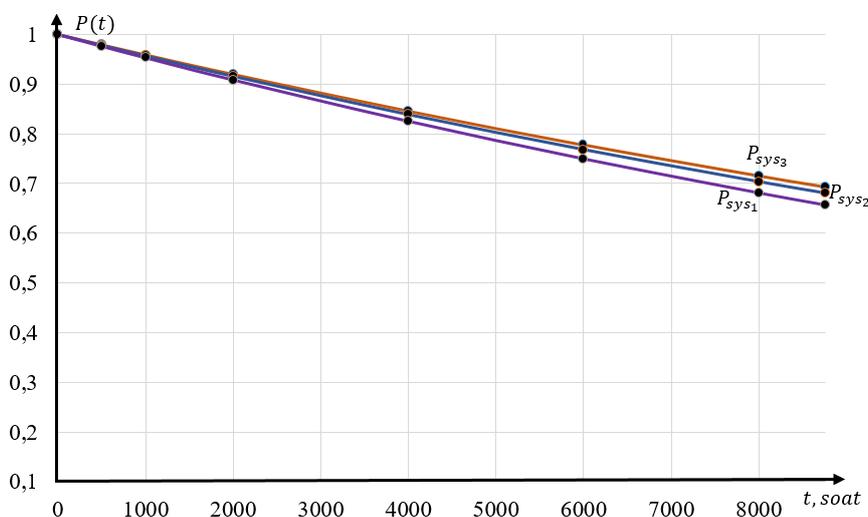
Masofaviy monitoring tizimida sensorlar va modullarning ketma-ket zanjirida texnik nosozliklar va tashqi ta’sirlar natijasida buzilishlar kuzatilishi mumkin. Nosozlik natijasida, ishonchlilik bo‘yicha elementlarning murakkab ulanishi yuzaga keladi. Agar bitta konsentratorga $1 \dots 2N$ ta qurilmalarning ketma-ket ulanganlik tuzilmasida yuqoridagi shartlar va (5)-ifodani qanoatlantirishini hisobga olsak,

murakkab ulanish modeli uchun (7,c-rasm) tarmoqdagi qurilmalarning rad etmasdan ishlash ehtimoli quyidagicha hisoblanadi:

$$P_{sys3} = \left(2e^{-\lambda_S t} - e^{-2\lambda_S t}\right) \cdot e^{-[\lambda_C + (2N-2)\lambda_S]t} \quad (6)$$

Yuqoridagilarni tahlil qilgan holda, N ta sensor va bitta konsentarning bitta liniyada ketma-ket ulanishi (P_{sys1}), $2N$ ta sensor va bitta konsentratorning bitta liniyada ketma-ket ulanishi (P_{sys2}) va bitta element rad etgan holatda murakkab ulanish tuzilmasi (P_{sys3}) uchun bir yil (8760 soat) davomida rad etmasdan ishlash ehtimolligi taqqoslandi (8-rasm).

Ishlab chiqilgan analitik ifodalar orqali monitoring tizimi simsiz sensor tarmog‘idagi birorta sensor ishdan chiqqanda ham umumiy ishonchliligi yuqoriligicha qolishi aniqlandi.



8-rasm. Turli ulanish sxemalarida tashkil etilgan masofadan monitoring tizimi simsiz sensor tarmog‘ining bir yil davomidagi ishonchlilik ko‘rsatkichi taqqoslanishi

Ishlab chiqilgan analitik ifodalar past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari monitoring tizimlarida qo‘llaniladigan simsiz sensorli tarmoqlarning ishonchliligini miqdoriy baholashning aniqligini oshirishga, shuningdek, sensorli tugunlar ulanishlarining turli topologiyalarining xususiyatlarini, shu jumladan ketma-ket va murakkab tuzilmalarni hisobga olishga imkon berdi.

XULOSA

“Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining simsiz sensor tarmoqlari asosida masofadan monitoringi” mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqot natijasida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. Havo elektr uzatish va taqsimlash tizimining monitoring holati tahlili shuni ko‘rsatdiki, past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyasidagi texnik nosozliklarni aniqlash va energiya yo‘qotishlarni monitoring qilish uchun simsiz sensorlar va avtomatlashtirilgan boshqaruvni ta‘minlash texnologiyalari asosida ishlab chiqilgan

masofadan monitoring tizimidan foydalanish liniya holatini monitoring qilishda yuqori samaradorlikni ta'minlashga xizmat qiladi.

2. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan monitoring qilish qurilmasining modeli va ishlash algoritmi asosida uch fazali past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyasidagi har bir fazaning kuchlanish va tok kuchini o'lchash xatoligi o'rtacha 0,5 foizdan oshmagan, chastotani yuqori aniqlikda o'lchash, GPS moduli o'rnatilganligi hisobiga nosozlik sodir bo'lgan hududni masofadan aniqlash imkoniyati paydo bo'ldi. Har bir fazaning o'lchangan kuchlanish, tok kuchi, chastota ko'rsatkichlari to'g'risida ma'lumotlar monitoring markaziga hamda nazoratchi mutaxassis mobil qurilmasiga xabar SMS shaklida yuboriladi.

3. Takomillashtirilgan masofadan monitoring usuli qo'llanilishi natijasida uch fazali past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalaridagi kuchlanish, tok kuchi va chastota qiymatlarining monitoringi orqali real vaqtda liniyaning joriy holatini va nosozliklarni aniqlash imkoniyati yaratilgan.

4. Masofadan monitoring tizimining ishlash algoritmi va dasturi yordamida uch fazali past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyasidagi qisqa tutashuv, faza yoki neytralning uzilishi kabi nosozliklar simsiz tarmoq orqali tezkor aniqlashga erishildi. Yaratilgan dastur foydalanuvchi uchun ma'lumotlarni real vaqt rejimida vizualizatsiya qilishni ta'minlaydi, elektr liniyalarining texnik holati haqida aniq va batafsil ma'lumotlar olish orqali tezkor qaror qabul qilish imkoniyati yaratilgan. Natijada, hisoblash jarayonlar tezligi 1,5-2 barobarga, monitoring aniqligi 20-30% ga oshirilgan.

5. Ishlab chiqilgan simsiz sensorli tarmoqning ishonchliligini baholash analitik ifodalari tarmoqda nosozliklar paydo bo'lishidan oldin tuzatuvchi ishonchlilik choralarini qo'llash orqali rad etish ehtimolini kamaytirishga va tarmoqning rad etmasdan ishlash vaqtini 15-20% gacha oshirishga imkonini berdi.

6. Tadqiqotlar natijalari O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligi tasarrufidagi korxonalarda, xususan "UNICON.UZ" MChJ, "O'zbektelekom" AKda hamda "Hududiy elektr tarmoqlari" AJ Qashqadaryo hududiy filiali Muborak tumani ETK da tajriba sinovlar o'tkazilgan va joriy etilgan. Yaratilgan masofadan monitoring qurilmasiga Adliya vazirligi tomonidan foydali model uchun patent olingan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ХАЙРУЛЛАЕВ АЛИШЕР ФАЙЗУЛЛА УГЛИ

**ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ НИЗКОВОЛЬТНЫХ
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ
БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ**

**05.04.02 – Системы и устройства радиотехники, радионавигации, радиолокации и
телевидения. Мобильные, волоконно-оптические системы связи**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером В2024.3.PhD/Г3694.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz).

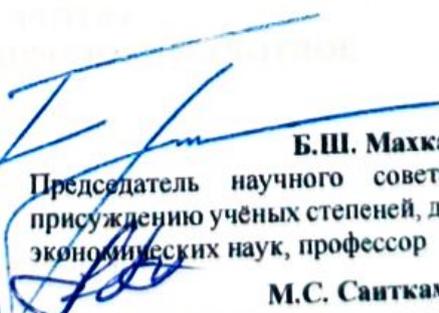
Научный руководитель:	Давронбеков Дилмурод Абдужалилович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Сиддиков Илхомжон Хакимович доктор технических наук, профессор Джаббаров Шухрат Юлдашевич кандидат технических наук, доцент
Ведущая организация:	Ташкентский государственный транспортный университет

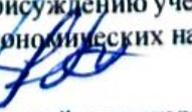
Защита диссертации состоится «3» мая 2025 г. в 10⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

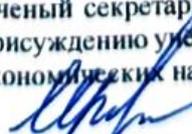
С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (регистрационный номер № 348). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-15).

Автореферат диссертации разослан «22» апреля 2025 года.
(протокол рассылки №5 от «22» апреля 2025 г.).




Б.Ш. Махкамов
Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, доктор экономических наук, профессор


М.С. Саиткамоллов
Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, доктор экономических наук, доцент


Д.Я. Иргашева
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в результате развития сферы энергетики особое внимание уделяется экономии энергоресурсов, обеспечению энергетической безопасности, разработке информационного программного обеспечения для управления и мониторинга, а также инновационных измерительных устройств на основе беспроводных сенсорных систем для удовлетворения постоянно растущей потребности в энергоресурсах отраслей экономики и населения. Разрабатывается ряд практических решений, направленных на применение интеллектуальных цифровых технологий и информационно-коммуникационных технологий в оценке энергоэффективности, автоматизацию определения норм потребления электроэнергии, а также сокращение потерь электроэнергии на электросетевых предприятиях, определение воздействия внешней среды на воздушные линии электропередачи и предотвращение технических неисправностей.

В мире резкий рост цен на энергоресурсы требует научных исследований для поиска решения проблемы энергосбережения во всех сферах производства. В этой области, в частности является актуальным применение беспроводных сенсорных технологий, разработка моделей мониторинга, алгоритмов работы беспроводной сенсорной системы в различных ситуациях. В том числе, особое внимание уделяется внедрению современных систем непрерывного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередачи с учетом климатических факторов, осуществлению оперативных предупредительных измерений и контроля, а также разработке аналитических выражений оценки надежности системы дистанционного мониторинга.

В республике реализуются комплексные меры, направленные на предотвращение незаконного использования энергоресурсов и неисправностей сетей электропередачи, дистанционный мониторинг линий электропередачи, эффективное использование информационно-коммуникационных технологий в целях повышения энергетического потенциала страны и конкурентоспособности экономики. В цели 24 Указа Президента Республики Узбекистан №УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы» от 28 января 2022 года определены следующие задачи: «Обеспечение стабильной работы энергетической системы Узбекистана и обеспечение ее надежности при взаимодействии с системами энергетики соседних государств. Снижение потерь в отраслях промышленности и повышение эффективности использования ресурсов»¹. Реализация данных задач, в частности разработка устройства дистанционного контроля состояния низковольтных воздушных линий электропередачи, организация надежного и безопасного процесса передачи данных в режиме реального времени на основе беспроводных сенсорных сетей, разработка

¹ Указа Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

аналитических выражений для оценки надежности систем мониторинга с целью повышения эффективности сети является одной из важных задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-166 «О мерах по проведению очередного этапа реформирования сферы энергетики» от 28 сентября 2023 года, Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-54 «О мерах по повышению эффективности государственного контроля в сфере использования топливно-энергетических ресурсов» от 13 февраля 2023 года, Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан №555 «Об утверждении Административного регламента предоставления государственных услуг по подключению юридических и физических лиц к электрическим сетям» от 31 августа 2021 года и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение» и IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. В последние годы проводятся исследования по внедрению современных беспроводных сенсорных технологий при оценке энергетической отрасли, мониторинге событий, происходящих при производстве, передаче и потреблении электроэнергии. Проводятся широкомасштабные научные исследования по созданию моделей, алгоритмов работы и программных средств систем дистанционного мониторинга на основе беспроводных сенсорных технологий, своевременной доставки результатов измерений. Проведен анализ статей, опубликованных в журналах, входящих в базы данных Springer, IEEE Xplore, Cyberlink, Scopus, Web of Science, Elsevier, ProQuest, в которых рассматриваются вопросы и решения, направленные на создание методов и алгоритмов дистанционного мониторинга состояния воздушных линий электропередачи.

Проблемы дистанционного мониторинга на основе беспроводных сенсорных сетей широко исследованы в мировом научном сообществе. В частности, по вопросам модели дистанционного мониторинга и организации интеллектуальных систем диагностики на воздушных линиях электропередачи освещены в научных работах Wang G, Q.-p. Yang, K. Zhang, Troppauer W., M.I. Ibrahim, M.M. Fouda, Poudel B., A. Giovanni, C. Antonio, C. Valentina, M. Eissa, S. Abdelrahman, М.И. Фёдорова, И.Н. Фомина, В.А. Листюхина и др. Мониторинг незаконных подключений к линиям электропередачи на базе умных счетчиков рассмотрены в работах A.P. Sanyukta., A.V. Christopher, Krishnasvamy R., Jurgen Schlabbach и др. Решению задач построения интеллектуальных энергетических сетей на основе беспроводных сенсорных сетей и искусственного интеллекта посвящены работы A.D. Muruganandhan, S. Saha, Lei Deng, Andrzej Antosz, C.M. Jonilo и других зарубежных учёных. Вопросы организации сети дистанционного

мониторинга источников энергоснабжения исследованы учеными республики Х.Ф.Фозиловым, И.Х.Сиддиковым, Х.А.Саттаровым, А.Н.Товбоевым, Н.Н.Мирзоевым, Х.Э.Хужаматовым. Вместе с этим в вопросах телекоммуникационных сетей и решения их надежности значительный вклад внесли академик Т.Д.Ражабов, А.М.Назаров, М.М.Мухитдинов, Р.И.Исаев, Н.Х.Гултураев, Ш.Ю.Джаббаров, Б.Н.Рахимов, Ш.У.Пулатов.

Результаты анализа показали, что недостаточно исследованы вопросы дистанционного мониторинга низковольтных воздушных линий электропередачи на основе беспроводных сенсорных сетей, разработка и внедрение методов дистанционного контроля, алгоритмов и аналитических выражений для оценки их надежности при контроле линии между распределительным трансформатором и счетчиком потребителя.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских работ по плану научных исследований Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезми, проект № UZB-Ind-2021-94 на тему «Энергоэффективная связь и потоки данных в системах “Умного города” с использованием IoT на основе CRN (2021-2023)», также в рамках международного научного проекта № FL-7923051857 на тему «Методы, техника и программное обеспечение для моделирования характеристик спутниковых каналов связи (2024-2026)».

Целью исследования является разработка метода и алгоритмов дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередач с применением беспроводной сенсорной сети, аналитических выражений оценки надежности.

Задачи исследования:

анализ существующих проблем, влияющих на потери энергии и технические неисправности в воздушных линиях электропередач, а также методов и средств их мониторинга;

усовершенствование метода дистанционного мониторинга низковольтных воздушных линий электропередач на основе беспроводных сенсорных сетей;

разработка модели устройства дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередач;

создание алгоритмов работы устройства и системы дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередач;

разработка аналитических выражений для оценки надежности беспроводной сенсорной сети системы дистанционного мониторинга.

Объектом исследования являются беспроводные сенсорные сети, показатели состояния низковольтных воздушных линий электропередачи (напряжение, ток, мощность), система дистанционного мониторинга.

Предметом исследования являются метод, алгоритмы и аналитические выражения оценки надежности низковольтных воздушных линий

электропередачи на основе беспроводных сенсорных сетей.

Методы исследования. В процессе исследований использовались научный анализ обработки данных показателей состояния низковольтных воздушных линий электропередачи на основе беспроводных сенсорных сетей, экспериментальное исследование изменений электрических свойств беспроводных датчиков и воздушных линий электропередачи, теория автоматического управления и дистанционного мониторинга, теория надежности, проведение экспериментов и методы статистической обработки результатов исследований.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствован метод обнаружения нормального состояния, коротких замыканий, обрывов фаз и нейтрали на основе дистанционного мониторинга текущего напряжения, силы тока, температуры в низковольтных воздушных линиях электропередачи с использованием беспроводной сенсорной сети;

созданы модель и алгоритм работы устройства дистанционного мониторинга, измеряющее напряжение и ток в низковольтных воздушных линиях электропередачи, состоящее из датчиков температуры и влажности, определяющее место неисправности с помощью GPS, позволяющее передавать и принимать измеренные данные по беспроводной связи;

создан алгоритм работы системы дистанционного мониторинга, обнаруживающий на основе контроля напряжения, тока и температуры с помощью беспроводной сети неисправности воздушных линий электропередачи и повышающий эффективность;

разработаны аналитические выражения, позволяющие повысить точность оценки надежности для последовательной и сложной топологий соединения беспроводной сенсорной сети системы мониторинга воздушных линий электропередачи низкого напряжения.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан функциональный программный модуль, реализующий современные программные алгоритмы и технологии передачи информации прибора, который позволяет осуществлять дистанционное измерение и мониторинг основных электротехнических параметров, таких как напряжение, ток, мощность и частота низковольтных воздушных линий электропередачи;

разработано программное обеспечение для системы дистанционного мониторинга текущего состояния низковольтных воздушных линий электропередачи, позволяющее хранить на сервере данные, собранные с сенсоров устройств, осуществлять их непрерывный мониторинг в режиме реального времени, проводить статистический анализ собранных данных, делать предварительные оценки и прогнозирование.

Достоверность результатов исследований обусловлена разработкой системы дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередачи на основе беспроводных сенсорных сетей с целью предотвращения технических неисправностей на линии, корректной постановкой проблемы и подтверждением экспериментальных исследований,

использование проверенных методов и алгоритмов расчетов поясняется сравнительным анализом результатов теоретических и прикладных исследований на основе общепринятых критериев.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в создании физической модели и алгоритма работы устройства, измеряющего параметры линии и передающего данные по беспроводной связи, влияющие на потери электроэнергии и технические неисправности на низковольтных воздушных линиях электропередачи, усовершенствованием метода дистанционного мониторинга на основе беспроводных сенсоров и разработкой аналитических выражений оценки надежности системы.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке программы для устройства измерения напряжения, силы тока и частоты каждой фазы низковольтной воздушной линии электропередачи, температуры окружающей среды, создании программы для системы дистанционного мониторинга состояния позволяющего хранить на сервере данные, полученные с сенсоров устройства, непрерывном их мониторинге в режиме реального времени, проводить статистический анализ собранных данных и оценку состояния.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных результатов при реализации дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередачи на основе беспроводных сенсорных сетей:

модель и алгоритм работы устройства дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередачи реализованы на Мубарекском районном ЭСП Кашкадарьинского территориального филиала АО «Региональные электрические сети» (акт Мубарекского районного ЭСП Кашкадарьинского территориального филиала АО «Региональные электрические сети» от 5 сентября 2024 г.; справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33-8/7374-05/6078 от 31 октября 2024 г). В результате научных исследований на основе физической модели и алгоритма работы устройства дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередачи определены погрешности измерения напряжения и тока каждой фазы трехфазной низковольтной воздушной линии электропередачи составили в среднем не более 0,5%, измерение частоты с высокой точностью, благодаря установке GPS-модуля появилась возможность дистанционного определения места возникновения неисправности. Информация об измеренном напряжении, силы тока и частоте каждой фазы отправляется в центр мониторинга и на мобильное устройство диспетчера в виде SMS-сообщения;

усовершенствованный метод дистанционного мониторинга низковольтных воздушных линий электропередачи, алгоритм работы и программа системы дистанционного мониторинга внедрены в ООО «UNICON.UZ» (акт ООО «UNICON.UZ» №6-12/1867 от 20 сентября 2024 г.; справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан №33-

8/7374-05/6078 от 31 октября 2024 г.). В результате применения усовершенствованного метода дистанционного мониторинга стало возможным определять текущее состояние линии и неисправности в режиме реального времени путем мониторинга значений напряжения, тока и частоты трехфазной низковольтной сети воздушной линии электропередачи. Используя алгоритм работы и программное обеспечение системы дистанционного мониторинга, удалось посредством беспроводной сети оперативно (быстро) обнаружить такие неисправности, как короткое замыкание, обрывы фаз или нейтрали в трехфазной низковольтной воздушной линии электропередачи. В результате расчетные процессы ускорились в 1,5-2 раза, что ускорило контроль изменений технического состояния линий электропередачи и точность мониторинга повысилась на 20-30%.

аналитические выражения оценки надежности беспроводной сенсорной сети системы, усовершенствованный метод дистанционного мониторинга, результаты, полученные при использовании алгоритма работы и программы системы дистанционного мониторинга внедрены в АК «Узбектелеком» и ООО «UNICON.UZ» (акт АК «Узбектелеком» №27-02-21/3748 от 18 октября 2024 г.; акт ООО «UNICON.UZ» №6-12/1867 от 20 сентября 2024 г.; справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33-8/7374-05/6078 от 31 октября 2024 г.). В результате, используя аналитические модели оценки надежности, разработанные для двух типов соединений (последовательного и сложного), введением корректирующих мероприятий по повышению надежности до возникновения сбоев в сети позволило снижение вероятности отказа и увеличение времени безотказной работы сети на 15-20%.

Получен патент на полезную модель Министерства Юстиции Республики Узбекистан на устройство для дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередачи (FAP 2577, 10.09.2024 г.).

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждались на 6 международных, 4 республиканских научно-практических конференциях и научных семинарах.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликовано 25 научных работ, из них 10 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе в 2 зарубежных журналах. Получены 1 патент на полезную модель и 4 свидетельства об официальной регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа написана на узбекском языке, содержит 118 страниц и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, выявлены цель и задачи, определены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным

направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их научная и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов исследования, апробации опубликованных работ и структура диссертации.

В первой главе диссертации **«Структура, методы и средства мониторинга воздушных линий электропередачи»** описаны характеристики системы распределения, передачи и доставки электрической энергии потребителям, состояние их мониторинга при определении показателей эффективности и надежности воздушных линий электропередачи (ВЛЭП), причины неисправностей линий, а также приведен сравнительный анализ методов и устройств их мониторинга. Анализ показал, что основная доля отказов и потерь энергии в ВЛЭП приходится на вклад низковольтных линий и была показана необходимость контроля показателей этих линий и создания системы дистанционного мониторинга на основе беспроводных сенсорных сетей в режиме реального времени.

Величина потерь нагрузки ($\Delta W_{y.H}$) при передаче электроэнергии по региональным электрическим сетям определяется по следующей формуле:

$$\Delta W_{y.H} = \Delta W_{y.T} \cdot \left(\frac{W_{TB.H}}{W_{TB.T}} \right)^2, \quad (1)$$

где $\Delta W_{y.T}$ – нагрузочные потери электроэнергии в базовом периоде, $W_{TB.H}, W_{TB.T}$ – объем электроэнергии, предоставленная (отпущенной) в региональные электрические сети за базовый и отчетный период соответственно. При этом электроэнергия, поставленная потребителям по другим электрическим сетям, в этот объем не включается. Величина потерь, связанная с допустимыми погрешностями системы учета ($\Delta W_{au.H}$) при передаче электроэнергии по региональным электрическим сетям, определяется по следующей формуле:

$$\Delta W_{au.H} = \frac{W_{au.T\%} \cdot W_{TB.H}}{100}, \quad (2)$$

где $W_{au.T\%}$ – объем потерь электроэнергии в расчетном базовом периоде обусловленные допустимыми погрешностями системы учета (в процентах).

Выявлено, что определение состояния низковольтной ВЛЭП (короткое замыкание, обрыв фазного и нейтрального проводов, нормальное) и создание эффективной системы мониторинга на основе беспроводных сенсорных сетей служат снижению вышеуказанных потерь и повышению долговечности линии.

Во второй главе диссертации **«Создание метода дистанционного мониторинга, модель устройства и алгоритма работы»** предложен усовершенствованный метод дистанционного мониторинга на основе беспроводных сенсорных сетей для контроля неисправностей низковольтных ВЛЭП и снижения энергетических потерь, а также для эффективной реализации данного метода разработана структурная схема и физическая

модель устройства дистанционного мониторинга низковольтной ВЛЭП. Вместе с тем разработан алгоритм работы устройства дистанционного мониторинга для определения таких параметров, как сетевое напряжение, сила тока, температура, частота и мощность.

Наиболее распространенными видами неисправностей, наблюдаемых в низковольтных трехфазных (A, B, C фазы) ВЛЭП, являются короткие замыкания, обрывы фазного или нейтрального проводов, обрывы электропроводов вследствие неблагоприятных погодных условий, износ изоляционных покрытий и механические повреждения. Для предотвращения подобных ситуаций и проведения мониторинга неисправностей, на рис.1 представлен усовершенствованный метод дистанционного мониторинга на основе беспроводных сенсорных сетей. Данный метод состоит из следующих этапов:

1. При определении контролируемых показателей основными показателями являются: напряжение (U), сила тока (I) и температура среды (T). На основе этих показателей с помощью функции состояния ВЛЭП - $S_{ВЛЭП}$ определяется текущее или аварийное состояние линии.

2. В этапе проверки состояния низковольтных ВЛЭП текущее состояние низковольтной ВЛЭП определяется на основе информации о показателях линии, измеренных разработанным устройством дистанционного мониторинга. Используя эти измеренные значения показателей, система мониторинга может определить следующие основные состояния:

Нормальное состояние. На основании данных, полученных от датчиков, определяются диапазоны минимального и максимального значений и выражаются математически следующим образом:

$$U_{\min} \leq U \leq U_{\max}, I_{\min} \leq I \leq I_{\max}, T_{\min} \leq T \leq T_{\max}, \quad (3)$$

где U_{\min}, U_{\max} — минимально и максимально допустимые значения напряжения на фазе; I_{\min}, I_{\max} — минимально и максимально допустимые значения силы тока на фазе; T_{\min}, T_{\max} — минимально и максимально допустимые значения температуры окружающей среды.

Если какой-либо параметр удовлетворяет граничным условиям (3), то линия электропередачи оценивается как находящейся в нормальном состоянии, иначе система теряет нормальное рабочее состояние.

Короткое замыкание. При возникновении межфазного или фазного короткого замыкания между фазами A, B, C напряжение (U_{AB}, U_{BC}, U_{AC}) становится равным нулю или значение тока короткого замыкания (I_{K3}) резко возрастает (рис.1).

Обрыв фазы и нейтрали. При прерывании одной из фаз A, B, C , по методу симметричных составляющих токи (I_A, I_B, I_C) и напряжения (U_A, U_B, U_C) на фазах определяются как равными нулю. По методу симметричных составляющих и вероятности возникновения новых напряжений (U_A, U_B, U_C), измеряются показания напряжения и тока фаз в режиме

реального времени и анализируются значения каждой фазы. При отклонении новых показателей от предельных значений предполагается наличие неисправностей.

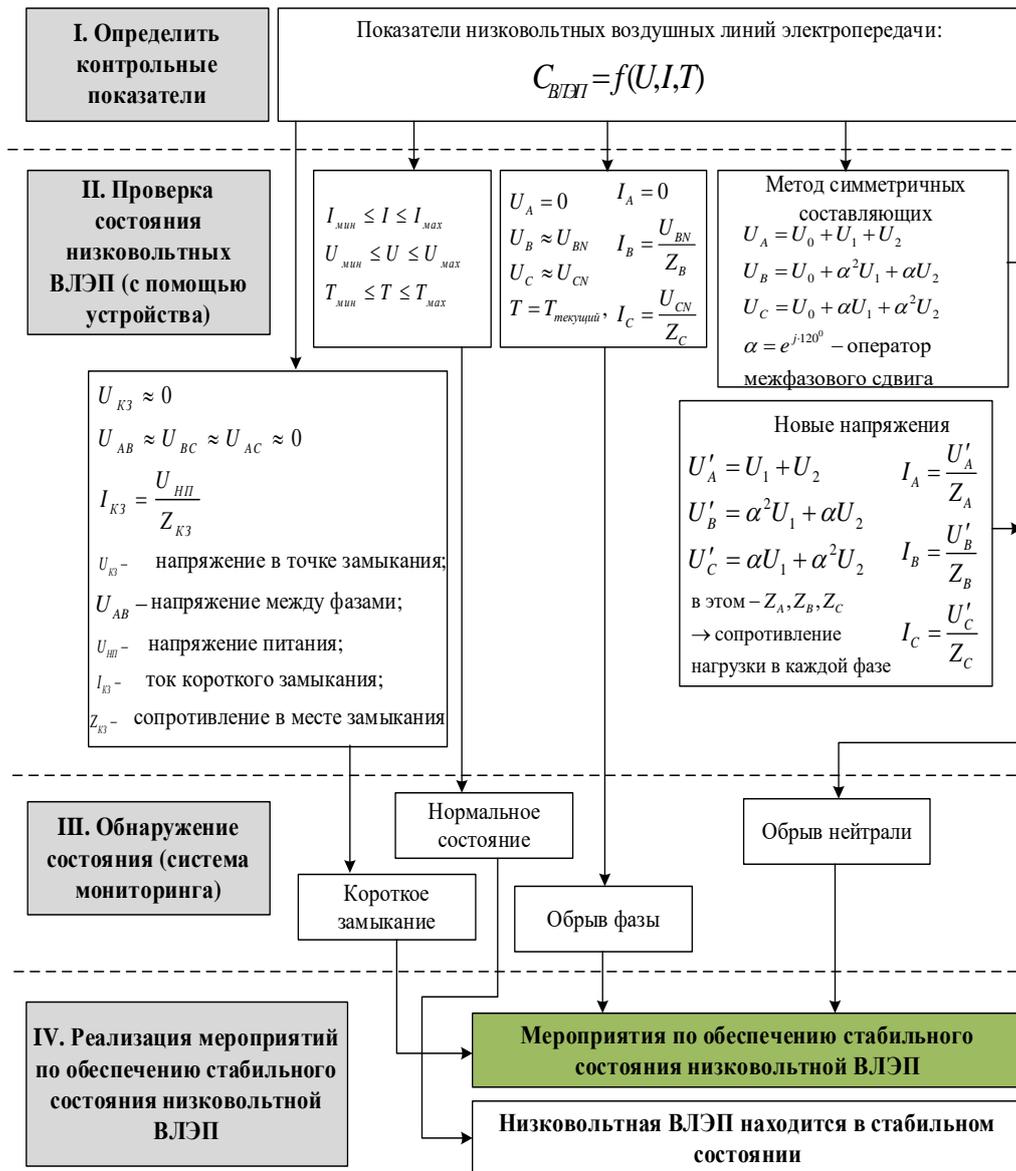


Рис.1. Усовершенствованный метод организации дистанционного мониторинга

3. На этапе определения состояния (система контроля) принимаются соответствующие меры по восстановлению линии до стабильного состояния на основе выявленных неисправностей и нормальных условий.

4. Реализация мер по обеспечению стабильного состояния низковольтной ВЛЭП. При обнаружении короткого замыкания линия автоматически отключается и устраняются неисправности. Если линия работает по допустимым предельным значениям, в центр мониторинга поступает информация о том, что низковольтная ВЛЭП работает в стабильном состоянии. Для успешной реализации усовершенствованного метода мониторинга разработана структурная схема устройства дистанционного мониторинга (рис.2).

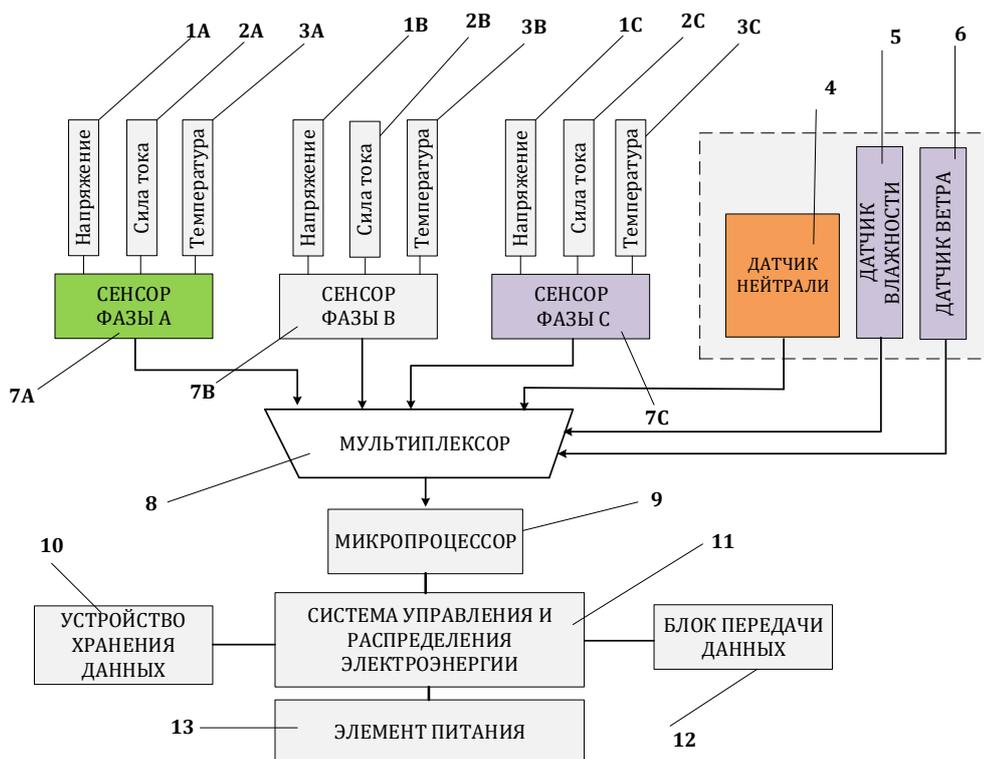


Рис.2. Структурная схема устройства дистанционного мониторинга

Устройство позволяет дистанционно определять такие параметры линии, как напряжение (U), ток (I), мощность (P), частоту (f) фаз, температуру (T), влажность окружающей среды и скорость ветра, определяет местоположение и позволяет дистанционно обнаруживать зону, где произошла неисправность, а также передавать и получать информацию о состоянии с помощью беспроводной сети.

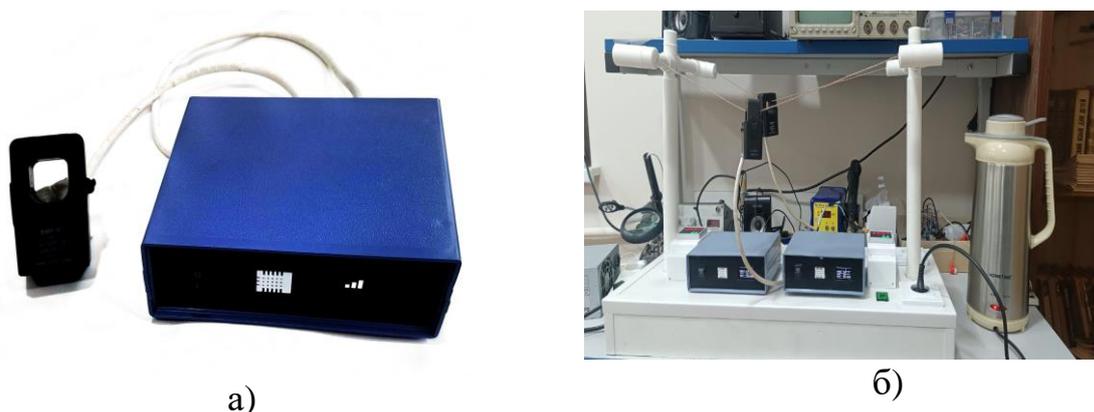


Рис.3. Физическая модель устройства дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередачи: а) внешний вид; б) процесс экспериментальных испытаний

На основании структурной схемы разработанного устройства дистанционного мониторинга выбрана элементная база и разработана физическая модель устройства (рис.3). На данное устройство Министерством юстиции Республики Узбекистан выдан патент на полезную модель.

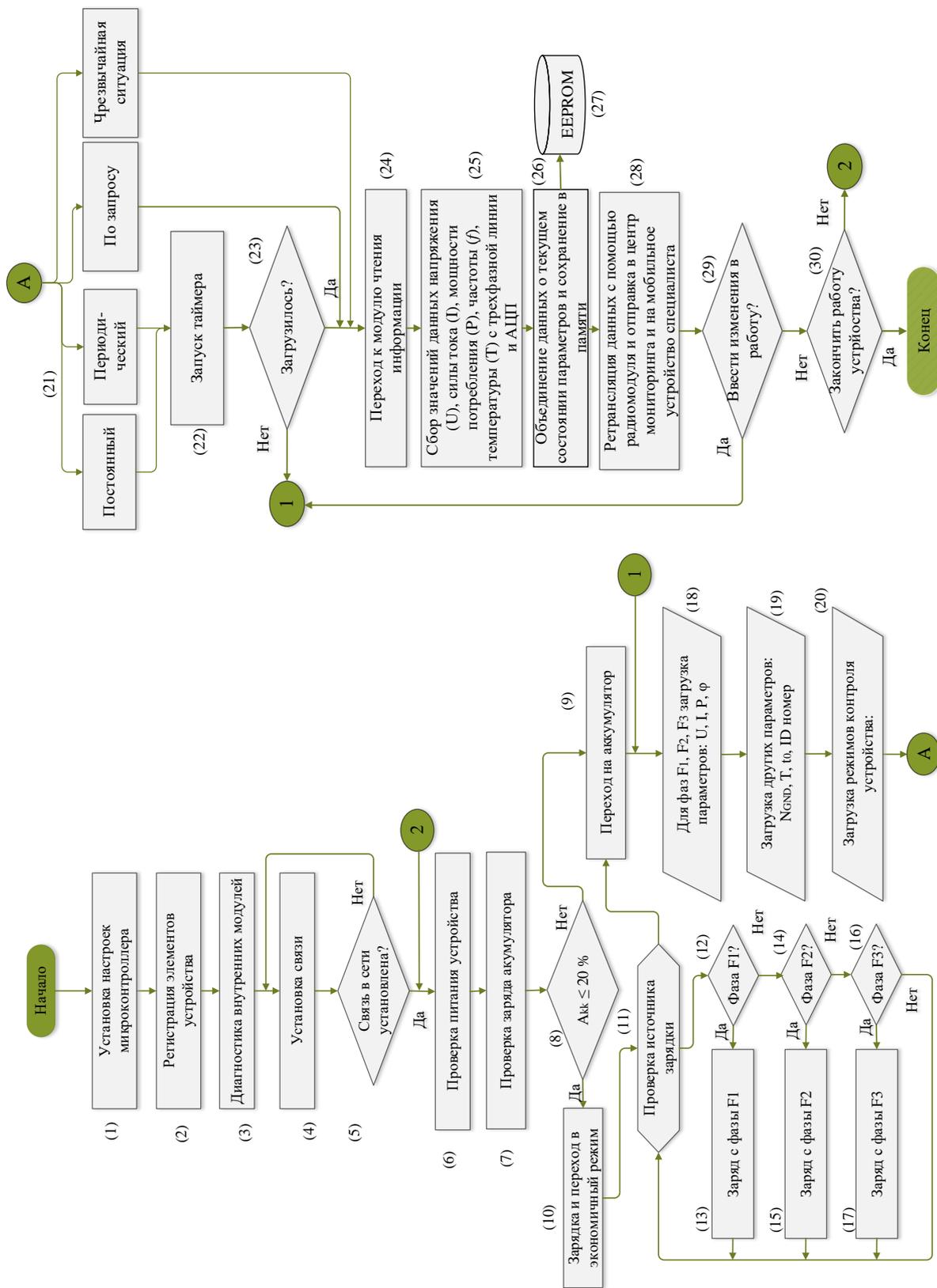


Рис.4. Алгоритм работы устройства дистанционного мониторинга

Устройство дистанционного мониторинга показателей ВЛЭП позволяет определить состояния путем установки на линии датчиков измерения и отправки данных измерений в центр мониторинга с помощью беспроводной сети передачи данных между этими сенсорными устройствами. В целях дистанционного мониторинга ВЛЭП, при обнаружении превышения пределов параметров или заданного значения, оператор немедленно уведомляется об этом посредством SMS-сообщения и программы управления.

Разработаны алгоритм и программа работы устройства. Данный алгоритм приведён на рис.4 и в процессе работы производит сравнение каждого показателя фазы (напряжение, ток, мощность, частота, температура окружающей среды) с граничными значениями, определяется состояние нейтрали (NGND), уровень заряда батареи (Akk), контроль времени (t_0), периодичность, внесение изменений в режим работы с учетом других обстоятельств. Алгоритм выполняет задачи установки начальных настроек, регистрации и диагностики внутренних элементов и модулей устройства, установки связи в сети, проверки питания, загрузки параметров мониторинга и режимов работы (постоянный, периодический, по запросу, в чрезвычайной ситуации), ретрансляции измеренных сенсорами в линии данных по ZigBee, передачи информации в центр мониторинга и мобильное устройство специалиста сообщений через мобильную сеть и сохранения данных в флеш памяти (EEPROM). На основе алгоритма работы устройства дистанционного мониторинга реализуется работа автоматизированной системы на базе беспроводных технологий контроля состояния низковольтных воздушных линий электропередачи. Кроме того, системы удаленного мониторинга не только повышают надежность распределения энергии, но и предоставляют достоверную информацию о работе сети.

В третьей главе диссертации **«Построение и практическая реализация системы дистанционного мониторинга низковольтных воздушных линий электропередачи»** приведён анализ особенностей использования беспроводных сенсорных сетей в системах дистанционного мониторинга, беспроводных технологий, используемых при построении беспроводной сенсорной сети в ВЛЭП и установлена эффективность использования технологии ZigBee в соответствии с устойчивостью к электромагнитным полям и воздействиям окружающей среды, энергосбережению, объему передаваемых данных, наличию функции ретрансляции и простоты интеграции с существующими системами. Для управления эффективной работой системы мониторинга, а также анализа, обработки и сведения в единый информационный поток данных измерений с различных устройств разработан функционально обобщенный алгоритм, охватывающий все этапы работы системы и адаптированный для непрерывной работы (рис. 5).

Алгоритм работы системы дистанционного мониторинга разработан с учетом процессов сбора, обработки и анализа данных измерений и обеспечивает установление связи с устройствами дистанционного мониторинга, их идентификацию, загрузка граничных режимов и режимов управления на устройствах по параметрам напряжения (U_{min} ; U_{max}), тока (I_{min} ;

I_{max}) и температуры (T_{min} ; T_{max}), суммирование параметров состояния и запроса, визуализацию текущего состояния линии в центре мониторинга по ID номеру устройства, предоставление информации о коротких замыканиях, обрывах фаз или нейтрали, нормальных состояниях.

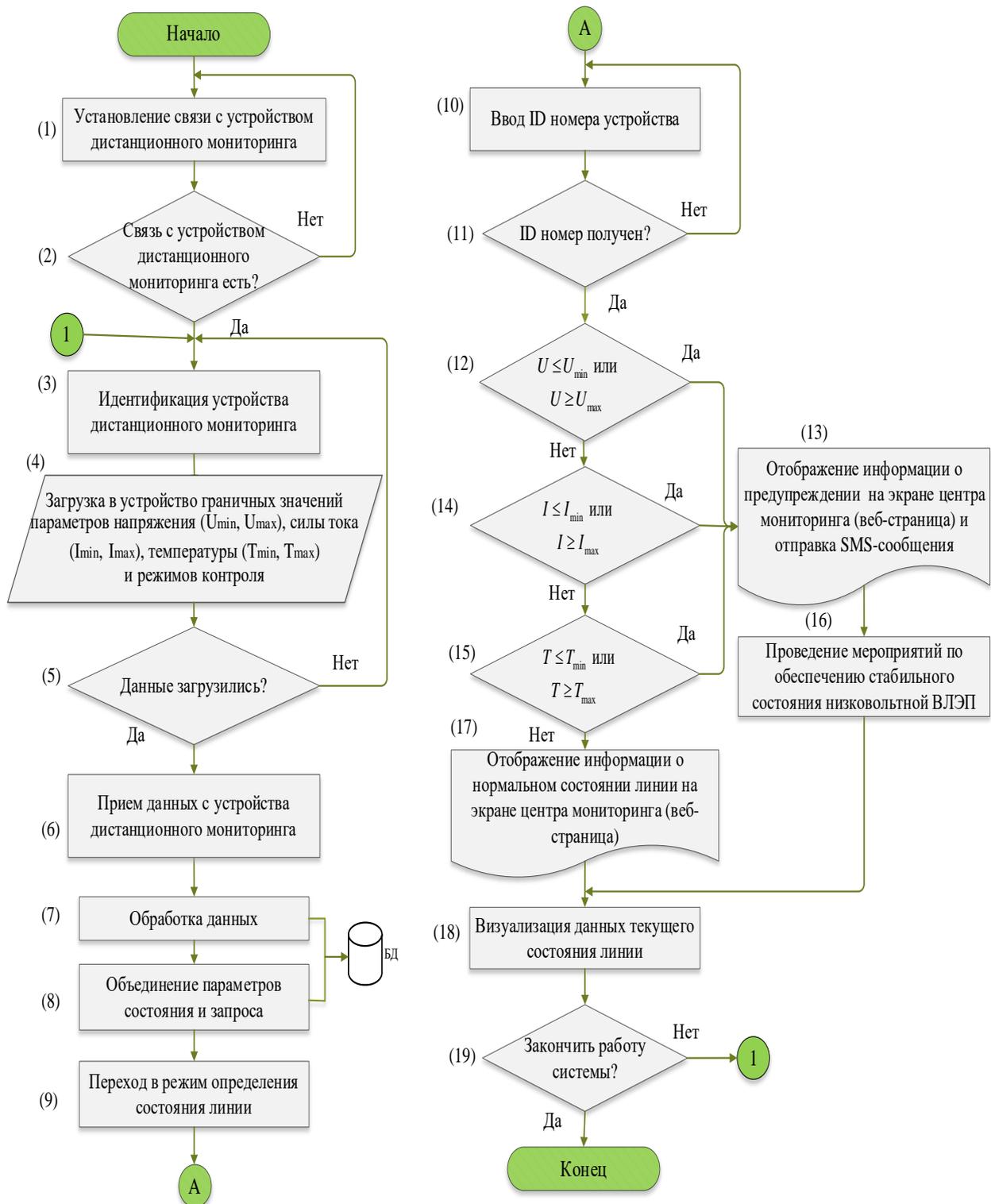


Рис.5. Обобщенный алгоритм работы системы мониторинга

Созданная в рамках исследования физическая модель устройства дистанционного мониторинга была испытана в лабораторных и в реальных условиях на предприятии Мубарекское районное ЭСП Кашкадарьинского

территориального филиала АО «Региональные электрические сети» и получены практические результаты (рис. 6).

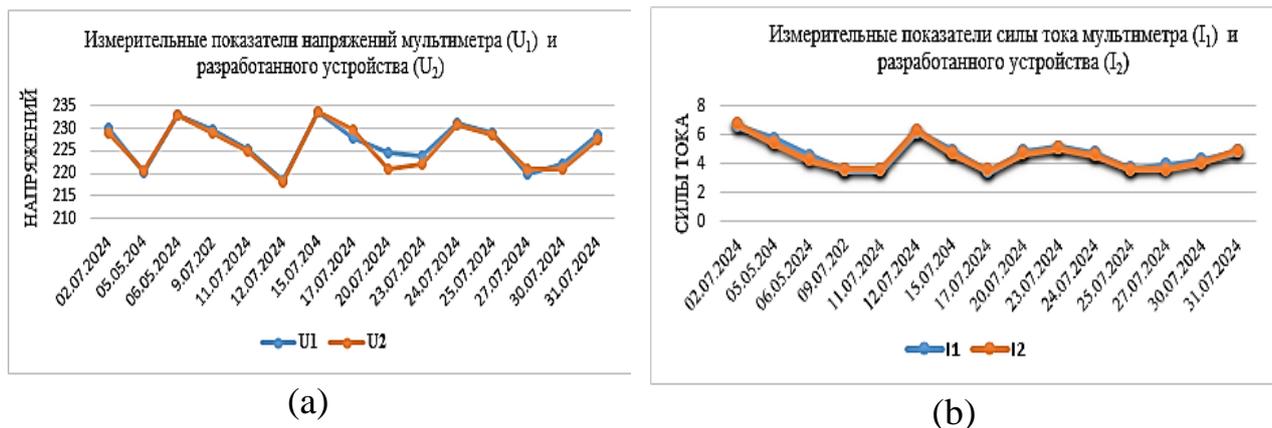


Рис.6. Сравнительные измерительные показатели мультиметра и разработанного устройства при экспериментальных испытаниях: а) сравнение напряжений, б) сравнение силы тока

На основе физической модели и алгоритма работы устройства дистанционного мониторинга низковольтной ВЛЭП погрешность измерения напряжения и тока каждой фазы в трехфазном низковольтном ВЛЭП в среднем не превысило 0,5%, измерение частоты в высокой точностью, за счет установки GPS-модуля появилась возможность дистанционного определения местности, где произошла неисправность.

В четвертой главе диссертации «**Разработка аналитических выражений оценки надежности беспроводной сенсорной сети системы дистанционного мониторинга**» проведён анализ необходимости оценки показателей надежности в системе дистанционного мониторинга, оценки надежности беспроводной сенсорной сетей, состоящей из датчиков и концентраторов мониторинга состояния ВЛЭП. В результате исследований были разработаны аналитические выражения оценки надежности для двух типов соединений (последовательного и сложного) беспроводной сенсорной сети системы дистанционного мониторинга, применение которых позволило повысить точность расчета показателей надежности.

При оценке надежности беспроводной сети на основе структуры соединений датчиков и концентраторов по надежности (рис.7) были введены следующие ограничения:

подключение датчиков и концентраторов в функциональной последовательности как невозстанавливаемая система;

постоянное значение интенсивности отказов $\lambda(t)$ в процессе эксплуатации;

отказы элементов системы подчиняются экспоненциальному закону;

значения вероятностей безотказной работы сенсоров (P_S) взаимно равны, значения вероятностей безотказной работы концентраторов (P_C) взаимно равны;

значения интенсивностей отказов сенсоров (λ_S) взаимно равны, значения интенсивностей отказов концентраторов (λ_C) взаимно равны.

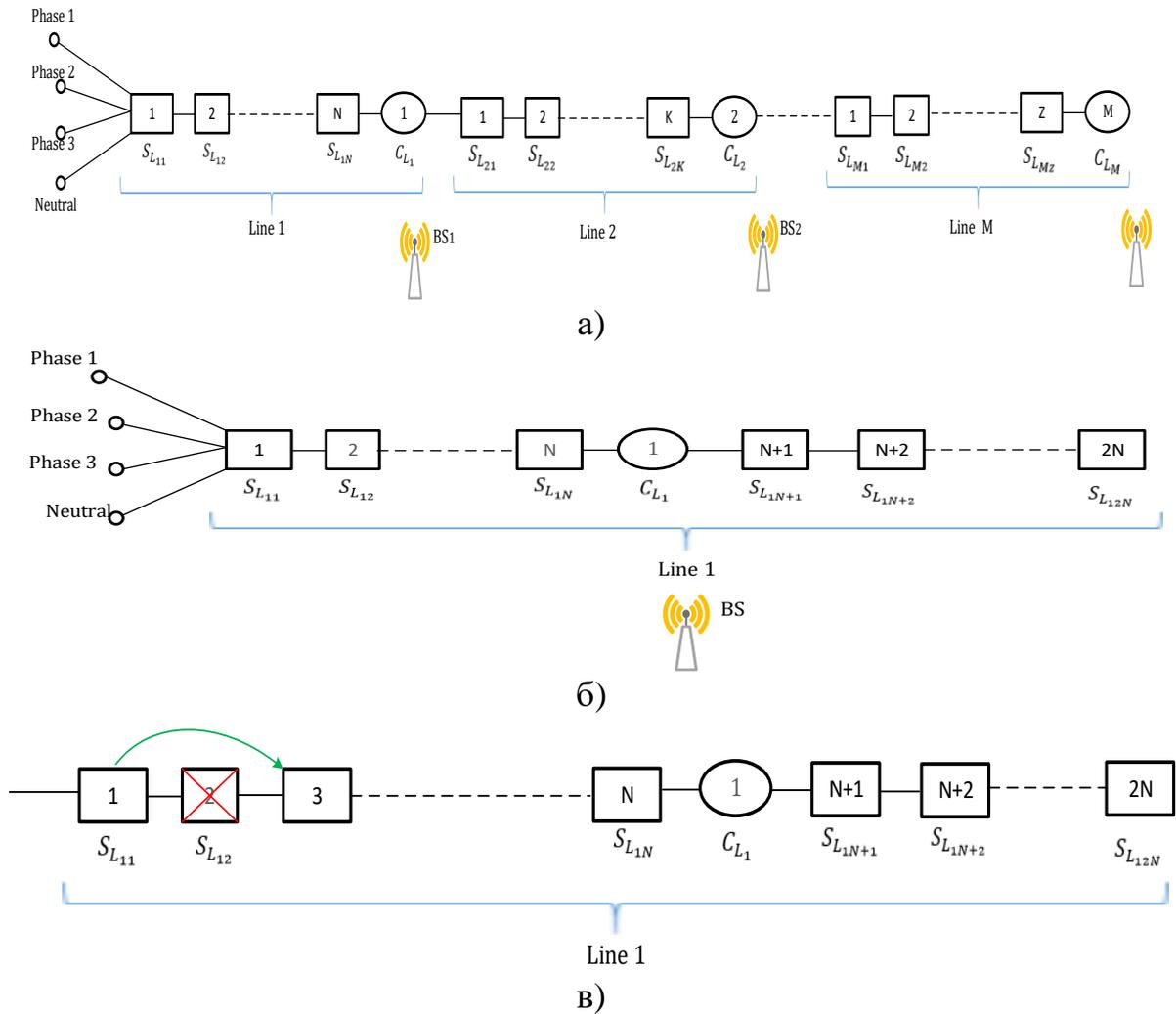


Рис.7. Структура соединения датчиков и концентраторов на линии по надёжности: а) последовательное соединение N датчиков и одного концентратора на одной линии; б) последовательное соединение $2N$ сенсоров и одного концентратора на одной линии; в) структура сети для сложного соединения $2N$ сенсоров и одного концентратора (BS — базовая станция для отправки данных в центр мониторинга через мобильную сеть, S_L — сенсорное устройство на линии, C_L — устройство-концентратор на линии)

Исходя из заданных условий, вероятность безотказной работы системы при двух разных соединениях (рис.7,а и рис.7,б) равна:

$$P_{sys1} = e^{-\left(\sum_{i=1}^N \lambda_{S_{L_i}} + \sum_{j=1}^K \lambda_{C_{L_j}}\right)t}, \quad (4)$$

$$P_{sys2} = e^{-\left(\sum_{i=1}^N \lambda_{S_{L_{2i}}} + \sum_{j=1}^L \lambda_{C_{L_j}}\right)t}, \quad (5)$$

где K и L – количество концентраторов для двух случаев соединений, здесь $K \geq 2L$.

В системе дистанционного мониторинга могут наблюдаться отказы в результате технических неисправностей и внешних воздействий в последовательной цепочке датчиков и модулей. В результате отказа происходит сложное соединение элементов по надежности. Если учесть, что $1...2N$ устройств на один концентратор удовлетворяют вышеуказанным условиям и выражению (5) в структуре последовательного соединения, то для сложной модели (рис.7,в) подключения вероятность безотказной работы устройств в сети рассчитывается следующей формулой:

$$P_{sys3} = (2e^{-\lambda_S \cdot t} - e^{-2\lambda_S \cdot t}) \cdot e^{-[\lambda_C + (2N-2) \cdot \lambda_S] \cdot t} \quad (6)$$

Анализируя вышеизложенное, сравнивались вероятности безотказной работы в течение одного года (8760 часов) при последовательном подключении N датчиков и одного концентратора в одной линии (P_{sys1}), последовательном соединении $2N$ сенсоров и одного концентратора в одной линии (P_{sys2}) и для сложного соединения в случае отказа одного элемента (P_{sys3}) (рис.8).

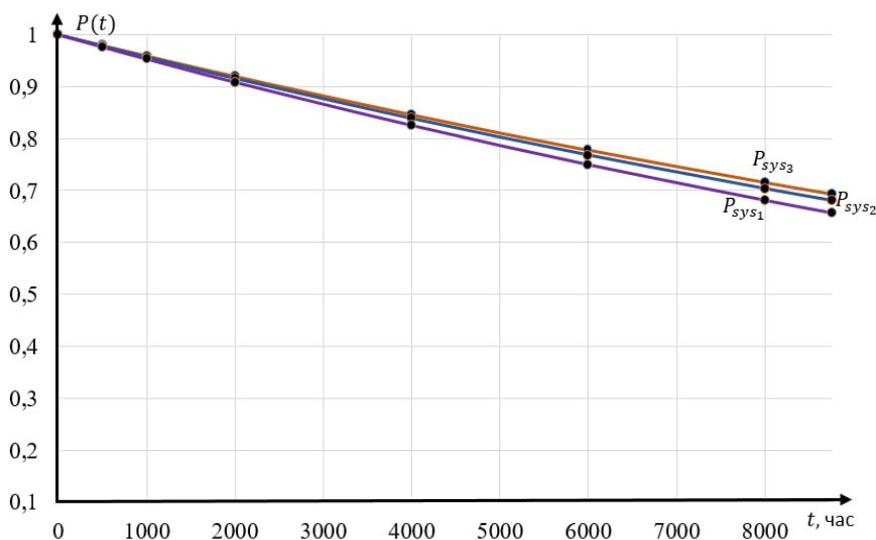


Рис.8. Сравнение показателя надежности беспроводной сенсорной сети системы дистанционного мониторинга за один год, построенной при разных схемах подключения

С помощью разработанных аналитических выражений установлено, что в случае выхода из строя одного из датчиков в беспроводной сенсорной сети системы мониторинга, общая надежность остается высокой. Разработанные аналитические выражения позволили повысить точность количественной оценки надежности беспроводных сенсорных сетей, применяемых в системах мониторинга воздушных линий электропередачи низкого напряжения, а также учитывают особенности различных топологий соединений сенсорных узлов, включая как последовательные, так и сложные структуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований в диссертации доктора философии (PhD) на тему «Дистанционный мониторинг низковольтных воздушных линий электропередачи на основе беспроводных сенсорных сетей» представлены следующие выводы:

1. Анализ состояния мониторинга воздушной системы передачи и распределения электроэнергии показал, что применение системы дистанционного мониторинга, разработанной на основе беспроводных датчиков и технологий автоматизированного управления для обнаружения технических неисправностей и мониторинга потерь электроэнергии на низковольтных воздушных линиях электропередачи, обеспечивает высокую эффективность мониторинга состояния линии.

2. На основе модели и алгоритма работы устройства дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередачи реализована возможность измерения напряжения и силы тока каждой фазы трехфазной низковольтной воздушной линии электропередачи с погрешностью в среднем не более 0,5%, измерения частоты с высокой точностью, дистанционного определения места возникновения неисправности благодаря установке GPS-модуля. Информация об измеренном напряжении, силе тока и частоте каждой фазы отправляется в центр мониторинга и на мобильное устройство диспетчера в виде SMS-сообщения.

3. Применение усовершенствованного метода дистанционного мониторинга позволило в режиме реального времени определять текущее состояние линии и неисправности путем мониторинга значений напряжения, силы тока и частоты трехфазных низковольтных воздушных линий электропередачи.

4. С помощью алгоритма работы и программы системы дистанционного мониторинга, с применением беспроводной сети удалось оперативно обнаружить такие неисправности, как короткие замыкания, обрывы фаз или нейтрали в трехфазной низковольтной воздушной линии электропередачи. Разработанная программа обеспечивает для пользователя визуализацию данных в режиме реального времени, за счет получения точной и подробной информации о техническом состоянии линий электропередачи появилась возможность оперативного принятия решений. В результате скорость расчетных процессов возросла в 1,5-2 раза, точность мониторинга повысилась на 20-30%.

5. Разработанные аналитические выражения оценки надежности беспроводной сенсорной сети позволили применять корректирующие меры надежности до возникновения неисправностей в сети, что способствовало снижению вероятности отказа и увеличению времени безотказной работы сети на 15–20%.

6. Результаты исследований внедрены на предприятиях Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан, в частности, ООО «UNICON.UZ», АК «Узбектелеком», Мубарекском районном ЭСП Кашкадарьинского территориального филиала АО «Региональные электрические сети». Получен патент на полезную модель Министерства Юстиции Республики Узбекистан на устройство для дистанционного мониторинга состояния низковольтных воздушных линий электропередачи.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

KHAYRULLAEV ALISHER FAYZULLA UGLI

**REMOTE MONITORING OF LOW-VOLTAGE OVERHEAD POWER
LINES BASED ON WIRELESS SENSOR NETWORKS**

**05.04.02 – Radio engineering, radionavigation, radiolocation, television systems and
devices. Mobile, fiberoptic communication systems**

**DISSERTATION ABSTRACT FOR THE DOCTOR OF PHILOSOPHY DEGREE
(PhD) OF TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent - 2025

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme attestation commission at the Ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2024.3.PhD/T3694.

The dissertation has been prepared at the Tashkent University of information technologies named after Muhammad al-Khwarizmi.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the Scientific Council website www.tuit.uz and on the website of «ZiyoNet» Informaton and Educational portal www.ziynet.uz.

Scientific adviser:

Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Siddikov Ilkhomjon Khakimovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Djabbarov Shukhrat Yuldashevich
Candidate of Technical Sciences, docent

Leading organization:

Tashkent state transport university

The defence will take place on May "3", 2025 at 10⁰⁰ the meeting of Scientific Council DSc.13/30.12.2019.T.07.02 at Tashkent University of Information Technologies. (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur Street, 108. Tel.: (99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

The dissertation could be reviewed in the Information Resource Centre of Tashkent University of Information technologies named after Muhammad al-Khwarizmi. (Registration number № 348). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur str., 108. Tel.: (99871) 238-64-15).

The abstract of dissertation is distributed on April "22", 2025.
(Protocol at the register №5 on April "22", 2025)



B.Sh. Makhkamov
Chairman of the Scientific Council
awarding scientific degrees, doctor of
economical sciences, professor

M.S. Saitkamolov
Scientific secretary of Scientific Council
awarding scientific degrees, doctor of
economical sciences, docent

D.Ya. Irgasheva
Chairman of the academic Seminar under
the Scientific Council awarding scientific
degrees, doctor of technical sciences,
professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to develop a method, algorithms and analytical expressions for reliability assessment of remote monitoring of the condition of low-voltage overhead power lines using a wireless sensor network.

The object of the research as wireless sensor networks, indicators of low-voltage overhead power lines (voltage, current, power), and a remote monitoring system were obtained.

The scientific novelty of the research work:

a method for detecting normal, short circuit, phase and neutral disconnection conditions based on remote monitoring of current voltage, current strength, and temperature in low-voltage overhead power lines using a wireless sensor network has been improved;

a model and operating algorithm of the remote monitoring device that measures voltage and current in low-voltage overhead power lines, consists of temperature and humidity sensors, identifies the location of the fault via GPS, and allows for the transmission and reception of measured data via wireless communication have been created;

an algorithm for the operation of a remote monitoring system has been created to detect faults in overhead power lines and increase efficiency by monitoring voltage, current, and temperature measured using a wireless network;

analytical expressions for serial and complex connection topologies which allow increasing the accuracy of the assessment of the reliability of a wireless sensor network monitoring system for low-voltage overhead power lines have been developed.

Implementation of research results. Based on the results obtained in the implementation of remote monitoring of the condition of low-voltage overhead power lines based on wireless sensor networks:

the model and operating algorithm of the device for remote monitoring of the condition of low-voltage overhead power lines were implemented in Mubarak district EDE of Kashkadarya regional branch of the JSC “Territorial Electric Networks” (act of Mubarak district EDE of Kashkadarya regional branch of the JSC “Territorial Electric Networks” dated September 5, 2024; reference of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan dated October 31, 2024 No. 33-8/7374-05/6078). As a result of scientific research, based on the physical model and operating algorithm of the device for remote monitoring of the condition of low-voltage overhead power lines, it was found that the error in measuring the voltage and current of each phase of a three-phase low-voltage overhead power line did not exceed 0.5 percent on average, and due to the high-precision measurement of the frequency and the installation of a GPS module, it became possible to remotely determine the area where the fault occurred. Information on the measured voltage, current, and frequency indicators of each phase is sent to the monitoring center and a message to the mobile device of the supervising specialist in the form of SMS;

the improved remote monitoring method of low-voltage overhead power lines, the algorithm and program of the remote monitoring system were implemented at

“UNICON.UZ” LLC (act of “UNICON.UZ” LLC No. 6-12/1867 dated September 20, 2024; reference of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan dated October 31, 2024 No. 33-8/7374-05/6078). As a result of the use of an improved remote monitoring method, it is possible to determine the current state of the line and faults in real time by monitoring the voltage, current and frequency values of three-phase low-voltage overhead power lines. Because of using the algorithm and software of the remote monitoring system, it was possible to quickly detect faults such as short circuits, phase or neutral breaks in three-phase low-voltage overhead power lines via a wireless network. As a result, the calculation processes were accelerated by 1.5-2 times, the monitoring accuracy increased by 20-30%, accelerating the control of changes in the technical condition of power lines;

The results obtained in the form of analytical expressions for assessing the reliability of a wireless sensor network, an improved remote monitoring method, an algorithm for the operation of the remote monitoring system and the program were implemented at Uzbektelecom JSC and UNICON.UZ LLC (act of “Uzbektelecom” JSC No. 27-02-21/3748 dated October 18, 2024; act of “UNICON.UZ” LLC No. 6-12/1867 dated September 20, 2024; reference No. 33-8/7374-05/6078 of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan dated October 31, 2024). As a result, using analytical models for assessing reliability developed for two types of connections (sequential and complex), it was possible to reduce the probability of rejection and increase the network uptime by 15-20% by applying corrective reliability measures before network failures occur.

An useful model patent was obtained from the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan for a device for remote monitoring of the condition of low voltage overhead power lines (FAP 2577. 10.09.2024).

The structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and appendices. The volume of the dissertation is 118 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; I part)

1. Davronbekov D.A., Xayrullayev A.F., Xujamatov X.E., Norkobilov S.A. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyasi holatini masofadan monitoring qilish qurilmasi // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Foydali modelni ro'yxatdan o'tkazish raqami №UZFAP 2577. 10.09.2024

2. Khujamatov H., Davronbekov D., Khayrullaev A., Abdullaev M., Mukhiddinov M., Jinsoo Cho. ERIRMS Evaluation of the Reliability of IoT-Aided Remote Monitoring Systems of Low-Voltage Overhead Transmission Lines // MDPI open access journal of "Sensors". 2024, 24, 5970. Basel, Switzerland -2024 -22 p. (OAK (3) Scopus).

3. Khayrullaev A.F. Classification Methods for Remote Monitoring in Overhead Transmission Power Lines: A Comprehensive Survey // Eurasian Journal of "Engineering and Technology". Volume 28. Belgium -2024. –P. 13-18 (OAK (12), Index Copernicus).

4. Khayrullaev A. Improved Remote Monitoring of Low-Voltage Overhead Power Transmission Lines // "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №3(29), 2024. –B.326-330 (05.00.00, №10).

5. Давронбеков Д.А., Хайруллаев А.Ф. Электр узатиш линиялари ҳолатини масофадан мониторинг қурилмасининг ишлаш алгоритми // "Ахбороткоммуникациялар: Тармоқлар, Технологиялар, Ечимлар" ҳар чораклик илмий-техник журнал. №2(70), 2024. –В. 56-63 (05.00.00; №2).

6. Davronbekov D.A., Xayrullayev A.F. Past kuchlanishli HEUL masofadan monitoring tizimining simsiz sensor tarmoqlarini tashkil etish tamoyillari va ishonchliligini baholash modellari // "Raqamli transformatsiya va sun'iy intellekt" ilmiy-texnik jurnali. №1(2), 2023. –B. 96-107 (OAK rayosat qarori, 04.07.2023, №363).

7. Khayrullaev A.F. Microcontroller-based remote monitoring of overhead power lines // Scientific and Technical Journal "Namangan Institute of Engineering and Technology". Volume 8, Issue 2, 2023. –P.220-228 (05.00.00; №33).

8. Xayrullayev A.F. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari uchun intellektual axborot monitoringi tizimlar tahlili // International scientific journal "Science and innovation", Special Issue "Digital technologies: problems and solutions of practical implementation in the spheres". Tashkent-2023. –B. 467-471 (OAK (23) Scientific journal impact factor 5,608)

9. Davronbekov D.A., Khayrullaev A.F. Models and algorithms for remote monitoring of the condition of overhead power lines // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies. 2022. Vol-2(9). 7 p. (OAK Rayosatining 30.07.202 yildagi qarori bilan "Uzbekistan Research Online" raqamli platformasidagi jurnallarda e'lon qilingan ingliz tilidagi maqolalar dissertatsiyalar

asosiy ilmiy natijalarini e'lon qilishga tavsiya etilgan xorijiy ilmiy nashrlarda chop etilgan ilmiy maqolalarga tenglashtirilgan).

10. Davronbekov D.A., Khayrullaev A.F. Analysis of construction methods and design processes of wireless sensor networks // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent, Edition 12(3). Tashkent 2022. –P. 37-43 (05.00.00, №25). (OAK Rayosatining 30.07.202 yildagi qarori bilan “Uzbekistan Research Online” raqamli platformasidagi jurnallarda e'lon qilingan ingliz tilidagi maqolalar dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini e'lon qilishga tavsiya etilgan xorijiy ilmiy nashrlarda chop etilgan ilmiy maqolalarga tenglashtirilgan).

11. D.A.Davronbekov, A.F.Xayrullayev, N.I.Jurayeva. Elektr uzatish liniyalari holatining masofaviy monitoring tahlili // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-texnika va axborot-tahliliy jurnali, №4 (22), dekabr 2022. –C. 106-110 (05.00.00, №10)

II bo‘lim (II часть; II part)

12. Khayrullaev A.F. Transforming power grid reliability: monitoring overhead power lines with satellite remote sensing technologies // International conference on “Modern satellite multimedia and communication systems”. Tashkent. - 2023. –P.23-27

13. Davronbekov D.A., Khayrullaev A.F. Analysis of Wave Propagation Models in RMS of Low Voltage Overhead Power Line // International Scientific and Pactical Conference on “Actual Problems of Mathematical Modeling and Information Technology”. Special Issue. AIP conference proceedings. Volume 3147, 2024. –P. 030021-1-030021-9 (OAK (3) Scopus)

14. Хайруллаев А.Ф. Оценка удаленного мониторинга воздушных линий электропередач: проблемы и возможности // Сборник трудов международной научно-технической конференции “Современные технологии в нефтегазовом деле-2023”. Уфа-2023. –С. 995-1000

15. Xayrullayev A.F. Past kuchlanishli elektr uzatish tarmog‘idagi nosozliklarni masofadan monitoring tizimi // International conference “Recent advances in intelligent information and communication technologies (ISPC-2022)”. Tashkent -2022. –B.174-178

16. Xayrullayev A.F. Mikroto‘lqinli retranslyator tizimlarining xususiyatlari // Proceedings of the International scientific conference “Information technologies, networks and telecommunications ITN&T-2022”. Urgench -2022. –B. 34-37

17. N.I.Juraeva, A.F.Khayrullaev, J.H.Hamraev. Analysis of The Energy Efficiency of Wireless Communication When Receiving A Data Stream // IOP Conference Series: “Materials Science and Engineering”. Volume 981. Warangal, India -2020. -8 p. (OAK (3) Scopus).

18. Xayrullayev A.F. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining simsiz sensor tarmoqlar asosida masofadan monitoring // “Ta’lim tizimida innovatsiya va ularning amaliy tadbirlari: muammolar va yechimlar” Respublika ilmiy konferensiyasi materiallari to‘plami. Toshkent-2024. –B. 30-33.

19. Xayrullayev A.F. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarini masofadan monitoring qilishda klasterlash usulidan foydalanish // “Zamonaviy ilmfanning dolzarb muammolari, yutuqlari va innovatsiyalari” Respublika ilmiy va ilmiy texnik anjumani maqolalar to‘plami. Toshkent -2023. –B. 301-304.

20. Xayrullayev A.F., N.S.Sultonova. HELM - Havo elektr liniyalari monitoringi tizimlarining masofadan joylashgan sensor bloklari uchun sinxronizatsiya tizimi // “Sun’iy intellekt va raqamli texnologiyalarning jamiyatdagi o‘rni” Respublika ilmiy-amaliy anjumani ma’ruzalar to‘plami. Qarshi -2023. –B. 181-184.

21. Xayrullayev A.F. Radioaloqa texnologiyalarini integratsiyalash va tarmoqni zichlashtirish // “Raqamli transformatsiya jarayonida axborot texnologiyalarini joriy etishda ma’lumotlarni himoyalash muammolari va yechimlari” Respublika ilmiy-amaliy konferensiya ma’ruzalar to‘plami. Qarshi -2022. –B. 305-307.

22. Davronbekov D.A., Xayrullayev A.F., Jurayeva N.I. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan nazorat qilish qurilmasi uchun ma’lumotlarni yig‘ish dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazganligi to‘g‘risidagi guvohnoma №DGU 27522. 18.09.2023

23. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining ko‘rsatkichlarini masofadan o‘lchaydigan qurilmaning dasturiy moduli (quvvat va chastota) // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazganligi to‘g‘risidagi guvohnoma №DGU 39478. 04.06.2024

24. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining ko‘rsatkichlarini masofadan o‘lchaydigan qurilmaning dasturiy moduli (kuchlanish bo‘yicha) // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. №DGU 39476. 04.06.2024

25. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining ko‘rsatkichlarini masofadan o‘lchaydigan qurilmaning dasturiy moduli (tok kuchi) // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. №DGU 39475. 04.06.2024

Avtoreferat «Muhammad al-Xorazmiy avlodlari» ilmiy jurnali tahririyatida o‘zbek,
rus va ingliz tillaridagi matnlarining mosligi tekshirildi.

2770248



Bosishga ruxsat etilgan: 24.03.2025 y.
Bichimi: 60x84 1/8 «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3,0. Adadi: 100. Buyurtma: № 35.

«Public Publish Printing» MChJ
bosmaxonada chop etilgan.
Toshkent, M.Ulug‘bek tum., Moylisoy, 22.