

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

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

XUJAMATOV XALIMJON ERGASHEVICH

**IoT ASOSIDA TELEKOMMUNIKATSIYA QURILMALARI GIBRID
ENERGIYA TA‘MINOTI MANBALARINI AVTOMATLASHTIRILGAN
MONITORING MODEL VA ALGORITMLARI**

**05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari
va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash**

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Contents of the abstract Doctoral (DSc) dissertation

Xujamatov Xalimjon Ergashevich

IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya taʼminoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring model va algoritmlari.....3

Хужаматов Халимжон Эргашевич

Модели и алгоритмы автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на основе IoT.....27

Khujamatov Halimjon Ergashevich

Models and algorithms of automated monitoring of hybrid energy supply sources of telecommunication devices on IoT based55

Eʼlon qilingan ishlar roʻyxati

Список опубликованных работ

List of published works.....59

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

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

XUJAMATOV XALIMJON ERGASHEVICH

**IoT ASOSIDA TELEKOMMUNIKATSIYA QURILMALARI GIBRID
ENERGIYA TA‘MINOTI MANBALARINI AVTOMATLASHTIRILGAN
MONITORING MODEL VA ALGORITMLARI**

**05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va
qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash**

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasining mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta‘lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.3.DSc/T653 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 maslahatchi: **Siddikov Ilxomjon Xakimovich**
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar: **Xamdamov Utkir Raxmatillaevich**
texnika fanlari doktori, professor

Parsiev Saydiyaxad Salixodjaevich
texnika fanlari doktori, professor

Yusupbekov Azizbek Nodirbekovich
texnika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot: **Toshkent davlat transport universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.02 raqamli Ilmiy kengashning 2024-yil “___” _____ soat ___ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko‘chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-65-44; faks: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (___ raqam bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent, Amir Temur ko‘chasi, 108-uy. Tel.:(+99871) 238-65-44).

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil “___” _____ da tarqatildi.
(2024-yil “___” _____ dagi ___ raqamli reestr bayonnomasi)

B.Sh.Maxkamov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
raisi, i.f.d., professor

M.S.Saitkamolov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash ilmiy kotibi, i.f.d., dotsent

D.Y.Irgasheva
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash huzuridagi ilmiy seminar raisi, t.f.d., professor

KIRISH (fan doktori (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda telekommunikatsiya tizimlarining uzluksiz va sifatli hizmat ko'rsatishlarini ta'minlashda ularning energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring qilish va kelajakda iste'mol uchun ishlab chiqilishi kerak bo'lgan energiya quvvatini sun'iy intellekt asosida bashorat qilish usul, model, algoritmlari va dasturiy ta'minotlarini ishlab chiqish hamda takomillashtirishga katta e'tibor qaratilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan telekommunikatsiya qurilmalari energiya ta'minoti manbalarini kattalik va parametrlarini monitoringi uchun axborot-o'lchov vositalarini, texnik hamda dasturiy ta'minotlarini ishlab chiqishga aloxida e'tibor qaratilmoqda. Bu borada rivojlangan mamlakatlarda ham telekommunikatsiya qurilmalarining energiya ta'minoti manbalarini va energiya iste'molini IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoringi va sun'iy intellekt asosida bashorat qilish tuzilmasini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Jahonda telekommunikatsiya qurilmalarini ishonchliligini oshirishda energiya ta'minoti manbalarini IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring va sun'iy intellekt asosida bashorat qilish usul, model, algoritm, vositalari hamda tizimlarini takomillashtirishga qaratilgan qator ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu sohada, jumladan telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringida bir, ikki va uch fazali toklarni kuchlanishga o'zgartiruvchi qurilmasini yaratish, simsiz sensor (ZigBee) tarmog'ini ishga tushirish, simsiz sensor tarmog'ining ishonchlilik ko'rsatkichlarini oshirish modeli va algoritmlari, sensorlardan olingan ma'lumotlarni uzatish, qayta ishlash va ma'lumotlar bazasiga saqlash algoritmi, tizim strukturasi, ma'lumotlar bazasi va ularni taqdim etish formati, sun'iy intellekt asosida bashorat qilish usuli hamda dasturiy ta'minotlari va texnik yechimlarini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda. IoT hamda sun'iy intellekt asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringi va bashorat qilish tizimining kompleksini ishlab chiqish dolzarb masalalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari sohasini yanada takomillashtirishga, telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta'minot manbalarini IoT asosidagi avtomatlashtirilgan monitoring tizimi va sun'iy intellekt asosida bashorat qilish tizimlarini ishlab chiqishga qaratilgan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan " ... iqtisodiyot, ijtimoiy soha, boshqaruv tizimiga axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish, ... iqtisodiyotda energiya va resurslar sarfini kamaytirish, ... ishlab chiqarishga energiya tejaydigan texnologiyalarni keng joriy etish"¹ kabi vazifalar belgilangan. Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta'minot manbalarini IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring tizimi axborot-o'lchov vositalarini va manbalarini ishlab chiqaradigan energiyasi hamda telekommunikatsiya qurilmalari iste'mol quvvatini sun'iy intellekt asosida

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

bashorat qilish modulini ishlab chiqish muhim vazifalardan biri hisoblanmoqda.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-son “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni, 2019-yil 27-martdagi PQ-4249-son “O‘zbekiston Respublikasida elektr energetika tarmog‘ini yanada rivojlantirish va isloh qilish strategiyasi to‘g‘risida”gi, 2019-yil 22-avgustdagi PQ-4422-son “Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejavchi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi, 2019-yil 4-oktyabrdagi PQ-4477-son “2019 - 2030-yillar davrida O‘zbekiston Respublikasining “Yashil” iqtisodiyotga o‘tish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi, 2020-yil 10-iyuldagi PQ-4779-son “Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg‘i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi Qarorlari hamda Vazirlar Mahkamasining 2020-yil 23-iyuldagi 452-son “Qayta tiklanuvchi energiya manbalari qurilmalarining va ulardan ishlab chiqariladigan energiyaning davlat hisobini yuritish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Qarori va mazkur faoliyatga tegishli me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu tadqiqot ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. “Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish” ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi. Telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta‘minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring model va algoritmlari, uch pog‘onali IoTning birlamchi sensor pog‘onasi bo‘lib, ularning tuzilish tamoyillari, parametrik loyihalashga va asosiy tavsiflarini tadqiq etishga yo‘naltirilgan ilmiy tadqiqotlar jahonning yetakchi markazlari va oliy ta‘lim muassasalarida, shu jumladan, University of Wisconsin–Madison, University of Massachusetts Dartmouth, Iowa State University (AQSH), Beihang University, Zhejiang University, Huawei kompaniyasi (Xitoy), Technical University of Denmark (Daniya), City University of London (Buyuk Britaniya), Technische Universität Berlin (Germaniya), NXP Semiconductors (Gollandiya), British Columbia Institute of Technology (Kanada), Amity University (Hindiston), N.E.Bauman nomidagi Moskva Davlat texnika universiteti (MDTU), M.Lomonosov nomidagi Moskva Davlat universiteti (MDU) (Rossiya Federatsiyasi), Belorussiya Davlat informatika va radioelektronika universiteti (BDIRU) (Belorussiya), N.Gumilev nomidagi Yevroosiyo Davlat universiteti (YEDU) (Qozog‘iston), Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetida (TATU) (O‘zbekiston) olib borilmoqda.

Jahonda IoT asosidagi telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta‘minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringi masalalari bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida qator natijalar olingan: University of Wisconsin–Madison, University of Massachusetts Dartmouth, Iowa State University (AQSH), Beihang University, Zhejiang University, Huawei kompaniyasi (Xitoy), Technical University

of Denmark (Daniya), City University of London (Buyuk Britaniya), British Columbia Institute of Technology (Kanada), Amity University (Hindiston), N.E.Bauman nomidagi MDTU, M.Lomonosov nomidagi MDU (Rossiya Federatsiyasi), TATU (O'zbekiston)da monitoring tizimini modellari va usullari ishlab chiqilgan, Huawei kompaniyasi (Xitoy), Technische Universität Berlin (Germaniya), NXP Semiconductors (Gollandiya), Amity University (Hindiston), MDTU, M.Lomonosov nomidagi MDU (Rossiya Federatsiyasi), TATU (O'zbekiston)da simsiz sensor tarmog'ini ishonchliligi modellashtirish va vaqt ehtimollik tavsiflari tadqiq qilingan.

Dunyoda gibril energiya ta'minoti manbalarini monitoring va bashorat qilish masalalarini yechish uchun quyidagi istiqbolli yo'nalishlar bo'yicha tadqiqotlar o'tkazilmoqda: modellar va algoritmlarni ishlab chiqish, sun'iy intellekt asosida ishlab chiqarilgan energiya va iste'molini bashorat qilish usul va modellarini ishlab chiqish hisoblanadi.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringi bir, ikki va uch fazali toklarini kuchlanishga o'zgartiruvchi sensorlarini yaratish, monitoring tizimi simsiz sensor (ZigBee) tarmog'ini ishga tushirish hamda tarmoq ishonchlilik ko'rsatkichini oshirish modeli, IoT sensorlaridan olingan ma'lumotlarni uzatish, qayta ishlash, ma'lumotlar bazasiga saqlash algoritmi, monitoring tizimi strukturasi, ma'lumotlar bazasi va ularni taqdim etish formati, manbalarini ishlab chiqaradigan energiyasi hamda iste'mol quvvatini sun'iy intellekt asosida bashorat tadqiqi bo'yicha keng qamrovli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda.

Ushbu tadqiqot yo'nalishiga Schaumburg H., Ritchie E., Hanitch R., Rampias I., Chedid R., De A.R., Zhou W., Zhang L., Park J.S., Senjyu T., Arul P.G., Upadhyay S., Crespi N., Mohanty S., Niu M., Yang Y., Raza M., Monjoly S., Zhang X., Wang J., Sharifian A., Ghadi M.J., Ghavidel S., Li L., Zhang J., Dehghani M., Bissing D., Klein M.T., Ma M., Wang Z., Prince W. Khan., Mijanur R., Noviskiy P.V., Urakseev M.A. va boshqa taniqli horijiy olimlarning ilmiy ishlari bag'ishlangan. Shuningdek, belgilangan muammoni tadqiq qilish masalalariga respublikamiz olimlari Yusupbekov N.R., Igamberdiyev X.Z., Azimov R.K., Gulyamov Sh.M., Abdukayumov A.A., Shipulin Yu.G., Xalikov A.A., Amirov S.F., Plaxtiyev A.M., Isayev R.I., Siddikov I.X., Maxkamjonov B., Rakhmonov I.U., Pisetskiy Y.V., D.T.Xasanov va boshqalar ilmiy ishlari bag'ishlangan.

Olib borilgan tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring va sun'iy intellekt asosida bashorat qilishda zamonaviy texnika va texnologiyalarni kompleks qo'llash, monitoring va bashorat jarayoni uchun yangi turdagi sensorlarni yaratish, IoT sensorlaridan olingan ma'lumotlarni uzatish, qayta ishlash, ma'lumotlar bazasiga saqlash algoritmi, monitoring tizimi strukturasi, ma'lumotlar bazasi va ularni taqdim etish formatini ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish masalalari yetarli darajada o'rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy tadqiqot rejasining

ITD-17-015 - sonli “O‘zbekiston Respublikasi telekommunikatsiyalar vositalari va tarmoqlarining ishlash barqarorligini tadqiq qilish” (2009-2011), BV-A3-027 - sonli “Mustaqil energiya manbali binoning elektr ta‘minoti boshqaruv tizimini ishlab chiqish va joriy etish” (2017-2018), 574049-EPP-1-2016-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP “Modernization of the Curricula in sphere of smart building engineering - Green Building (GREB)” (2016-2019), 7/18 - sonli «Gibrid energiya manbalarini qo‘llash orqali kommunikatsiyalar va aloqa obyektlarining energetik samaradorligini oshirish hamda energetik ko‘rsatkichlarini takomillashtirish» (2018-2020), AKT-A-2021-3 «Qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosidagi energotizim chiqish parametrlarini tadqiq qilish dasturiy ta‘minoti va simulyatsion stendini tajribaviy namunasini yaratish va ishlab chiqish» (2021-2023) hamda Uzb-Ind-2021-94 «CRN-ga asoslangan IoT-dan foydalaniladigan «Aqlli shahar» tizimlarida energiya tejamkor aloqa va ma‘lumotlar oqimi» (2021-2023) xalqaro loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi IoT va sun‘iy intellekt asosida telekommunikatsiya qurilmalarining gibrid energiya ta‘minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring tizimi va bashoratlash model hamda algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta‘minoti manbalari turlari hamda ularni monitoring usullari va vositalarini tahlil qilish;

telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta‘minoti tizimining IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoringi sensorlarini modellashtirish, loyihalash va ishlab chiqish;

avtomatlashtirilgan monitoringi simsiz sensor tarmog‘ini ishga tushirish, ularning qurilmalarini qo‘shish va modullar orasida ma‘lumotlarni uzatish model va algoritmlarini yaratish;

avtomatlashtirilgan monitoring simsiz sensor tarmog‘ining ishonchlilik ko‘rsatkichini hisoblashning analitik modeli va algoritmini yaratish;

telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta‘minoti manbalarini IoT asosidagi avtomatlashtirilgan monitoringi imitatsion modelini yaratish;

IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta‘minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringi arxitekturasi, strukturasi, ma‘lumotlar bazasi va taqdim etish formatini ishlab chiqish;

sun‘iy intellekt asosida gibrid energiya ta‘minoti manbalarini energiyasini, telekommunikatsiya qurilmalari iste‘mol quvvatini bashorat qilish modelini yaratish.

Tadqiqotning obyekti sifatida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta‘minoti manbalari, ularni IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring tizimi qurilmalari va vositalari hamda bashorat qilish moduli olingan.

Tadqiqotning predmetini telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta‘minoti manbalarini IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoringi va sun‘iy intellekt asosida bashorat qilish jarayonlari tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqotlar jarayonida signal o‘zgartirish, elektr va magnit zanjirlarining taqsimlangan qiymat va parametrlarini hisoblash, xatoliklar

nazariyasi, graflar nazariyasi, ommaviy xizmat ko'rsatish nazariyasi, raqamli ishlov berish va uzatish, tarmoqlarni loyihalash, imitatsion modellashtirish, mashinaviy o'qitish, chuqur o'qitish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

ilk marotaba telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringi uchun bir, ikki va uch fazali toklarni magnit oqimlarining o'zaro ta'sirini hisobga olish asosida ikkilamchi kuchlanish ko'rinishdagi signalga o'zgartiruvchi qurilmaning modeli yaratilgan;

avtomatlashtirilgan monitoring tizimi simsiz sensor tarmog'ini rad etmasdan ishlash ehtimolligini Mesh topologiyasi asosida oshirish imkonini taqdim etuvchi model va algoritmi yaratilgan;

telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minoti manbalarini IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring jarayonini amalga oshiruvchi usul va arxitektura ishlab chiqilgan;

IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring jarayonida gibrid energiya ta'minoti manbasi sensorlaridan olingan axborotlarni uzluksiz uzatish va ma'lumotlar markazi serveriga saqlashni ta'minlovchi algoritmlar yaratilgan;

telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minoti manbalarini IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring tizimini real vaqt mobaynida ishlash jarayonini optimallashtiruvchi imitatsion model yaratilgan;

sun'iy intellekt asosida gibrid energiya ta'minoti manbalarining ishlab chiqaruvchi va telekommunikatsiya qurilmalarining iste'mol qiluvchi energiyasini bashoratlash aniqligini oshiruvchi model yaratilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringi uchun bir, ikki va uch fazali tokini kuchlanishga o'zgartiruvchi qurilma ishlab chiqilgan;

IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringi va sun'iy intellektli bashorat qilish dasturiy ta'minoti ishlab chiqilgan;

sensorlar, mikrokontroller boshqaruv bloki va IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minotini manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringi tuzilmasi, ma'lumotlar bazasi va ularni taqdim etish formati ishlab chiqilgan;

IoT asosida gibrid energiya ta'minoti manbalarining avtomatlashtirilgan monitoringi axborot-o'lchov moduli, apparat va dasturiy ta'minoti ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minoti manbalarining avtomatlashtirilgan monitoring tizimi va bashoratlash uchun ishlab chiqilgan qurilmalari, tadqiqot modellari, olingan tadqiqotlar natijalarini umumqabul qilingan mezonlar asosida qiyosiy solishtirish orqali izohlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring va bashorat qilish tizimi modeli va algoritmi, simsiz sensor tarmoq modullari orasida ma'lumotlarni uzatish algoritmi, simsiz sensor tarmog'ining ishonchliligini oshirish modeli va algoritmi,

sensorlaridan olingan ma'lumotlarni uzatish, qayta ishlash, ma'lumotlar bazasiga saqlash algoritmi, monitoring tizim tuzilmasi, ma'lumotlarni taqdim etish formati, sun'iy intellekt asosida bashorat qilish modelini yaratilganlik bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati avtomatlashtirilgan monitoringi bir, ikki va uch fazali toklarini kuchlanishga o'zgartiruvchi qurilmasini, bashorat qilish dasturiy ta'minoti, sensorlar, mikrokontrollerli boshqaruv bloki va monitoring tizimi strukturasi, ma'lumotlar bazasi hamda IoT asosida gibril energiya ta'minoti manbalarining o'lchov va nazorat tizimi axborot-o'lchov modulini, apparat va dasturiy ta'minotini ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring model va algoritmlari bo'yicha olingan natijalari asosida:

“Tokni kuchlanishga o'zgartirgich” qurilma uchun O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligidan ixtiroga patent olingan (№IAP 06646 - 2021). Natijada IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoringi bir, ikki va uch fazali toklari hosil qilgan magnit oqimlarining o'zaro tasirini hisobga olish orqali sensorning sezgirligini 6 marotagacha orttirish imkonini bergan;

IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring tizimi simsiz sensor tarmog'ini ishga tushirish, oxirgi qurilmalarini qo'shish va modullar orasida ma'lumotlarni uzatish algoritmlari hamda avtomatlashtirilgan monitoring tizimini real vaqt davomida ishlash jarayonini imitatsion modeli Raqamli texnologiyalar vazirligi tasarrufidagi korxonalarda, xususan Radioaloqa, radioeshittirish va televideniye markazi DUKga joriy etilgan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023-yil 23-martdagi 33-8/1897-son ma'lumotnomasi). Ilmiy tadqiqot natijasida sensorlar, mikrokontroller bloki va IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minotini manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring tizimini qo'llash orqali energiya ta'minoti manbalariga texnik xizmat ko'rsatish va ekspluatatsiya vaqtini 7-8 %ga qisqartirish imkonini bergan;

IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minotini manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring tuzilmasi, ma'lumotlar bazasi va ularni taqdim etish formati hamda avtomatlashtirilgan monitoring tizimining Mesh topologiyali simsiz sensor tarmog'i Raqamli texnologiyalar vazirligi tasarrufidagi korxonalarda, xususan “O'zbektelekom” AK Toshkent filialining Yangibozor hamda Sirdaryo filialining Guliston tuman telekommunikatsiyalar bog'lamlariga joriy etilgan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023-yil 23-martdagi 33-8/1897-son ma'lumotnomasi). Ilmiy tadqiqot natijasida ixtiroga olingan patent, yaratilgan qurilma va ishlab chiqilgan modellar, algoritmlar va dasturiy ta'minotlarni amaliyotga qo'llash orqali telekommunikatsiya qurilmalari ishlash ishonchligi oshirilgan hamda energiya va resurslarni tejashdagi iqtisodiy samara yiliga 2-3 %ni tashkil etdi;

sun'iy intellekt asosida gibril energiya ta'minoti manbalarini ishlab chiqaradigan energiyasi va telekommunikatsiya qurilmalari iste'mol quvvatini bashorat qilish modeli hamda monitoring tizimi simsiz sensor tarmog'ini ishga tushirish, oxirgi qurilmalarini qo'shish va modullar orasida ma'lumotlarni uzatish algoritmlari Raqamli texnologiyalar vazirligi tasarrufidagi korxonalarda, xususan

“O‘zbektelekom” AK Toshkent filialining Yangibozor, Sirdaryo filialining Guliston tuman telekommunikatsiyalar bog‘lamalariga joriy etilgan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023-yil 23-martdagi 33-8/1897-son ma’lumotnomasi). Ilmiy tadqiqot natijasida IoT asosida elektr energiya iste’molini monitoring va bashorat qilish orqali tizimlarining yuqori aniqligi, qurilmalarni uzluksiz ishlashi ta’minlanganligi sababli samaradorlikni 4-5 % ga oshirish ta’minlandi;

gibrid energiya ta’minoti manbalarini IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring tizimini real vaqt davomida ishlash jarayonini imitatsion modeli va sun’iy intellekt asosida bashorat qilish modeli Raqamli texnologiyalar vazirligi tasarrufidagi korxonalarda, xususan “UMS” MCHJga joriy etilgan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023-yil 23-martdagi 33-8/1897-son ma’lumotnomasi). Ilmiy tadqiqot natijasida mobil aloqa baza stansiyalari iste’mol quvvatini 97 % gacha aniqlikda bashorat qilish va mobil aloqa baza stansiyalari gibrid energiya ta’minoti manbalarida nosozliklarini o‘z vaqtida aniqlash hamda tezkor xizmat ko‘rsatish orqali stansiyaning ishlash samaradorligini 3-4 % ga oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqotlar natijalari 10 ta xalqaro, 6 ta respublika ilmiy-amaliy konferensiyalar hamda ilmiy seminarlarda muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi. Tadqiqotlar mavzusi bo‘yicha jami 65 ta ilmiy ishlar, ulardan 2 ta monografiya, 1 ta O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligining, 1 ta Avstraliya hukumati Patent offisining ixtiroga patentlari olingan, 35 ta ilmiy maqolalar O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tavsiya etgan jurnallarda, shu jumladan 28 ta horijiy, 7 ta respublika miqyosidagi jurnallarda, 10 ta xalqaro va 7 ta respublika ilmiy-texnik va ilmiy-amaliy konferensiyalarida tezis materiallari chop etilgan va 9 ta EHM uchun ishlab chiqilgan dasturiy vositalarni qayd qilish guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, beshta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 200 betni tashkil etadi va 105 ta rasm, 13 ta jadvaldan iborat.

DISSERTATSIYA ISHINING ASOSIY MAZMUNI

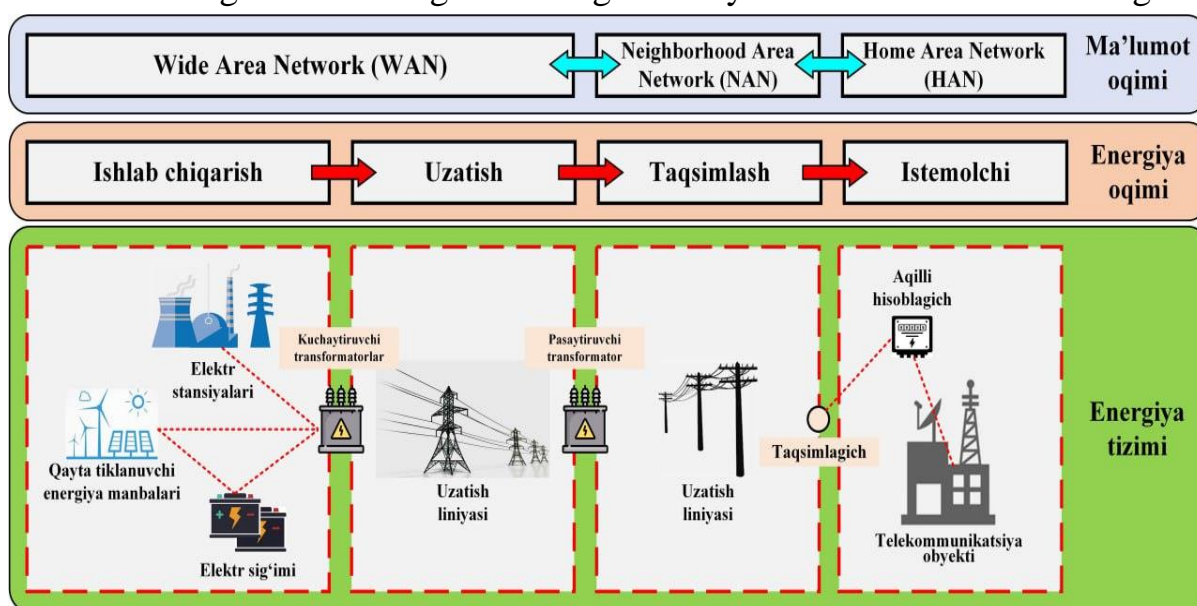
Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning maqsad va vazifalari belgilab olingan, tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, natijalarning ishonchligi asoslab berilgan, ularning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amalga joriy qilish holati, nashr etilgan ishlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Telekommunikatsiya qurilmalarining gibrid energiya ta’minoti manbalari, ularni IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoringi**» deb nomlangan birinchi bobida telekommunikatsiya qurilmalarining barqaror ishlashiga ta’sir etuvchi omillar, gibrid energiya ta’minoti manbalari, energiya ta’minoti manbalarini IoTga asoslangan avtomatlashtirilgan monitoring tizimi, unda

qo‘llaniladigan zamonaviy sensorlar, aloqa vositalari va foydalaniladigan ilovalar tahlil qilingan va ko‘rib chiqilgan.

So‘nggi yillarda qayta tiklanuvchi energiya ta‘minoti (QTET) tizimidan foydalangan holda telekommunikatsiya qurilmalarini uzluksiz ishlashi amalga oshirib kelinmoqda. Telekommunikatsiya qurilmalarini uzluksiz ishlashini ta‘minlash maqsadida quyosh, shamol, kabi qayta tiklanadigan energiyalardan gibrid holda foydalanish barqarorligi tufayli bunday telekommunikatsiya qurilmalarini “Yashil telekommunikatsiya qurilmalar” deb ham atalib kelinmoqda.

Bugungi kunga kelib IoTga asoslangan avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarida elektr energiya isrofini minimallashtirish va an‘anaviy elektr tarmoqlari muammolarini hal qilish, samaradorlik, ishonchlik, xavfsizlik, barqarorlik va elektr energiyasiga bo‘lgan talabni oshirishda mumkin bo‘lgan yutuqlarni hal qilish uchun istiqbolli yechim sifatida rivojlanib kelmoqda hamda IoTga asoslangan avtomatlashtirilgan monitoring tizimining umumiy tuzilishi 1-rasmda keltirilgan.

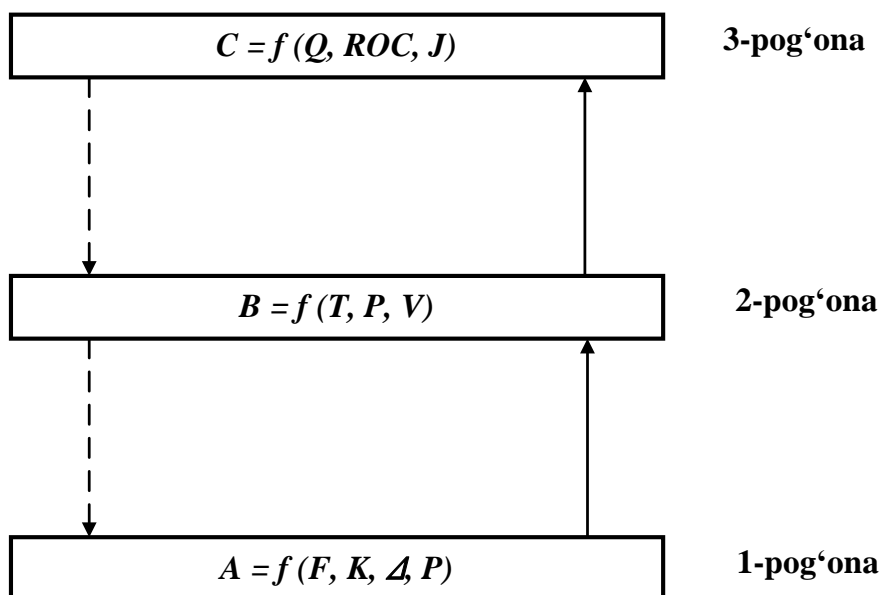


1-rasm. Energiya tizimlarida quvvat va axborot oqimini taqdim qiluvchi IoTga asoslangan monitoring tizimini tuzilish sxemasi

IoTga asoslangan monitoringning to‘rtta asosiy quyi tizilmasini quyidagilar tashkil etadi: energiya ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va energiya iste‘moli. Quyi tizimlarning barchasiga IoTni qo‘llash mumkin va ularni yaxshilash uchun istiqbolli yechim sifatida namoyon bo‘lib, avtomatlashtirilgan monitoringning asosiy elementiga aylantiradi. Shuningdek, avtomatlashtirilgan monitoring hududiy tarmoq (HAN), qo‘shni tarmoqlar (NAN) va keng hududiy tarmoqlar (WAN) kabi tarmoqlardan iborat bo‘ladi. Telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta‘minoti manbalarini IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoringi uchun uch pog‘onali arxitekturasi tuzilishi foydalanishga qulay hamda adaptiv jixatdan boshqa turdagi arxitekturalardan avzalliklarga ega.

Ushbu pog‘onalar uchun keltirilgan masalalar bir - biri bilan o‘zaro bog‘liq hisoblanib, bunda ishlab chiqiladigan modellar ham o‘zaro bog‘liq hisoblanadi.

Avtomatlashtirilgan monitoringning faoliyatini tadqiq etish metodologiyasi ishlab chiqilgan bo‘lib, unda pog‘onalarning o‘zaro bog‘liqligi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Pog'onalarining o'zaro bog'liqligi

Monitoringni pog'onalararo umumiy jarayonini ishonchlilik va samaradorligini ifodalash uchun M qabul qilindi. Monitoring tizimining umumiy ishonchlilik va samaradorligi barcha pog'onalar ishlash jarayoniga bog'liq bo'lib, u quyidagicha to'plam orqali ifodalanadi:

$$M = A \cup B \cup C, \quad (1)$$

bu yerda: A – monitoring tizimida 1-pog'onaning asosiy ko'rsatkichlari, B – monitoring tizimida 2-pog'onaning asosiy ko'rsatkichlari, C – monitoring tizimida 3-pog'onaning asosiy ko'rsatkichlari.

Olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki avtomatlashtirilgan monitoring tizimi ishonchliligi va samaradorligini oshirish uchun quyidagi masalalarni hal etish talab etiladi:

- monitoring jarayoning 1-pog'onasida sensorning funksional imkoniyati kengaytirilgan turi (F)ni yaratish, sezgirligi (K)ni oshirish, xatoliklar manba (Δ)ni kamaytirish va ishonchliligi (P)ni oshirish;

- monitoring jarayoning 2-pog'onasida sensorlardan ma'lumotlarni yig'ish va uzatish uchun maqbul topologiya (T)ni tanlash, tarmoq ishonchliligi (P)ni oshirish hamda taklif etilayotgan tarmoq uchun vaqt-extimollik tavsiflari (V)ni tadqiq etish;

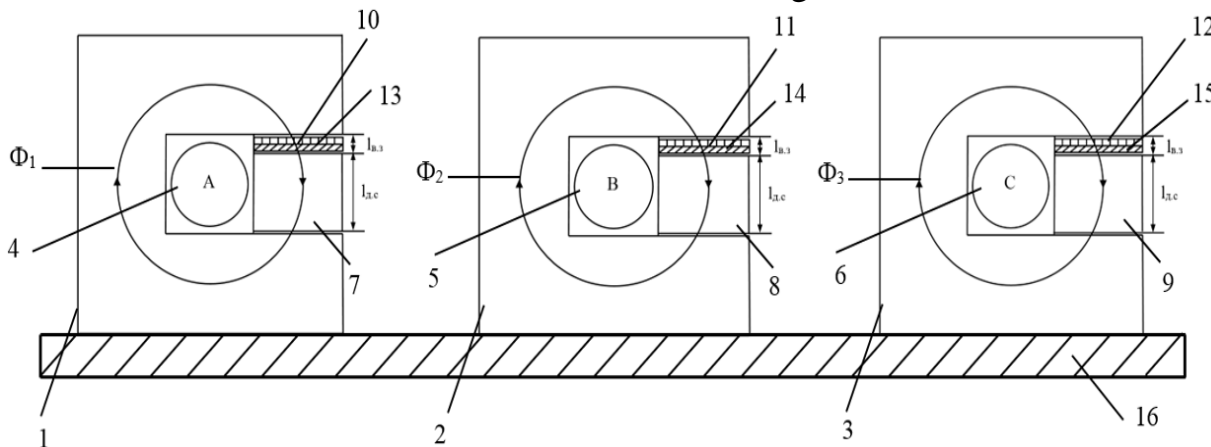
- 3-pog'onada telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minoti manbalarini ishlab chiqargan energiyasi va qurilmalar iste'mol quvvatini bashorat qilishning samarali usul va modellarini yaratish orqali bashoratlash modeli (Q)ni baholash aniqligini, qabul qilgichning ishchi xarakteristikasi (ROC)ni hamda bashoratlashni aniqligi (J)ni oshirish.

Mazkur metodologiya asosida dissertatsiya ishida 3 - pog'onali IoT arxitektirasi asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring tizimini arxitekturasi ishlab chiqildi va barcha pog'onalarining bir - biri bilan bog'liqligini inobatga olgan holdi dissertatsiya vazifalari belgilab olindi.

Dissertatsiyaning **“Avtomatlashtirilgan monitoring sensorlarini modellashtirish va tasniflarini tadqiq etish”** deb nomlangan ikkinchi bobi IoT

asosida monitoringning birlamchi sensor qatlamida qoʻllaniluvchi sensorlarni tuzilishi va modellashtirish tamoyillari, asosiy zanjirlari modellari va tadqiqoti, oʻzgartirish boʻlaklarini modellashtirishga bagʻishlangan.

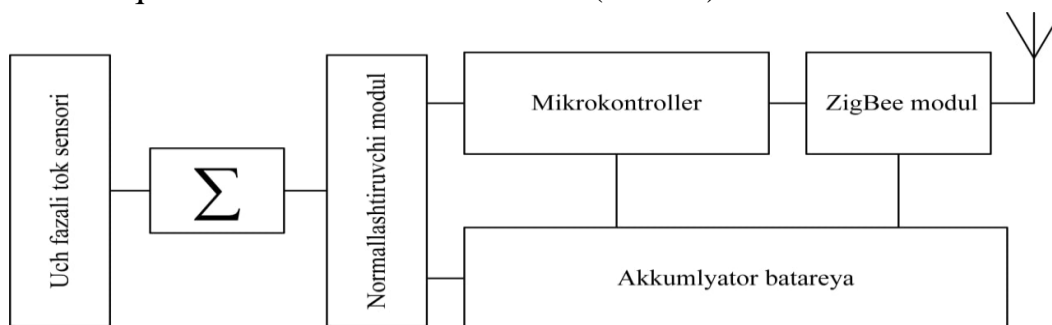
IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya taʼminoti manbalarining avtomatlashtirilgan monitoringida qoʻllanuvchi bir, ikki va uch fazali sensorning koʻrsatilgan magnit oʻzak tuzilma turlari hamda unda qoʻllangan elementlar asosida tuzilish sxemasi 3 - rasmda keltirilgan.



3 - rasm. Avtomatlashtirilgan monitoringning bir, ikki va uch fazali toklari sensorini tuzilish sxemasi

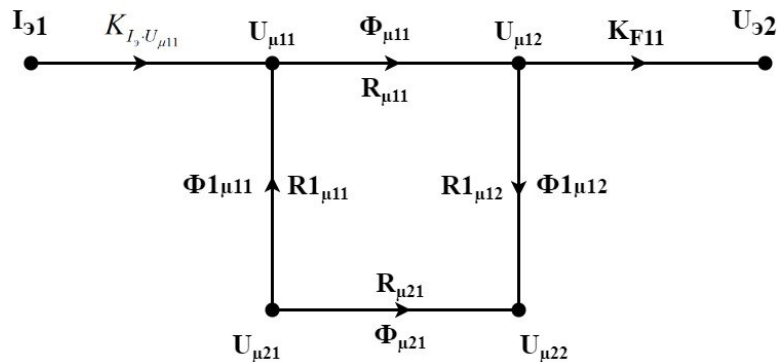
Monitoringning bir, ikki va uch fazali toklarni kuchlanishlarga oʻzgartirgich sensori tarkibiga uchta Π -shakldagi magnit oʻzaklarni 1, 2 va 3, ularning asosida elektr tarmogʻining uch fazali simlarining birlamchi oʻramlari 4, 5 va 6 joylashtiriladi. Sensorlarning Π -shakldagi magnit oʻzakning parallel sterjenlarining orasida quyi sterjenlarida qoʻshimcha oʻzaklar 7, 8 va 9 joylashtirilib, qoʻshimcha elementlar orasidagi havo boʻshligʻida 7, 8 va 9 hamda magnit oʻtkazuvchilarning yuqori sterjenlari orasida 1, 2 va 3 izolyatsion plastinkalarda 13, 14 va 15 sezgir elementlar 10, 11 va 12 joylashtiriladi. Barcha Π -shakldagi sensorlarning uchta magnit oʻzaklari 1, 2 va 3 dielektrik materildan tashkil topgan umumiy asosga (16) joylashtiriladi.

Monitoring jarayonida bir, ikki va uch fazali sensorning signal oʻzgartirishini amalga oshirish uchun sezgir elementlar chiqishiga mikrokontrollerli boshqarish bloki va simsiz telekommunikatsiya tarmoq elementi joylashtiriladi hamda bu asosda sensor quvvat manbai bilan boʻlanadi (4-rasm).



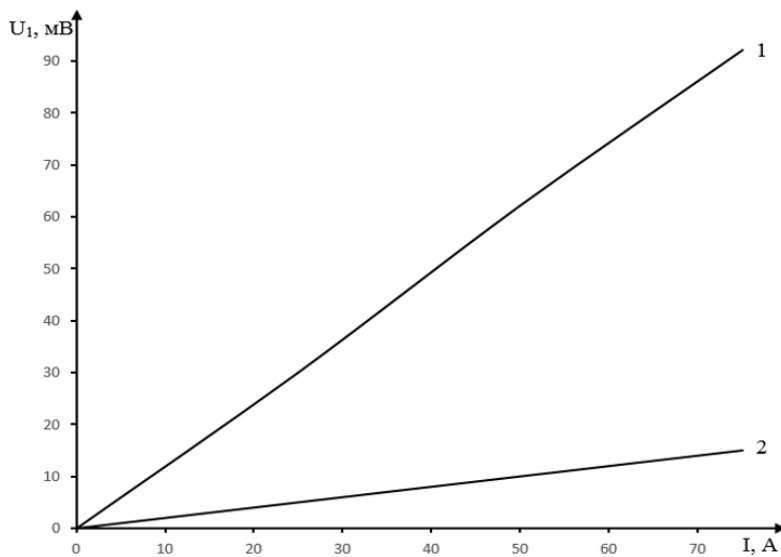
4 - rasm. Bir, ikki va uch fazali toʻkni masofadan oʻlchash imkonini taqdim etuvchi IoT sensorining tuzilishi

Monitoring jarayonida sensor magnit o‘zaklaridagi magnit oqimini o‘zgarishi asosiy ro‘l o‘ynashini inobatga olib bir hil bo‘lmagan parametrlar bilan sensor zanjirlarini modellashtirish va hisoblash amalga oshirilishi talab etiladi hamda sensorning signal o‘gartirish ekvivalent sxemasi 5-rasmda keltirilgan.



5-rasm. Sensorning signal o‘zgartirish zanjirlarini graf model asosidagi ekvivalent sxemasi

Monitoring jarayonida telekommunikatsiya obektlari faoliyatiga ta’sir etmagan holda manbalarni nazorat qilishda axborot-o‘lchov bloki sezgirligiga qo‘yiladigan talablar sensorlarning asosiy ko‘rsatkichlaridan biri hisoblanadi. Sensorning graf va analitik modeli asosida olib borilgan tadqiqotlar natijalari olingan statik tavsiflari 6-rasmda keltirilgan.



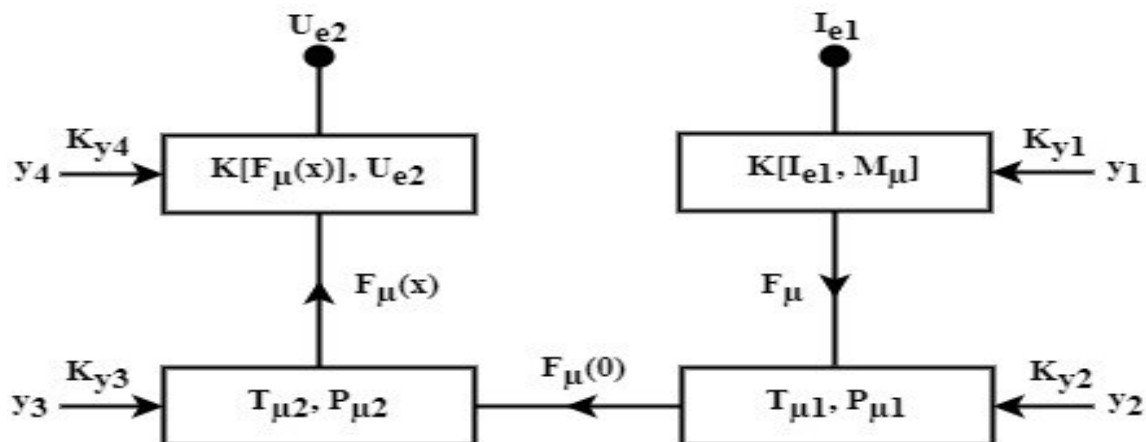
6-rasm. Avtomatlashtirilgan monitoring sensorining graf va analitik modellari asosida olib borilgan tadqiqotlar natijalari (1- $l_{x.o}=0,005$; 2- $l_{x.o}=0,04$)

Monitoring sensorining 7-rasmda olingan statik tavsiflari havo oralig‘i qalinligi $l_{x.o}=0,005$ m va $l_{x.o}=0,04$ m ga teng bo‘lgandagi sezgirligi quyidagiga teng:

$$K_1 = 1,2 \frac{MB}{A}; \quad K_2 = 0,2 \frac{MB}{A}. \quad (2)$$

Avtomatlashtirilgan monitoring sensorining sezgirligini K_1 va K_2 miqdorlar geometrik o‘lchovlaridan bo‘lgan havo oralig‘iga bog‘liq ravishda 6 marotagacha orttirish imkonini mavjud ekanini ko‘rsatdi.

IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring sensorlarning xatoliklarini tahlil qilish va baholash uchun 7 - rasmda tasvirlangan funksional sxemasi grafli modelidan foydalaniladi.



7 - rasm. IoT asosida gibridd energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring sensorining funksional sxemasi

1- blokda sensorning I_{lf} faza tokini U_{μ} magnit yurituvchi kuchga o'zgartirish bo'lib o'tadi, 2- blokda F_{μ} magnit yurituvchi kuch mos MO'da F_{μ} magnit oqimini vujudga keltiradi, 3- blokda tekis o'lchash cho'lg'amining o'yig'ida joylashishi tufayli yassi o'lchash cho'lg'amning chiqishida U_{e2} chiqish elektr yurituvchi kuchi induksiyalanadi. Sensorning yig'indi xatoligini baholash uchun 1, 2 - va 3- bloklarida vujudga keladigan xatoliklarni alohida baholaymiz:

Monitoring sensorining xatoligi: 1. $I_{e1} \rightarrow U_{\mu}$ o'zgartirish xatoligini, ya'ni $\delta_1=0,2$ ($\pm 0,2\%$ - birlamchi nominal qiymat), 2. $U_{\mu} \rightarrow F_{\mu}$, ya'ni $\delta_2=0,1$ va 3. $F_{\mu} \rightarrow U_{e2}$, ya'ni $\delta_3=0,1$ bo'lgan miqdorlar asosida aniqlanadi:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 0,24. \quad (3)$$

Sensorning xatoliklarining barcha tashkil etuvchilarini additiv va multiplikativ xatoliklarga bo'lamiz hamda ularning paydo bo'lish ehtimolligining taqsimot qonuniga muvofiq ularning o'rtacha kvadratik og'ishi topiladi. Ishlab chiqilgan sensor uchun xatolikning entropiya og'ish qiymati quyidagi formula asosida aniqlandi:

$$\Delta = \delta_{\Sigma} \cdot K_e = 0,24 \cdot 2,07 = 0,49. \quad (4)$$

bu yerda: δ_{Σ} - xatolik og'ish qiymatlari yig'indisi, K_e - entropiya koeffitsiyenti (normal taqsimlanish qonuni uchun $K_e = 2,07$).

Olib borilgan hisoblashlar va eksperimentlar natijasida, avtomatlashtirilgan monitoring tizimi sensorining entropiya xatoligi $\Delta=0,49\%$, tadqiq qilinayotgan avtomatlashtirilgan monitoring tizimi sensori uchun aniqlik sinfi zahira bilan $0,5\%$ ni tashkil etadi.

Telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta'minoti manbalarini IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring sensorlarining ishonchliligini hisoblash elementli (apparaturalar) va funksional (parametrik) turlarga bo'linadi.

Sensor elementlarining barcha ish qobiliyatli holatlarining ehtimolliklarini qo'shib chiqish bilan sensorning ish qobiliyati ehtimollikini hisoblanadi:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_2 \cdot P_3 - P_1 \cdot P_3. \quad (5)$$

Halokatli rad etishlar ehtimolligi $P_{xal}=0,99$ ekanligini hisobga olingan holda gibrid energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring tizimi sensorlarining umumiy ishonchliligi quyidagini tashkil etadi:

$$P = P_{xal} \cdot P_{par} = 0,99 \cdot 0,99 = 0,98. \quad (6)$$

Olib borilgan tadqiqotlar natijasidan ko'rinib turibdiki, atrof-muhit harorati va materiallarning eskirishi ta'sir qilganida parametrik ishonchlilik qiymati o'zgarishiga eng katta ta'sir qiladi.

Dissertatsiyaning «**Monitoring tizimi simsiz sensor tarmog'ini modellashtirish va tavsiflarini tadqiq etish**» deb nomlangan uchinchi bobi IoT asosida monitoring tizimining simsiz sensor tarmoq xususiyatlari, arxitekturalari, topologiyalari, simsiz sensor tarmoqlarda ma'lumotlarni uzatish, tarmoq ishonchliligi hamda tarmoqning vaqt ehtimollik tavsiflarini tadqiq etilgan.

Hozirgi kunda telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring qilishdagi eng dolzarb masalalaridan biri - bu yagona miqyosli va yuqori samarali tarmoq asosida axborotlar almashinuvini tashkil etish hisoblanadi. Monitoring simsiz sensor tarmog'ining umumiy ishonchliligi P_M modullarining buzilishsiz ishlash ehtimoli va P_{ST} simsiz tarmoqning ishonchliligi ko'paytmasi asosida shakllanadi:

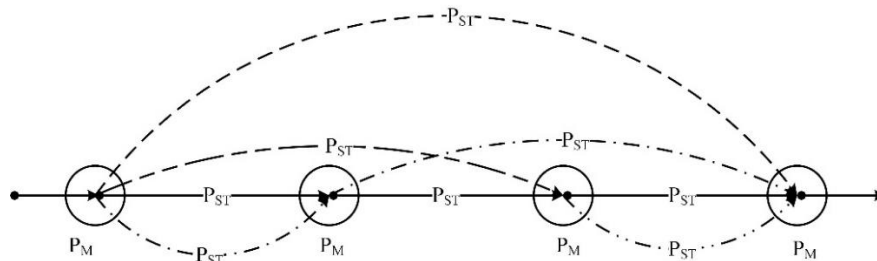
$$P_{SST}(t) = P_M(t) \cdot P_{ST}(t). \quad (7)$$

Monitoring talablariga muvofiq, simsiz sensor tarmog'ining umumiy strukturasi buzilishsiz ishlash ehtimoli P_i bo'lgan ketma-ket modullar zanjiri sifatida ifodalanadi. Bunday holda, simsiz modul tizimining buzilishsiz ishlashining umumiy ehtimoli har bir simsiz modulning ehtimolliklari ko'paytmasi orqali topiladi, ya'ni:

$$P_M = \prod_{i=1}^N P_i, \quad (8)$$

bu yerda: N – avtomatlashtirilgan monitoring tizimida ko'rib chiqilayotgan qismda ya'ni tayanch stansiyalar o'rtasida simsiz sensor tarmoq modullarining soni.

Monitoring jarayonida tarmog'i to'rtta tugundan iborat mesh topologiyasiga asoslangan simsiz sensor tarmog'i tuzilish sxemasi 8-rasmda tasvirlangan.

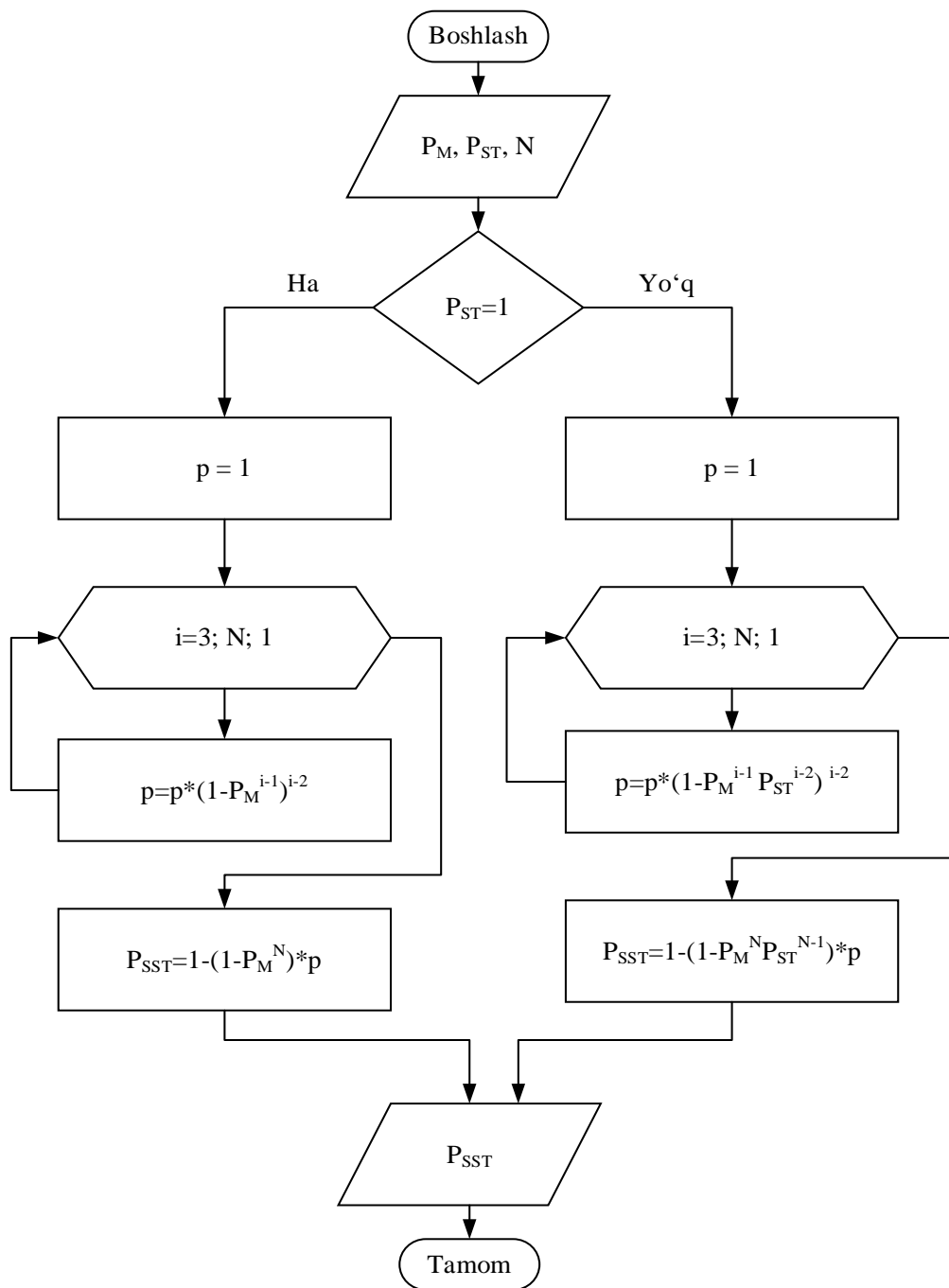


8-rasm. Mesh topologiyasiga asoslangan simsiz sensor tarmoq (N=4)

Simsiz modul va tugunlar orasida ma'lumotni uzatish kanalining uzilishsiz ishlash ehtimolligi o'zgaruvchan bo'lgan holatda Mesh topologiyasiga asoslangan simsiz sensor tarmoqning ishonchlilik ko'rsatkichi quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

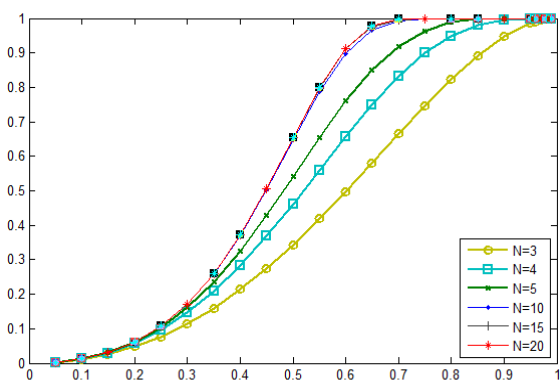
$$P_M^N = 1 - (1 - P_M^N \cdot P_{ST}^{N-1}) \cdot \prod_{i=3}^N (1 - P_M^{i-1} \cdot P_{ST}^{N-1})^{i-2}. \quad (9)$$

Monitoringning Mesh topologiyasiga asoslangan simsiz sensor tarmoqning ishonchlilik ko'rsatkichini hisoblash bo'yicha ishlab chiqilgan analitik modellar asosida N ta tugundan iborat tarmoqning ishonchlilik ko'rsatkichini hisoblash algoritmi 9-rasmda tasvirlangan.

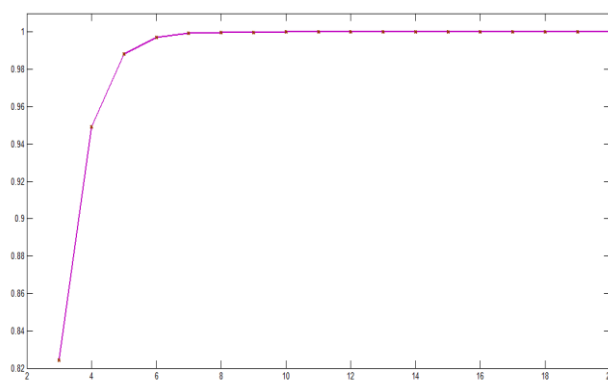


9-rasm. Simsiz sensor tarmoqning ishonchlilik ko'rsatkichini hisoblash algoritmi

9-rasmda keltirilgan algoritm asosida Python dasturlash muhitida simsiz sensor tarmoqning ishonchlilik tavsiflarini olish dasturi yaratildi. Avtomatlashtirilgan monitoringda kanalning uzilishsiz ishlash ehtimolligi birga teng bo'lgan holatda Mesh topologiyasiga asoslangan simsiz sensor tarmoqning ishonchlilik ko'rsatkichining tarmoq modulini uzilishsiz ishlash ehtimolligiga bog'liqlik tavsifi 10-rasmda va tarmoqning ishonchlilik ko'rsatkichining tugunlar soniga bog'liqlik tavsifi 11-rasmda keltirilgan.



**10-rasm. Simsiz sensor tarmog‘
ishonchlilik ko‘rsatkichini simsiz
modulga bog‘liqlik tavsifi**



**11-rasm. Simsiz sensor tarmoqning
ishonchlilik ko‘rsatkichining
tugunlar soniga bog‘liqlik tavsifi**

Ushbu tavsiflardan ko‘rinib turibdiki monitoringi sensor tarmoq modulini ishonchliligi tugunlar soni $N=6$ bo‘lganida umumiy ishonchlilik 1 ga intilishini aniqlandi. Shuningdek, tugunlar soni $N=3$ ta bo‘lgandagiga nisbatan $N=20$ ga teng bo‘lganida ishonchlilik 54 % gacha oshishga erishilgan.

Telekommunikatsiya qurilmalari energiya ta‘minot manbalari ananaviy hamda qayta tiklanuvchan (gibrid) energiya ta‘minoti manbalaridan tashkil topgan murakkab tuzilmalardan biri hisoblanadi. Sensorlardan va marshrutizatorlardan har bir marshrutizatorga hamda koordinatorga kelib tushadigan paketlar jadalligini aniqlashda graf modelga mos balans tenglamalar tizimi shakllantiriladi.

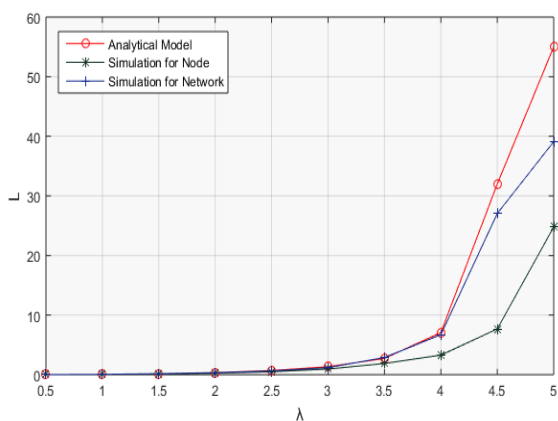
$$\begin{cases} \lambda_1 = 0,04\lambda_2 + 0,01\lambda_3 + 0,01\lambda_4 + 0,04\lambda_5 + 6; \\ \lambda_2 = 0,04\lambda_1 + 0,04\lambda_3 + 0,01\lambda_4 + 0,01\lambda_5 + 6; \\ \lambda_3 = 0,01\lambda_1 + 0,04\lambda_2 + 0,04\lambda_4 + 0,01\lambda_5 + 6; \\ \lambda_4 = 0,01\lambda_1 + 0,01\lambda_2 + 0,04\lambda_3 + 0,04\lambda_5 + 6; \\ \lambda_5 = 0,04\lambda_1 + 0,01\lambda_2 + 0,01\lambda_3 + 0,04\lambda_4 + 6; \\ \lambda_6 = 0,9\lambda_1 + 0,9\lambda_2 + 0,9\lambda_3 + 0,9\lambda_4 + 0,9\lambda_5. \end{cases} \quad (10)$$

Ushbu balans tenglamalar sistemasini yechib, quyidagi natijalar olinadi:

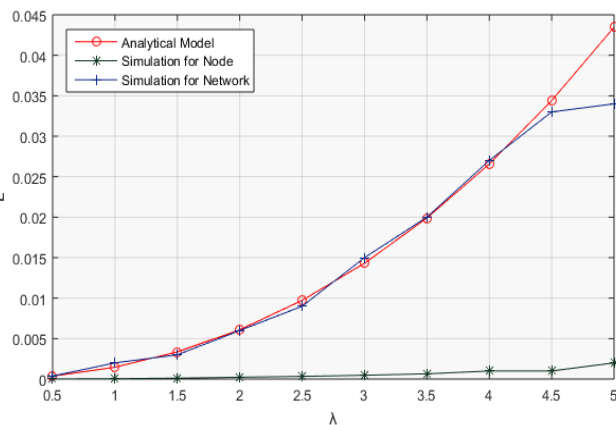
$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \frac{20}{3} \approx 6,667; \quad \lambda_6 = 30. \quad (11)$$

Manbalarga o‘rnatilgan sensor tugunlardan ma‘lum vaqt intervallarida signal olishi va olingan ma‘lumotni marshrutizatorga uzatishini hisobga olib, marshrutizatorlarga paketni kelib tushish vaqt intervali taqsimot qonuni sifatida “bir tekis” (Uniform) taqsimot qonuni bo‘yicha hamda paketlarga marshrutizator tugunida xizmat ko‘rsatilish vaqt intervali taqsimot qonuni sifatida “eksponensial” (Exponensial) taqsimot qonunini olinadi.

Simsiz sensor tarmoqning matematik model, tarmoq tugunlari uchun immitatsion model va yaxlit tarmoq uchun immitatsion modellardan olingan λ jadallikka bog‘liq tavsiflari qiyosiy tahlil qilingan. Simsiz sensor tarmoq marshrutizator va kordinatorlardagi paketlar navbatining o‘rtacha uzunligining L jadallikka λ bog‘liqlik 12 va 13 - rasmlarda keltirilgan.



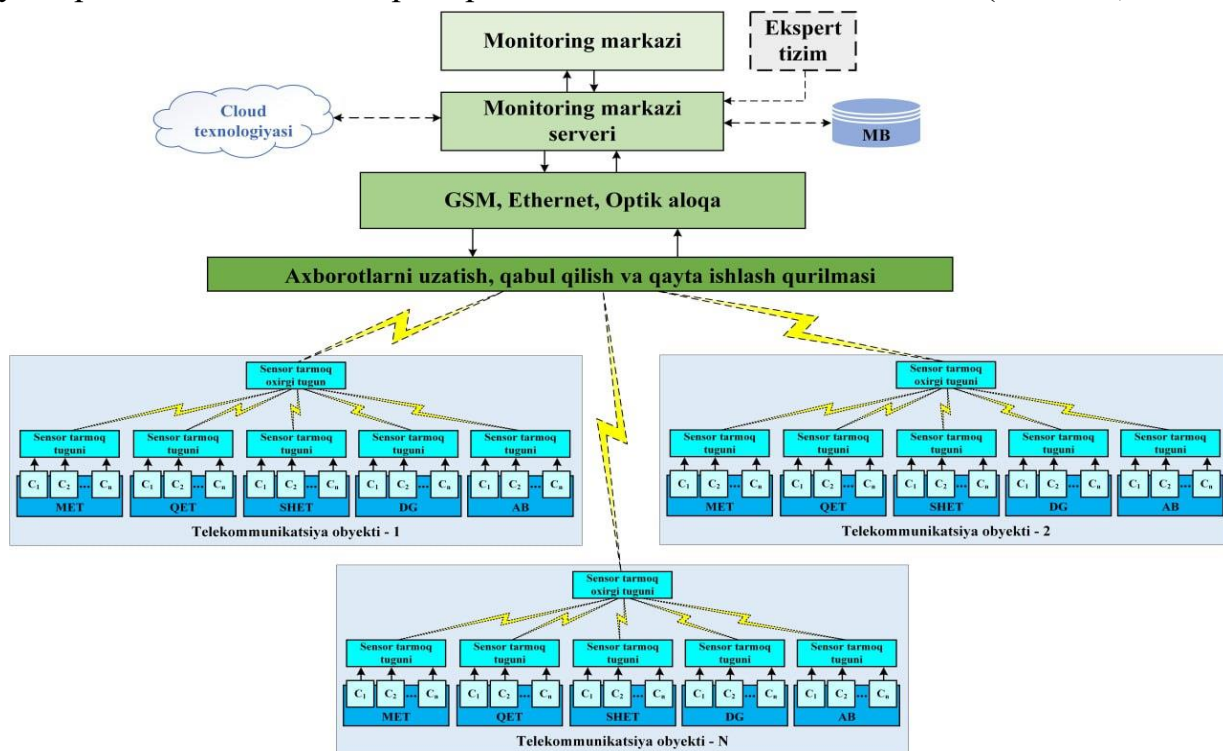
12-rasm. Marshrutizator buferida o'rtacha navbat uzunligining jadallikka bog'liqligi



13-rasm. Koordinator buferida o'rtacha navbat uzunligining jadallikka bog'liqligi

Olib borilgan tadqiqot shuni ko'rsatdiki, avtomatlashtirilgan monitoringi simsiz sensor tarmog'i berilgan boshlang'ich shartlarda ya'ni $\lambda=4$ dan kichik qiymatlarda xizmat ko'rsatish sifatini to'liq ta'minlaydi.

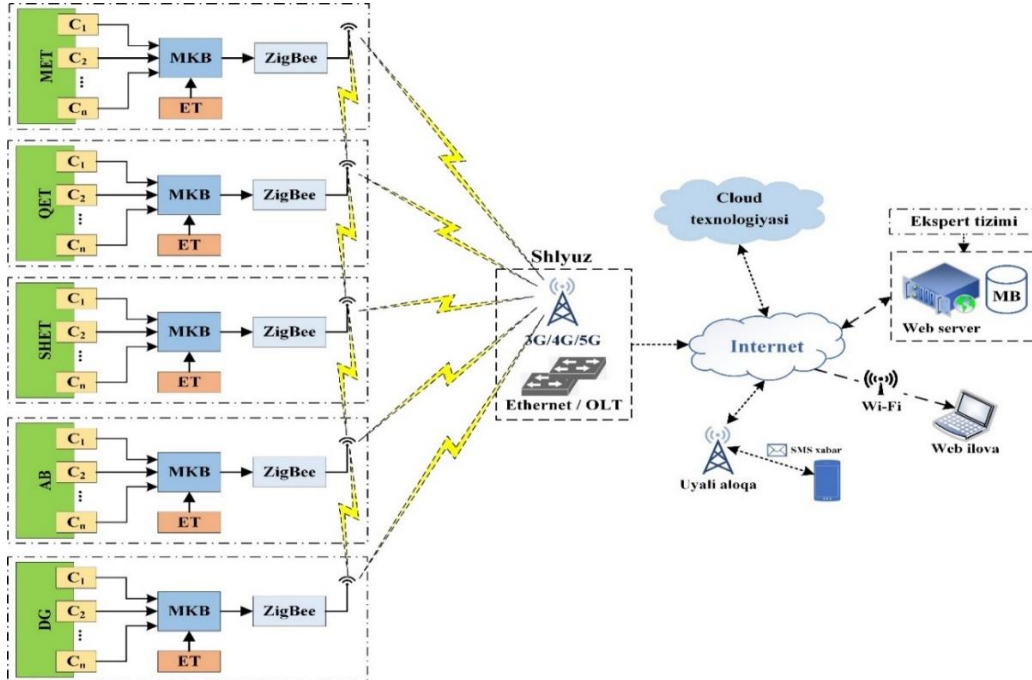
Dissertatsiyaning "IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring modellari va axborot-o'lchov moduli" deb nomlangan to'rtinchi bobi telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring arxitekturasi, monitoring jarayoning imitatsion modeli, algoritmi va dasturiy ta'minotini hamda axborot-o'lchov modulini ishlab chiqish masalalariga bag'ishlangan. Monitoringda o'rnatilgan texnik vositalar to'plamidan masofadan olingan batafsil ma'lumotlar asosida ekspluatatsion va ta'mirlash personali yaroqsizlik sababini tezroq aniqlashi va tuzatishi mumkin bo'ladi (14-rasm).



14-rasm. IoT asosida gibridd energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringini tuzilish sxemasi

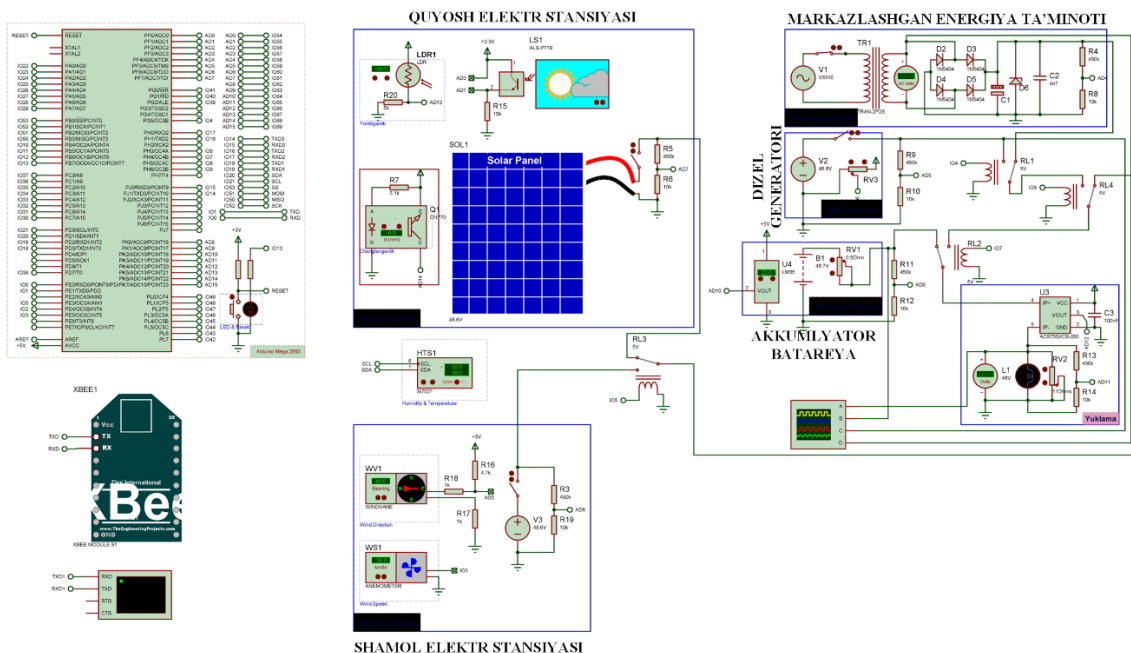
bu yerda: MET – markazlashgan energiya ta’minoti; QET - quyosh energiya ta’minoti; SHET - shamol energiya ta’minoti; DG – dizel generatori; AB – akkumulyator batareyasi; $S_1, S_2 \dots S_p$ – sensorlar; MB – ma’lumotlar bazasi

Gibrid energiya ta’minoti manbalarini IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring uchta pog‘onadan iborat olib borilib, uning umumlashgan tuzilish sxemasi 15-rasmda keltirilgan.



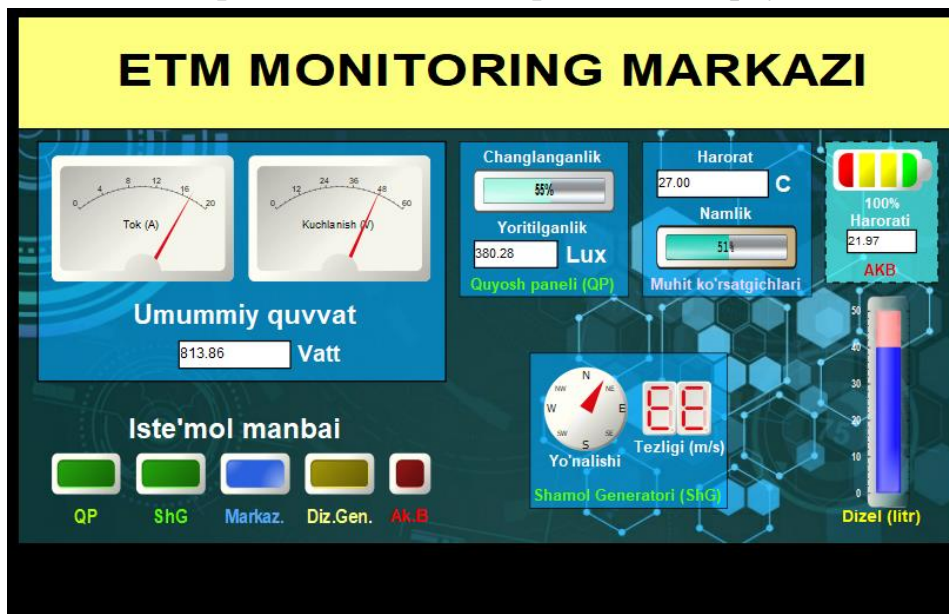
15-rasm. IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoringi umumlashgan tuzilish sxemasi

Ushbi taklif etilayotgan metodologiya asosida Proteus dasturiy muhitida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta’minot manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringini loyihalash jarayoni uch bosqichda amalga oshirildi va imitatsion modelning tuzilish sxemasi 16-rasmda keltirilgan.



16-rasm. Avtomatlashtirilgan monitoring tizimini imitatsion modeli

IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring modeli simulyatsiya natijasini SHKlar yoki smartfonlarda o'rnatilgan ixtiyoriy veb brauzerda ko'rish imkoniyati mavjud. Natijada 17-rasmda ko'rsatilgan veb interfeys ochiladi va ushbu interfeys yordamida tizimning holati real vaqt davomida nazorat qilish imkoni paydo bo'ldi.

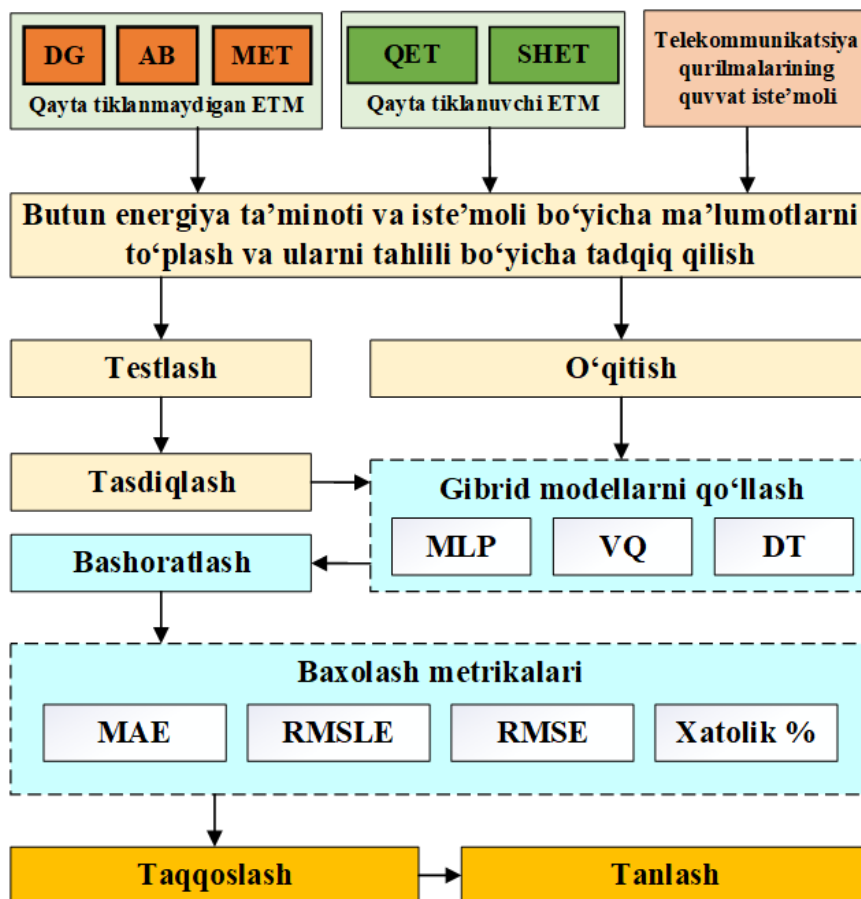


17-rasm. Gibridd energiya manbai monitoringining Veb interfeysi ko'rinishi

IoTga asoslangan monitoring tizimi orqali gibridd energiya ta'minoti manbalarida nosozliklarini o'z vaqtida aniqlash va tezkor xizmat ko'rsatish orqali tizimning ishlash samaradorligini 3-4 % ga oshirish imkonini berdi. Qurilmalarni uzluksiz elektr energiya bilan ta'minlash gibridd energiya ta'minoti manbalari asosida amalga oshirilgan bo'lib, IoT asosida monitoring tizimini qo'llash orqali telekommunikatsiya qurilmalari energiya taminoti manbalariga texnik xizmat ko'rsatish va ekspluatatsiya vaqtini 8-11% ga qisqartirish imkonini beradi.

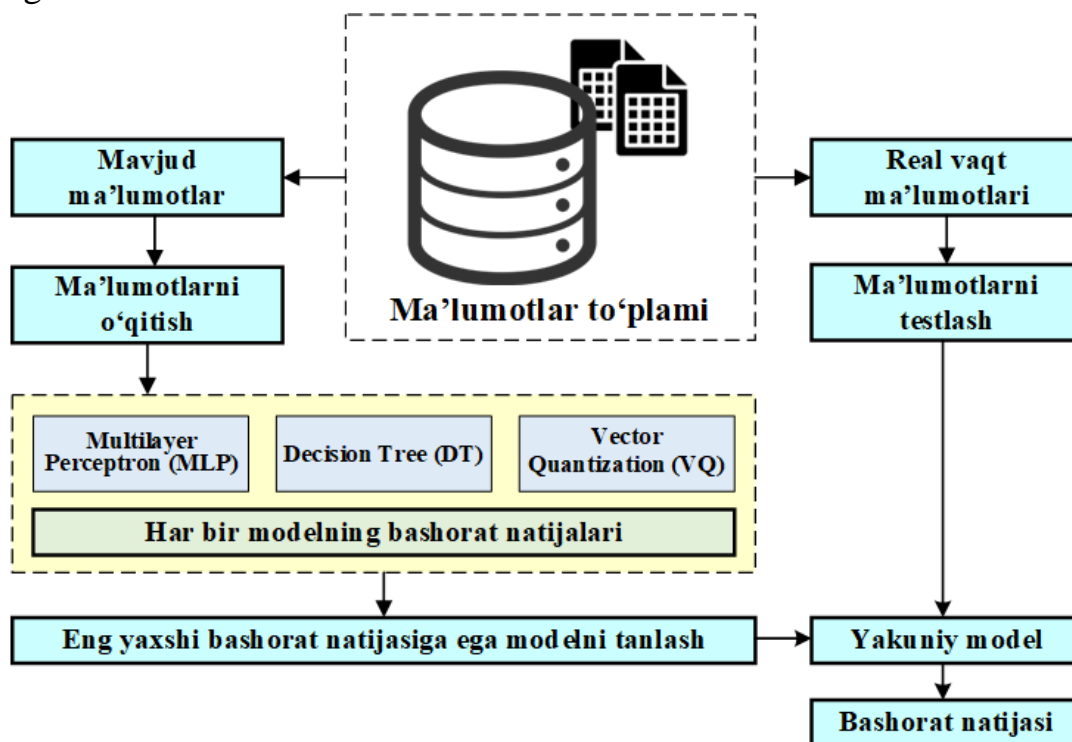
Dissertatsiyaning **“Sun'iy intellekt asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta'minoti manbalarining holatini bashoratlash”** deb nomlangan beshinch bobi gibridd energiya ta'minoti manbalarini ishlab chiqargan energiyasi va telekommunikatsiya qurilmalarini iste'mol quvvatini bashorat modelini ishlab chiqish masalalariga bag'ishlangan.

Gibridd energiya ta'minoti manbalarining iste'mol talabini bashoratlash modeli yaratish undagi jarayonlar mashinali o'qitish algoritmlari asosida optimallashtiriladi. Telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta'minoti manbalarini mashinali o'qitish asosida taklif qilinayotgan bashorat qilish modelining amalga oshirish ketma-ketligi 18-rasmda keltirilgan. Ushbu modelda ikkita quvvat manbai olingan bo'lib, ular qayta tiklanmaydigan va qayta tiklanadigan energiya manbalari hisoblanib sana va vaqt bilan birlashtirilgan. Ma'lumotlar tendensiyalarini tahlil qilish va ko'rish uchun biz ekspluatatsion ma'lumotlar tahlilini (EDA-exploratory data analysis) o'tkazish talab etiladi. Oldindan ishlov berilgandan so'ng ma'lumotlar o'quv va test to'plamlariga ajratiladi. Keyin uchta asosiy modeldan, ko'p qatlamli perseptrondan (MLP), vektorli kvantlash (VQ) va qarorlar daraxtidan (DT) tashkil topgan gibridd modeldan foydalanildi.



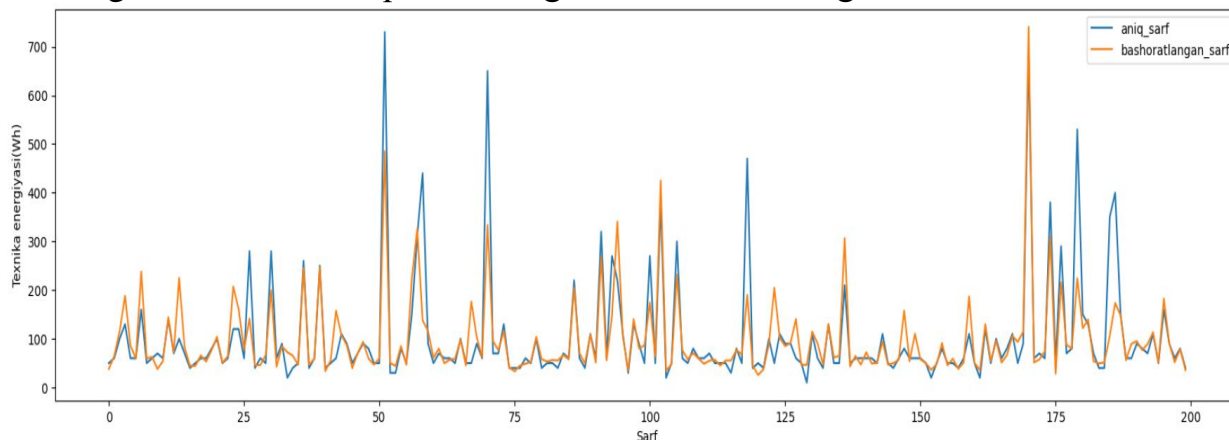
18-rasm. Taklif etilayotgan bashoart modelini ketma ketlik diagrammasi

Gibrid energiya ta'minoti manbalarini ishlab chiqargan va iste'mol quvvatini mashinani o'qitishga asoslangan ma'lumotlar tahlilining blok sxemasi 19 – rasmda keltirilgan.



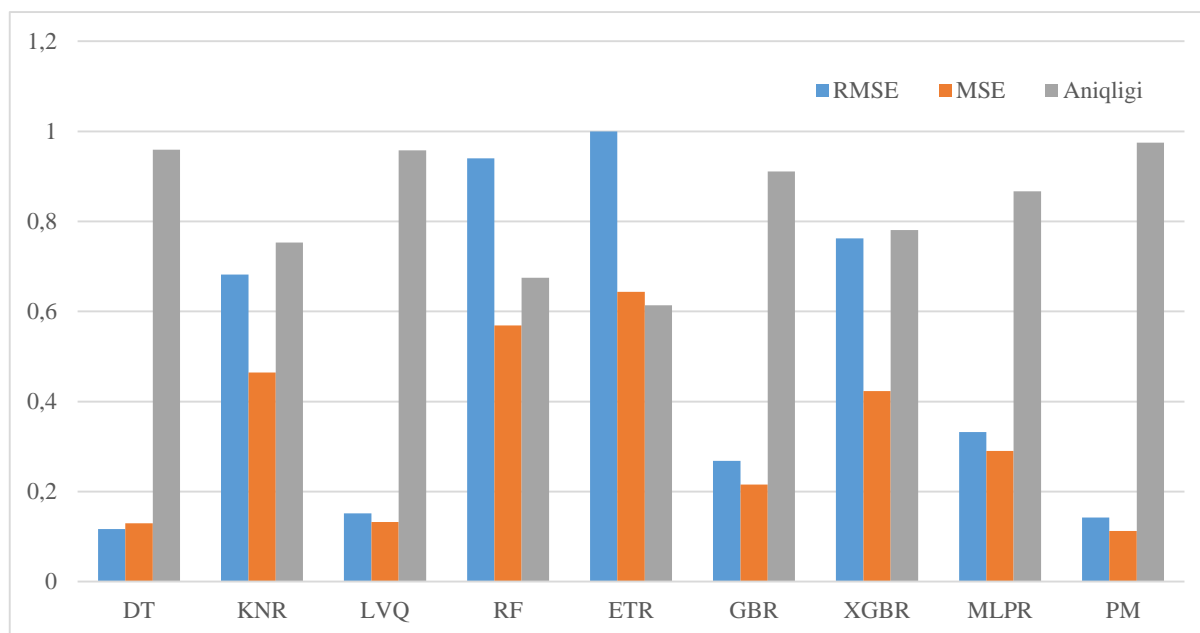
19 – rasm. Mashinali o'qitishga asoslangan ma'lumotlar tahlilining amalga oshirish sxemasi

Haqiqiy va bashorat qilingan yuklama qiymatlarini taqqoslash 20-rasmda tasvirlangan. Yuqorida aytib o‘tilganidek, taklif qilingan model telekommunikatsiya qurilmalari energiya iste‘moli vaqt seriyasi ma’lumotlari bo‘yicha o‘qitilgan. Shuning uchun bashorat qilish mashg‘ulot ma’lumotlariga asoslanadi.



20-rasm. Telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya ta‘minoti manbalarini iste‘mol qilgan va bashorat ko‘rsatkichlarini solishtirma grafigi

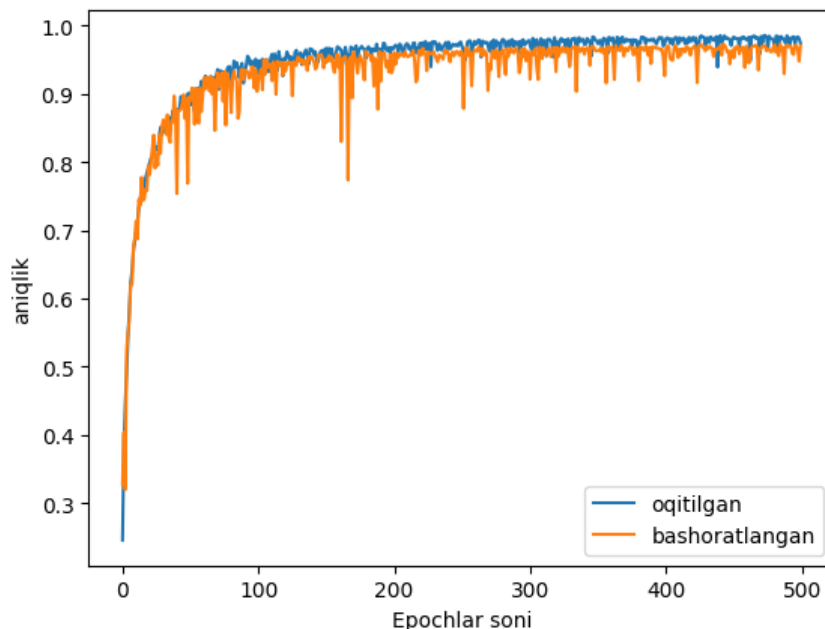
Taklif etilayotgan model va mavjud modellarni o‘qitish vaqti, aniqligi, test va bashorat aniqliklari keltirilgan. Bashorat qilingan natijani yaxshiroq tushunish uchun mavjud bashorat qilish usullari hamda taklif etilayotgan o‘qitish modellarini solishtirma grafigi 21 – rasmda keltirilgan.



21-rasm. Telekommunikatsiya qurilmalari gibridd energiya taminoti manbalarini mavjud va taklif etilayotgan bashorat modellarini qiyosiy solishtirish

bu yerda: DT-Decision Tree, KNR-KNeighborsRegressor, LVQ-Learning Vector Quantization, RF-Random Forest, ETR-Extra Tree Regressor, GBR-Gradient Boosting Regressor, XGBR-Extreme Gradient Boosting Regressor, MLPR-Multilayer Perceptrons Regressor, PM-Proposed Method (taklif etilayotgan).

Telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minoti manbalarni sun'iy intellekt asosida bashorat qilishda taklif etilgan model orqali energiya ta'minoti manbalarni 97 % gacha aniqlikda bashorat qilish imkoni yaratildi. Taklif qilingan model telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minoti manbalarini umumiy ishlab chiqargan energiyasi hamda energiya iste'moli real vaqt na'munalari ma'lumotlari bo'yicha o'qitilgan bo'lib aniq sarf bashorat qiymatlari bir - biriga yaqin ekanligi taklif etilayotgan modelni adekvatligini ko'rsatadi (22-rasm).



22-rasm. Bashorat qiymatlarini real ma'lumotlarga mosligini epochlar soniga bog'liqligi

Mashinali o'qitish algoritmlari yordamida telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minoti manbalarini ishlab chiqargan energiyasi va qurilmalar iste'mol quvvatiga bo'lgan talablarini bashorat qilish telekommunikatsiya qurilmalarini barqaror ishlashida muhim ro'l o'ynaydi. Shu bilan birga mobil aloqa baza stansiyalari gibril energiya ta'minoti manbalarida nosozliklarini o'z vaqtida aniqlash hamda tezkor xizmat ko'rsatish orqali tizimning ishlash samaradorligini 3-4 % ga oshirish imkonini berdi.

XULOSA

“IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibril energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring model va algoritmlari” mavzusidagi fan doktori (DSc) dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. NAN va HAN darajalarda energiya tejamkorligi, yuboriladigan ma'lumotlar hamji va narxi bo'yicha ZigBee texnologiyasidan foydalanish boshqalariga nisbatan bir qancha afzalliklarga ega ekanligi aniqlandi. WAN tarmog'larida esa mavjud imkoniyatdan foydalangan holda Mobil aloqa yoki Ethernet texnologiyalari foydalanish maqsadga muvofiqligi asoslangan.

2. IoT asosida gibril energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringida Big data texnikasini talab qiladigan ma'lumotlar bilan bir - xil xususiyatlarga ega bo'lgan ma'lumotlarni qayta ishlashni o'z ichiga olganligi

asosida monitoringda Big datalarni boshqarish va ularni real vaqtda qayta ishlangan ma'lumotlardan foydalanish talablarga mos kelishi asoslangan.

3. Avtomatlashtirilgan monitoring sensorida qo'llanilgan fizik-texnik effektlar asosida magnit tizimning kattaliklarini kuchlanish ko'rinishidagi chiqish signaliga o'zgartirish jarayonining Graf modeli ishlab chiqilgan. Sensor sezgir element havo oralig'iga bog'liqligini aniqlagan holda sensorning sezgirligini 6 barobargacha oshirish isbotlangan.

4. Sensorlarning halokatli rad etish ehtimolligi $P=0,99$ tashkil etishi asosida gibrid energiya ta'minoti manbalarining avtomatlashtirilgan monitoring tizimi sensorining ishonchliligi $P=0,98$ ni tashkil etishi ta'minlangan.

5. Avtomatlashtirilgan monitoring tizimi Mesh topologiyali simsiz sensor tarmog'ining ishonchlilik ko'rsatkichini simsiz tarmoq moduli ishonchliligiga bog'liqligi tizimdagi N tugunlar soniga bog'liq ravishda oshib borishini ko'rsatgan. Mesh topologiyada tugunlar soni $N=3$ ta bo'lgandagiga nisbatan $N=20$ ga teng bo'lgan holda ishonchlilik 54 % gacha oshishga erishilgan.

6. Avtomatlashtirilgan monitoringi simsiz sensor tarmog'i berilgan boshlang'ich shartlarda ya'ni $\lambda=4$ dan kichik qiymatlarda xizmat ko'rsatish sifatini to'liq ta'minlashga imkoni yaratilgan. Monitoring tizimining simsiz sensor tarmog'ining ishonchlilik ko'rsatkichini Mesh topologiyasi asosida 99,99 % gacha oshirish imkoni yaratilgan.

7. Mikrokontroller boshqaruv bloki yordamida IoT asosida avtomatlashtirilgan monitoring tizimining axborot-o'lchov moduli, mobil va Veb ilovasi hamda ma'lumotlarni tadqim etish formati ishlab chiqildi. Ishlab chiqilgan ilmiy natijalarni avtomatlashtirilgan monitoring tizimiga qo'llash orqali telekommunikatsiya qurilmalari energiya ta'minoti manbalariga texnik xizmat ko'rsatish va ekspluatatsiya vaqtini 8-11% ga qisqartirish imkonini berdi. Ishlab chiqilgan algoritmlar, usullar, dasturiy ta'minot hamda monitoring tizimini takomillashtirish, amaliyotga qo'llashdan energiya va resurslarni tejashdagi iqtisodiy samara yiliga 3%ni tashkil etgan.

8. Sun'iy intellekt asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minoti manbalarining bashorat qilish modeli ishlab chiqilgan, ushbu model energiya ta'minoti manbalarni 97 %gacha aniqlikda bashorat qilish imkonini bergan. Mobil aloqa baza stansiyalari gibrid energiya ta'minoti manbalarida nosozliklarini o'z vaqtida aniqlash hamda tezkor xizmat ko'rsatish orqali tizimning ishlash samaradorligini 3-4 % ga oshirish imkonini bergan.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ХУЖАМАТОВ ХАЛИМЖОН ЭРГАШЕВИЧ

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
МОНИТОРИНГА ГИБРИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ
НА ОСНОВЕ IoT**

**05.04.01 – Телекоммуникационные и компьютерные системы, сети и устройства
телекоммуникаций. Распределение информации**

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ (DSc)
ДИССЕРТАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2024

Тема докторской диссертации по техническим наукам (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве Высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № B2023.3.PhD/T653.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.

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

Научный консультант:	Сиддиков Илхомжон Хакимович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Хамдамов Уткир Рахматиллаевич доктор технических наук, профессор Парсиев Сайдирахат Солиходжаевич доктор технических наук, профессор Юсупбеков Азизбек Нодирбекович доктор технических наук, профессор
Ведущая организация:	Ташкентский государственный транспортный университет

Защита диссертации состоится «___» _____ 2024 г. в ___ 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) 238-64-43; факс:(99871) 238-65-52; e-mail:tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № _____). Адрес:100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2024 г.
(протокол реестра №___ от «___» _____ 2024 г.).

Б.Ш.Махкамов
Председатель научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.э.н., профессор

М.С.Саиткамоллов
Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.э.н., доцент

Д.Я.Иргашева
Председатель научного семинара
при научном совете по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в целях обеспечения непрерывного и качественного обслуживания телекоммуникационных систем большое внимание уделяется разработке и совершенствованию методов, моделей, алгоритмов и программного обеспечения для автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения и прогнозирования перспектив потребляемой мощности на основе искусственного интеллекта. В этом направлении особое внимание уделяется развитию информационно-измерительных средств, технических и программных средств контроля величин и параметров источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств. В связи с этим в развитых странах разработка систем автоматизированного мониторинга на базе IoT и прогнозирования на основе искусственного интеллекта гибридных источников энергоснабжения устройств телекоммуникации приобретает большое значение.

В мире для повышения надежности телекоммуникационных устройств проводится ряд научно-исследовательских работ, направленных на совершенствование методов, моделей, алгоритмов, средств и систем автоматизированного мониторинга источников энергоснабжения на основе IoT и прогнозирования на основе искусственного интеллекта. В этом направлении особое внимание уделяется созданию одно-, двух- и трехфазных преобразователей тока телекоммуникационных устройств в сигнал в виде вторичного напряжения, в том числе автоматизированному контролю гибридных источников питания, реализации беспроводной сенсорной сети (ZigBee), модели и алгоритмам повышения показателей надежности беспроводной сенсорной сети, а также разработке структуры системы, базы данных и формата их представления, метода прогнозирования на основе искусственного интеллекта, программно-технических решений. Разработка комплексной системы автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT и искусственного интеллекта является одним из актуальных вопросов.

В нашей республике реализуются масштабные меры, направленные на совершенствование сферы информационных технологий, развитие автоматизированной системы мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT, систем прогнозирования на основе искусственного интеллекта. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены задачи, в том числе «...внедрение информационных и коммуникационных технологий в экономику, систему управления, ...снижение потребления энергии...широкое внедрение энергосберегающих технологий в производство»¹. Реализация данных задач, включая разработку автоматизированной системы мониторинга на базе IoT гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных

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

устройств, энергии, вырабатываемой информационно-измерительными средствами и источниками, а также модуля прогнозирования мощности потребления телекоммуникационных устройств на основе искусственного интеллекта считается одной из важных задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в ряде указов и постановлений Президента страны, в том числе в четвертом направлении из пяти приоритетных направлений, приведенных в Указе Президента №-УП-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекиста» от 7 февраля 2017 года, Постановлениях Президента № ПП-4249 «О стратегии дальнейшего развития и реформирования электроэнергетической отрасли Республики Узбекистан» от 27 марта 2019 года, № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» от 22 августа 2019 года, № ПП-4477 «Об утверждении стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019 — 2030 годов» от 4 октября 2019 года и № ПП-4779 «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов» от 10 июля 2020 года, а также в Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан «О мерах по ведению государственного учета установок возобновляемых источников энергии и вырабатываемой ими энергии» №452 от 23 июля 2020 года и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере и изложенных в соответствующих законодательных актах.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Диссертация выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации. Автоматизированные модели мониторинга и алгоритмы гибридных источников питания телекоммуникационных устройств являются первичной сенсорной ступенью трехступенчатого IoT, а научные исследования, направленные на исследование их структурных принципов, параметрического проектирования и основных характеристик, проводятся в ведущих мировых центрах и высших учебных заведениях, в частности, University of Wisconsin–Madison, University of Massachusetts Dartmouth, Iowa State University (США), Beihang University, Zhejiang University, Huawei kompaniyasi (Китай), Technical University of Denmark (Дания), City University of London (Великобритания), Technische Universität Berlin (Германия), NXP Semiconductors (Голландия), British Columbia Institute of Technology (Канада), Amity University (Индия), Московский государственный технический университет имени Н.Е. Баумана (МГТУ), Московский государственный университет имени М. Ломоносова (МГУ) (Российская Федерация), Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники (БГУИР) (Белоруссия), Евроазиатский государственный университет имени Н. Гумилева (ЕГУ) (Казахстан), Ташкентский университет информационных технологий (ТУИТ) (Узбекистан).

В мире в результате проведенных исследований по вопросам автоматизированного мониторинга на базе IoT гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств получен ряд результатов: в University of Wisconsin–Madison, University of Massachusetts Dartmouth, Iowa State University (США), Beihang University, Zhejiang University, Huawei kompaniyasi (Китай), Technical University of Denmark (Дания), City University of London (Великобритания), British Columbia Institute of Technology (Канада), Amity University (Индия), МГТУ имени Н.Е. Баумана, МГУ имени М.Ломоносова (Российская Федерация), ТУИТ (Узбекистан) разработаны модели и методы системы мониторинга, в компании Huawei (Китай), Technische Universität Berlin (Германия), NXP Semiconductors (Голландия), Amity University (Индия), МГУ имени М.Ломоносова (Российская Федерация), ТУИТ (Узбекистан) исследованы моделирование надежности беспроводной сенсорной сети IoT и временные вероятностные характеристики.

В мире для решения задач мониторинга и прогнозирования гибридных источников энергоснабжения проводятся исследования по следующим перспективным направлениям: разработка моделей и алгоритмов, методов и моделей прогнозирования выработанной энергии и потребления на основе искусственного интеллекта.

Степень изученности проблемы. Ведутся масштабные научные исследования по созданию одно-, двух- и трехфазных преобразователей тока в напряжения для автоматизированного мониторинга на базе IoT гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств, внедрению системы мониторинга беспроводной сенсорной (ZigBee) сети и модели повышения надежности сети, передачи, обработки данных, алгоритмов сохранения информации от IoT-датчиков, структур систем мониторинга, базы данных и формату их представления, прогнозированию выработанной энергии и потребляемой мощности на основе искусственного интеллекта.

Этому направлению исследований посвящены научные труды Schaumburg H., Ritchie E., Hanitch R., Rampias I., Chedid R., De A.R., Zhou W., Zhang L., Park J.S., Senjyu T., Arul P.G., Upadhyay S., Crespi N., Mohanty S., Niu M., Yang Y., Raza M., Monjoly S., Zhang X., Wang J., Sharifian A., Ghadi M.J., Ghavidel S., Li L., Zhang J., Dehghani M., Bissing D., Klein M.T., Ma M., Wang Z., Prince W. Khan., Mijanur R., Новиского П.В., Ураксеева М.А. и других известных зарубежных ученых. Также к исследованию указанной проблемы были посвящены научные работы ученых нашей республики Юсупбекова Н.Р., Игамбердиева Х.З., Азимова Р.К., Гулямова Ш.М., Абдукаюмова А.А., Шипулина Ю.Г., Халикова А.А., Амирова С.Ф., Плахтиева А.М., Исаева Р.И., Сиддикова И.Х., Махкамжонова Б., Рахмонов И.У., Писетский Й.В., Д.Т.Хасанов и других.

Результаты анализа показали, что недостаточно изучены комплексное применение современных методик и технологий в области автоматизированного мониторинга на базе IoT и прогнозирования гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств, создание новых типов сенсоров для процесса мониторинга и прогнозирования, передачи данных от сенсоров IoT, их обработка, алгоритм хранения данных в базе данных, структура системы мониторинга, разработка и внедрение базы данных и формат их представления.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнялось в рамках проектов научно-исследовательского плана Ташкентского университета информационных технологий ITD-17-015 - «Исследование стабильности работы телекоммуникационных средств и сетей Республики Узбекистан» (2009-2011), БВ-А3-027 - «Разработка и внедрение системы управления электроснабжением здания с независимым источником энергии» (2017-2018), 574049-ЭРР-1-2016-1-IT-ЕРРКА2-СВНЕ-JP “Modernization of the Curricula in sphere of smart building engineering - Green Building (GREB)” (2016-2019), 7/18-«Повышение энергоэффективности средств коммуникации и связи, а также улучшение энергетических показателей за счет использования гибридных источников энергии» (2018-2020), АКТ-А-2021-3 «Создание и разработка экспериментальной модели программно-имитационного стенда для исследования выходных параметров энергосистемы на основе возобновляемых источников энергии» (2021-2023), а также международного проекта Uzb-Ind-2021-94 «Энергоэффективная связь и передача данных в «умном городе» с использованием IoT систем на базе CRN» (2021-2023).

Целью исследования является разработка модели и алгоритмов автоматизированного мониторинга и прогнозирования гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT и искусственного интеллекта.

Задачи исследования:

анализ типов гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств, методов и средств их мониторинга;

моделирование и разработка сенсоров автоматизированного мониторинга гибридной системы энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT;

разработка моделей и алгоритмов запуска, добавления устройств и передачи данных между модулями беспроводной сенсорной сети автоматического мониторинга;

разработка аналитической модели и алгоритма расчета показателя надежности беспроводной сенсорной сети автоматизированного мониторинга;

разработка имитационной модели автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT;

разработка архитектуры, структуры, базы данных и формата представления для автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT;

разработка модели прогнозирования энергетики гибридных источников энергоснабжения и мощности потребления телекоммуникационного оборудования на основе искусственного интеллекта.

Объектом исследования являются гибридные источники энергоснабжения телекоммуникационных устройств, устройства и средства автоматизированной системы мониторинга на базе IoT, а также модуль прогнозирования.

Предметом исследования является автоматизированный мониторинг гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT и процессы прогнозирования на основе искусственного интеллекта.

Методы исследования. В ходе исследований использовались методы преобразования сигналов, расчета распределенных значений и параметров электрических и магнитных цепей, теория ошибок, теория графов, теория массового обслуживания, цифровая обработка и передача, проектирование сетей, имитационное моделирование, методы машинного обучения и глубокого обучения.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые разработана модель сенсора преобразования одно, двух и трехфазных токов в сигнал в виде вторичного напряжения на основе учета взаимодействия магнитных токов гибридных источников питания для автоматизированного мониторинга энергоснабжения телекоммуникационных устройств;

разработаны модель и алгоритм, повышающие вероятность безотказной работы беспроводной сенсорной сети на основе топологии Mesh автоматизированной системы мониторинга;

разработаны метод и архитектура реализации процесса автоматизированного мониторинга на базе IoT гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств;

разработаны алгоритмы процесса автоматизированного мониторинга на базе IoT, обеспечивающие непрерывную передачу информации от датчиков гибридного источника энергоснабжения и её хранение на сервере данных центра;

разработана имитационная модель, оптимизирующая работу автоматизированной системы мониторинга на базе IoT гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств в режиме реального времени;

разработана модель на основе искусственного интеллекта, повышающая точность прогнозирования производимого гибридными источниками энергоснабжения и энергопотребления телекоммуникационных устройств.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана конструкция одно-, двух- и трехфазного сенсора первичного тока в сигнал в виде вторичного напряжения для автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT;

разработано программное обеспечение автоматизированного мониторинга и прогнозирования гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на основе IoT и искусственного интеллекта;

разработаны база данных и формат их представления в автоматизированном мониторинге гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на основе сенсоров, микроконтроллерного блока управления и IoT;

разработаны информационно-измерительный модуль, аппаратно-программное обеспечение для автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения на базе IoT.

Достоверность результатов исследований. Достоверность результатов исследования объяснена путем сравнения устройств, разработанных для автоматизированной системы мониторинга и прогнозирования гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT, моделей исследования и результатов полученных исследований на основе общепринятых критериев.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научную значимость результатов исследования составляют модель и алгоритм автоматизированной системы мониторинга на базе IoT и прогнозирования гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств, алгоритм передачи данных между модулями беспроводной сенсорной сети, модель и алгоритм повышения мощности, объясняется надежностью беспроводной сенсорной сети, передачей, обработкой и передачей данных от датчиков в базу данных, алгоритмом хранения, структурой системы мониторинга, базы данных и формата их представления, разработанной моделью прогнозирования на основе искусственного интеллекта.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке сенсора, имеющий возможность преобразования одно-, двух- и трехфазных токов в сигнал в виде электрического напряжения, программного обеспечения прогнозирования, микроконтроллерного блока управления и мониторинга, базы данных и формата их представления гибридными источниками энергоснабжения на базе IoT, разработкой информационно-измерительного модуля, аппаратного и программного обеспечения.

Внедрение результатов исследования. По результатам автоматизированного мониторинга моделей и алгоритмов гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT:

получен патент на изобретение Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на устройство «Преобразователь тока

в напряжение» (№IAP 06646 - 2021). В результате за счет учета взаимодействия магнитных потоков, созданные одно-, двух- и трехфазными токами в автоматизированном мониторинге на базе IoT достигнуто увеличить чувствительность сенсора до 6 раз;

автоматизированная система мониторинга на базе IoT, алгоритм работы беспроводной сенсорной сети, добавления конечных устройств и передачи данных между модулями, а также имитационная модель автоматизированной системы мониторинга в реальном времени внедрена в ГУП Центр радиосвязи, радиовещания и телевидения (справка Министерства цифровых технологий от 23 марта 2023 года №3-8/1897). В результате научных исследований использование автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения на базе разработанного сенсора, микроконтроллерного блока и телекоммуникационных устройств IoT позволило сократить время обслуживания и эксплуатации источников энергоснабжения на 7-8%;

структура автоматизированного мониторинга источников гибридного энергоснабжения телекоммуникационных устройств, база данных и формат их представления, а также беспроводная сенсорная сеть топологии Mesh автоматизированной системы мониторинга на базе IoT внедрена на предприятиях, подведомственных Министерству цифровых технологий, в частности, внедрены в телекоммуникационные сети Янгибазарского и Сырдарьинского филиалов Ташкентского филиала АО «Узбектелеком» Гулистанского района (справка Министерства цифровых технологий от 23 марта 2023 года №3-8/1897). В результате научных исследований за счет применения патента на изобретение, созданных устройств и разработанных моделей, алгоритмов и программного обеспечения повышена надежность телекоммуникационных устройств, а экономическая эффективность за счет экономии энергии и ресурсов составила 2-3% в год;

гибридные источники питания на базе искусственного интеллекта, модель прогнозирования и мониторинга энергопотребления энергетического и телекоммуникационного оборудования, запуск беспроводной сенсорной сети, добавление конечных устройств и алгоритмы передачи данных между модулями внедрены в телекоммуникационные сети Янгибазарского и Сырдарьинского филиалов Ташкентского филиала АО «Узбектелеком» Гулистанского района (справка Министерства цифровых технологий от 23 марта 2023 года №3-8/1897). В результате научных исследований за счет высокой точности систем и непрерывной работы устройств за счет постоянного мониторинга и прогнозирования потребления электроэнергии на основе IoT ожидается повышение эффективности на 4-5%;

автоматизированная система мониторинга гибридных источников энергии на базе IoT, имитационная модель рабочего процесса в реальном времени и модель прогнозирования на основе искусственного интеллекта внедрены на предприятиях, подведомственных Министерству цифровых технологий, в частности в ООО «UMS» (справка Министерства цифровых технологий от 23 марта 2023 года №3-8/1897). В результате научных исследований за счет своевременного обнаружения неисправностей в

гибридной энергетике, источники поставок базовых станций мобильной связи и оперативного обслуживания удалось спрогнозировать мощность потребления базовых станций мобильной связи с точностью до 97% и повысить энергоэффективность станции на 3-4%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований обсуждались на 10 международных, 6 республиканских научно-практических конференциях и научных семинарах.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 65 научных работ, в том числе 2 монографии, получены 1 патент от Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан, 1 патент от Патентного ведомства Правительства Австралии, 35 научных статей, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из них: 28 в международных журналах и 7 в республиканских журналах, 10 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях, а также получены 9 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения, списка использованной литературы. Объём диссертации составляет 200 страниц и состоит из 105 рисунков, 13 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследований, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведен список внедрений в практику результатов исследования, список апробаций результатов работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Гибридные источники энергоснабжения телекоммуникационных устройств, организация их автоматизированной системы мониторинга на базе IoT»** проанализированы и рассмотрены факторы, влияющие на стабильную работу телекоммуникационных устройств, гибридных источников энергоснабжения, автоматизированного мониторинга источников энергоснабжения на базе IoT, современных сенсоров, средств связи и используемых в ней приложений.

В последние годы осуществляется непрерывная эксплуатация телекоммуникационного оборудования с использованием системы энергоснабжения с возобновляемыми источниками энергии. В целях обеспечения непрерывной работы телекоммуникационных устройств, такие телекоммуникационные устройства также называют «зелеными телекоммуникационными устройствами» из-за стабильности гибридного

использования возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия, ветер.

На сегодняшний день автоматизированный мониторинг на базе IoT, развиваются как многообещающее решение для минимизации потерь электроэнергии и решения проблем традиционных электросетей, решения возможных задач повышения энергоэффективности, надежности, безопасности, стабильности и увеличения спроса на электроэнергию.

Общая структура автоматизированного мониторинга на базе IoT представлена на рис. 1.

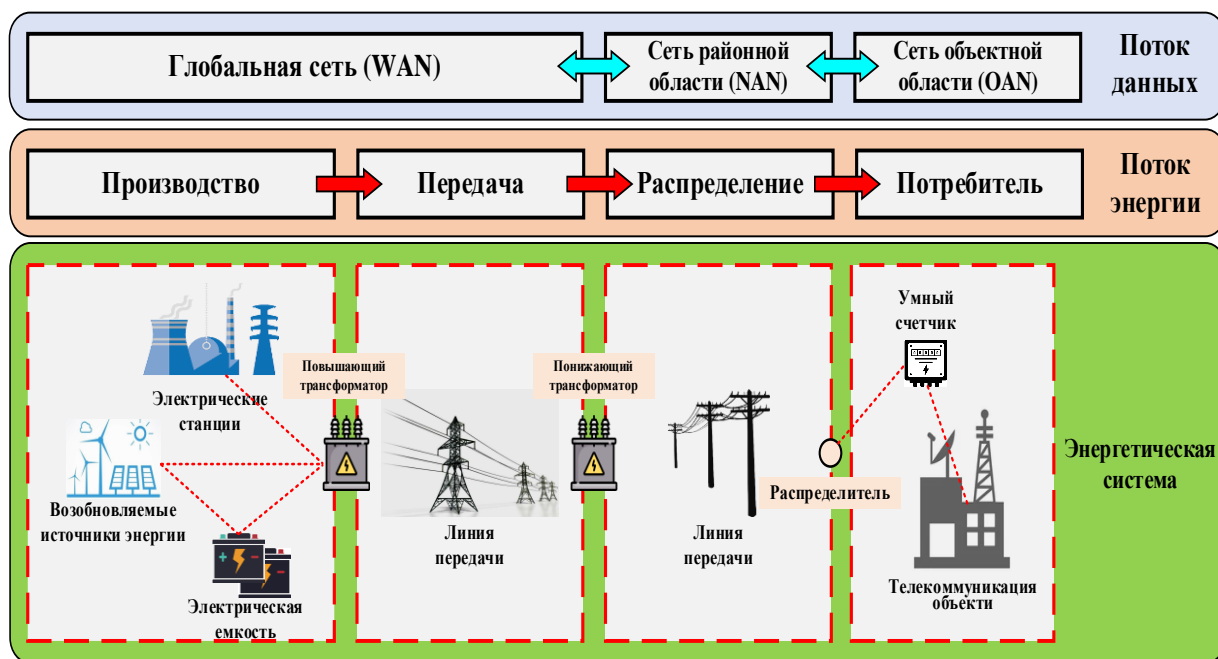


Рис. 1. Схема построения мониторинга на основе IoT, обеспечивающей потоки энергии и информации в энергообеспечении

Четыре основные подсистемы мониторинга на основе IoT составляют следующие: производство энергии; передача; распределение и потребление энергии. IoT может применяться ко всем подсистемам и становится многообещающим решением для их улучшения, что делает его ключевым элементом автоматизированного мониторинга. Кроме того, автоматизированный мониторинг состоит из таких сетей, как локальная сеть (LAN), смежная сеть (NAN) и глобальная сеть (WAN). Структура трехуровневой архитектуры автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT удобна в использовании и имеет преимущества перед другими типами архитектур с адаптивной точки зрения. Структура трехуровневой архитектуры автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT имеет преимущества перед другими типами архитектур с точки зрения простоты использования и адаптивности.

Задачи, представленные для этих уровней, взаимосвязаны, и разрабатываемые модели также взаимосвязаны. Разработана методика

исследования деятельности автоматизированного мониторинга, в которой взаимосвязь уровней представлена на рис. 2.

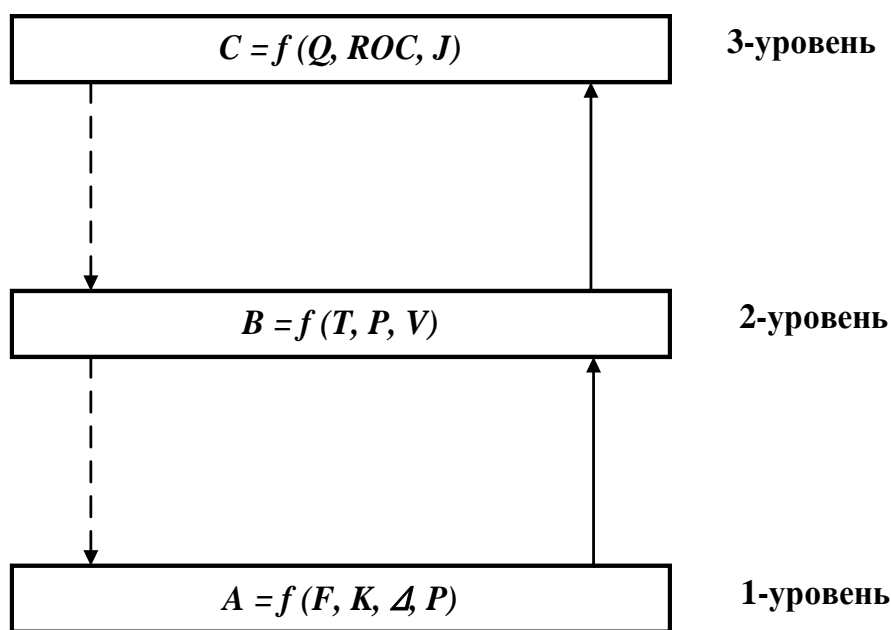


Рис. 2. Взаимосвязь уровней

Для выражения надежности и эффективности всего процесса мониторинга была принята M . От работы всех уровней зависит общая надежность и эффективность мониторинга, которая представлена следующим набором:

$$M = A \cup B \cup C, \quad (1)$$

здесь: A – основные показатели 1-го уровня мониторинга, B – основные показатели 2-го уровня мониторинга, C – основные показатели 3-го уровня мониторинга.

Проведенные исследования показывают, что для повышения надежности и эффективности автоматизированного мониторинга необходимо решить следующие задачи:

- создание типа сенсора с расширенными функциональными возможностями (F), повышением его чувствительности (K), уменьшением источника ошибок (Δ) и повышением его надежности (P) на 1-м уровне мониторинга;

- выбор оптимальной топологии (T) сбора и передачи данных с сенсоров, повышение надежности сети (P) и изучение вероятностно-временных характеристик (V) предлагаемой сети на 2-м уровне процесса мониторинга;

- а также улучшить точность оценки модели прогнозирования (Q), рабочую характеристику приемника (ROC) и точность прогнозирования (J) путем создания эффективных методов и моделей для прогнозирования энергии, генерируемой гибридными источниками энергоснабжения телекоммуникационных устройств, и энергопотребления устройства на 3-м уровне.

На основе данной методологии в диссертационной работе была разработана архитектура автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на основе трехуровневой архитектуры IoT, а задачи диссертации определены с учетом взаимосвязи всех ступеней.

Вторая глава диссертации под названием «Исследование моделирования и классификации датчиков автоматизированного мониторинга» посвящена структуре и принципам моделирования датчиков, используемых в первичном сенсорном слое системы мониторинга на базе IoT, моделям и исследованию основных цепей, моделированию блоков преобразования и ее основных частей.

На рис. 3 показаны типы структуры сенсора с магнитопроводом преобразования одно-, двух- и трехфазных токов, применяемого в автоматизированном контроле гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT, а также структурная схема на основе используемых в ней элементов.

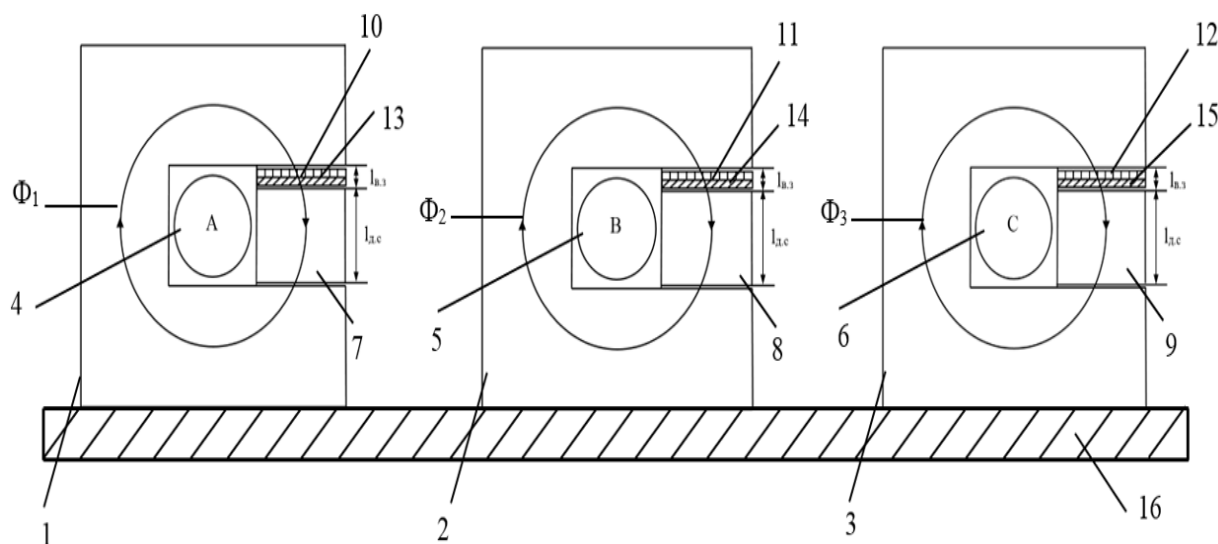


Рис. 3. Структурная схема сенсора одно, двух и трехфазных токов автоматизированного мониторинга

В сенсоре чувствительные элементы одно-, двух- и трехфазных токов размещены как первичные преобразователи сигнала для мониторинга – сигнала в виде вторичного напряжения. В сенсоре имеются три П-образных магнитопровода 1, 2 и 3, на основе которых размещены первичные обмотки 4, 5 и 6 трехфазных проводов электрической сети. Дополнительные сердечники 7, 8 и 9 размещены в нижних сердечниках между параллельными сердечниками П-образного магнитопровода, а чувствительные элементы 13, 14 и 15 размещены в воздушном зазоре между дополнительными элементами 7, 8 и 15, 9, а между верхними сердечниками магнитопроводов 1, 2 и 3 на изоляционных пластинах размещены 10, 11 и 12. Три П-образных магнитопровода сенсора размещены на общем основании (16), состоящем из 1, 2 и 3 диэлектрических материалов.

Для реализации процесса контроля одно-, двух- и трехфазных токов на основе представленного сенсора, на выходе каждого из чувствительного элемента размещают микроконтроллерный блок управления и элемент беспроводной телекоммуникационной сети, снабженный источником энергоснабжения (рис. 4).



Рис. 4. Структура IoT-сенсора, обеспечивающий дистанционный контроль одно-, двух- и трехфазных токов

Учитывая, что изменение магнитных потоков, созданные одно, двух и трехфазными токами в магнитопроводах сенсора играет основную роль в процессе контроля, и их необходимо моделировать и надо формировать и рассчитывать конструкцию сенсора с неоднородными значениями параметров, эквивалентная схема которых представлена на рис. 5.

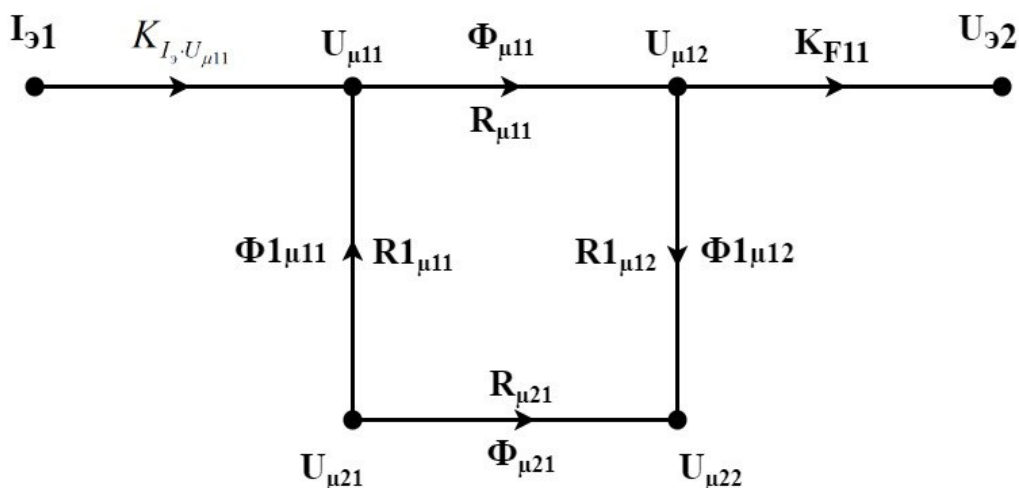


Рис. 5. Эквивалентная схема соединения элементов сенсора, составленная на основе элементов графового моделирования

Одним из основных показателей сенсоров являются требования, которые предъявляются к чувствительности информационно-измерительного блока при контроле источников энергии, не влияя при этом на деятельность телекоммуникационных объектов в процессе мониторинга. Статические характеристики сенсора по результатам исследований, проведенных на основе графо-аналитической модели, представлены на рис. 6.

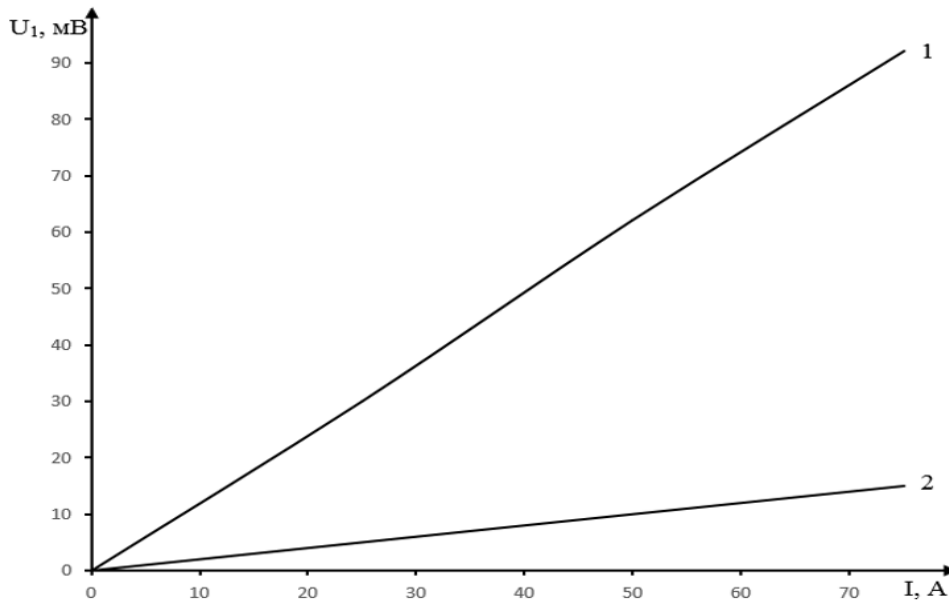


Рис. 6. Результаты исследований на основе графо-аналитических моделей сенсоров автоматизированного мониторинга (1- $l_{в.з}=0,005$; 2- $l_{в.з}=0,04$)

Чувствительность сенсора мониторинга, полученная из статических характеристик на рис. 6, при толщине воздушного зазора, равной $l_{в.з} = 0,005$ м и $l_{в.з} = 0,04$ мг, представляются следующим образом:

$$K_1 = 1,2 \frac{mB}{A}; \quad K_2 = 0,2 \frac{mB}{A}. \quad (2)$$

Автоматизированный мониторинг показал, что величины K_1 и K_2 в зависимости от геометрических размеров можно увеличить чувствительность сенсора до 6 раз в зависимости от воздушного зазора между стержнями.

Для анализа и оценки погрешностей сенсоров автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT используем графовую модель функциональной схемы, изображенную на рис. 7.

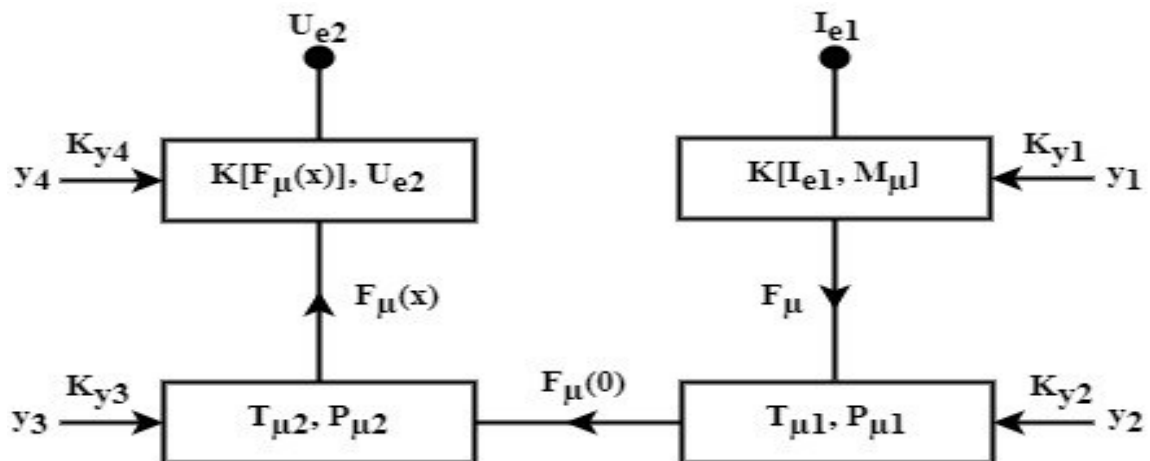


Рис. 7. Функциональная схема сенсора автоматизированного мониторинга гибридного источника энергоснабжения на базе IoT

В 1-м блоке фазный ток I_{lf} сенсора преобразуется в магнитную движущую силу U_μ , во 2-м блоке магнитная движущая сила F_μ создаёт магнитный ток F_μ в соответствующем магнитный сердечник, в 3-м блоке за счёт расположения плоской измерительной обмотки в воздушном зазоре, выходной сигнал в виде вторичного электрического напряжения U_{e2} индуцируется на выходе плоской измерительной обмотки.

Для оценки суммарной погрешности сенсора, возникающие в блоке измерения и контроля 1, 2 и 3, погрешности оценим отдельно:

Погрешность сенсора системы измерения и контроля определяется на основе величин: 1. Ошибка преобразования $I_{e1} \rightarrow U_\mu$, т.е. $\delta_1=0,2$ ($\pm 0,2\%$ - исходное номинальное значение), 2. $U_\mu \rightarrow F_\mu$, т.е. $\delta_2=0$, и 3. $F_\mu \rightarrow U_{e2}$, т.е. $\delta_3=0,1$:

$$\delta_\Sigma = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 0,24. \quad (3)$$

Все составляющие погрешности сенсора разделим на аддитивные и мультипликативные погрешности и найдем их среднеквадратичное отклонение по закону распределения вероятности их появления. Величина отклонения энтропии погрешности разработанного сенсора определялась по следующей формуле:

$$\Delta = \delta_\Sigma \cdot K_3 = 0,24 \times 2,07 = 0,49, \quad (4)$$

здесь: δ_Σ - сумма значений отклонения погрешностей, K_3 - коэффициент энтропии (для нормального закона распределения $K_3 = 2,07$).

В результате расчетов и экспериментов энтропийная погрешность сенсора автоматизированного мониторинга составляет $\Delta=0,49\%$, класс точности для сенсора исследуемой автоматизированного мониторинга составляет 0,5% с запасом.

Расчет надежности сенсоров автоматизированного мониторинга на базе IoT, гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств разделяется на элементный (аппаратный) и функциональный (параметрический) типы.

Путем сложения вероятностей всех рабочих состояний сенсорных элементов вычисляют вероятность работоспособности сенсора:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_2 \cdot P_3 - P_1 \cdot P_3. \quad (5)$$

Учитывая, что вероятность фатальных отказов $P_{fat}=0,99$, общая надежность сенсоров автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения составляет:

$$P = P_{fat} \cdot P_{нар} = 0,99 \cdot 0,99 = 0,98. \quad (6)$$

По результатам исследований видно, что наибольшее влияние на изменение значения параметрической надежности оказывают температура окружающей среды и износ материалов.

В третьей главе диссертации под названием «**Моделирование беспроводной сенсорной сети мониторинга и исследование характеристик**» изучены особенности, архитектура, топология

беспроводной сенсорной сети мониторинга на базе IoT, передача данных в беспроводных сенсорных сетях, надежность сети и вероятностно-временные характеристики сети.

В настоящее время одним из наиболее актуальных вопросов автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств является организация обмена информацией на основе единой масштабной и высокопроизводительной сети.

Общая надежность беспроводной сенсорной сети мониторинга формируется на основе произведения вероятности безотказной работы модулей P_M и беспроводной сети P_{ST} :

$$P_{SST}(t) = P_M(t) \cdot P_{ST}(t). \quad (7)$$

Согласно требованиям мониторинга общая структура беспроводной сенсорной сети представляется в виде цепочки последовательных модулей с вероятностью безотказной работы P_i . В этом случае общая вероятность того, что система беспроводных модулей будет работать без отказа, находится путем умножения вероятностей каждого беспроводного модуля, то есть:

$$P_M = \prod_{i=1}^N P_i \quad (8)$$

здесь: N – количество модулей беспроводной сенсорной сети в рассматриваемой части автоматизированного мониторинга, то есть между базовыми станциями.

Структурная схема беспроводной сенсорной сети в процессе мониторинга на основе Mesh топологии, состоящей из четырех узлов, представлена на рис. 8.

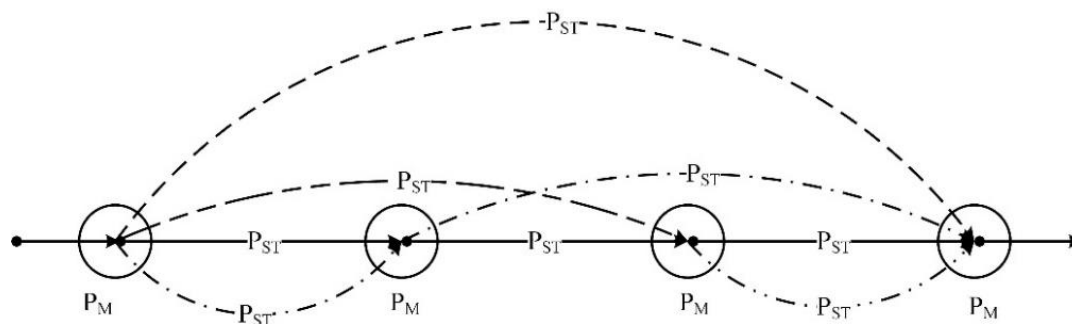


Рис. 8. Беспроводная сенсорная сеть на основе топологии Mesh ($N=4$)

Показатель надежности беспроводной сенсорной сети на основе топологии Mesh рассчитывается по следующему выражению в случае, когда вероятность безотказной работы канала передачи данных между беспроводным модулем и узлами является переменной:

$$P_M^N = 1 - (1 - P_M^N \cdot P_{ST}^{N-1}) \cdot \prod_{i=3}^N (1 - P_M^{i-1} \cdot P_{ST}^{N-1})^{i-2} \quad (9)$$

Алгоритм расчета показателя надежности сети, состоящей из N узлов, на основе аналитических моделей, разработанных для расчета показателя надежности беспроводной сенсорной сети на основе топологии Mesh системы мониторинга, изображен на рис. 9.

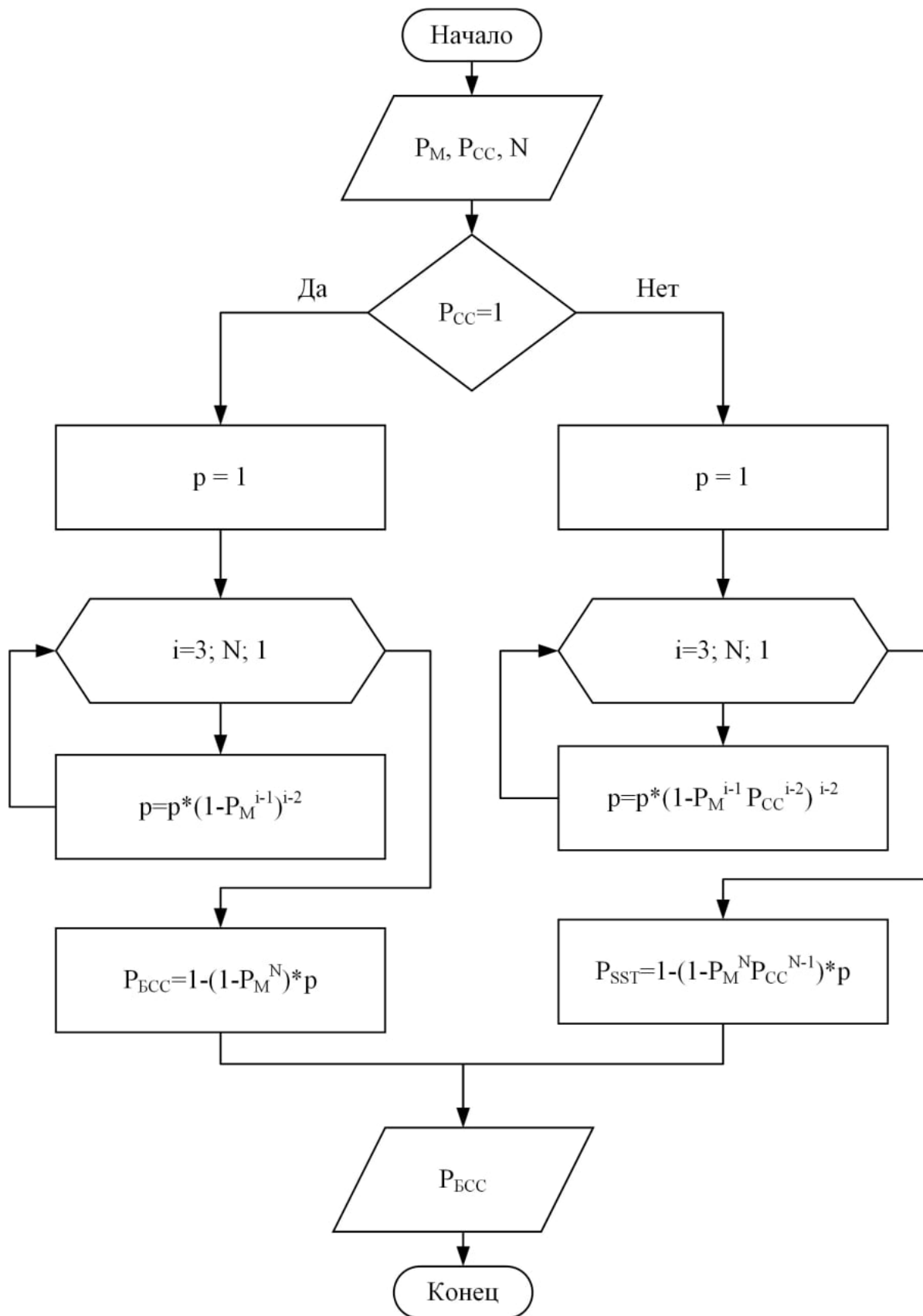


Рис. 9. Алгоритм расчета показателя надежности беспроводной сенсорной сети

На основе этого алгоритма в среде программирования Python создана программа получения характеристик надежности беспроводной сенсорной сети. Характеристика зависимости показателя надежности беспроводной

сенсорной сети на основе топологии Mesh от вероятности бесперебойной работы сетевого модуля в случае, когда вероятность бесперебойной работы канала в автоматизированного мониторинга равна единице представлено на рис. 10, а характеристика зависимости показателя надежности сети от количества узлов представлено на рис. 11.

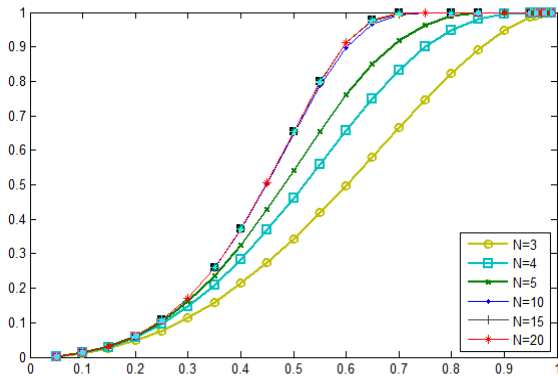


Рис. 10. Характеристика зависимостей показателя беспроводной сенсорной сети от надежности беспроводного модуля

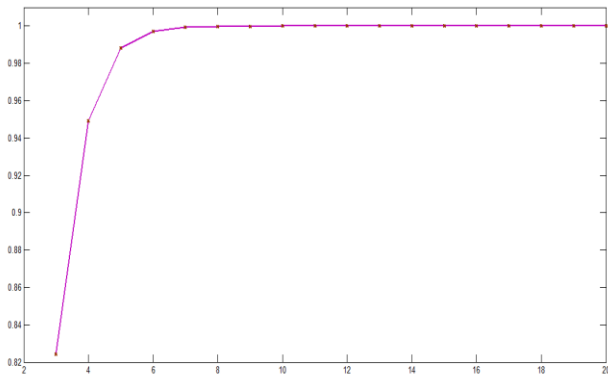


Рис. 11. Характеристика зависимости показателя надежности беспроводной сенсорной сети от количества узлов

Как видно из этих характеристик - надежность модуля сенсорной сети мониторинга стремится к общей надежности 1 при количестве узлов $N=6$. Кроме того, когда количество узлов составляет $N=20$ по сравнению с $N=3$, надежность увеличивается до 54%.

Телекоммуникационные устройства представляют собой одну из сложных конструкций, включающую традиционные и возобновляемые (гибридные) источники энергии. Для определения скорости прохождения пакетов от сенсоров и маршрутизаторов к каждому маршрутизатору и координатору была создана система уравнений баланса, соответствующая графовой модели.

$$\begin{cases} \lambda_1 = 0,04\lambda_2 + 0,01\lambda_3 + 0,01\lambda_4 + 0,04\lambda_5 + 6 \\ \lambda_2 = 0,04\lambda_1 + 0,04\lambda_3 + 0,01\lambda_4 + 0,01\lambda_5 + 6 \\ \lambda_3 = 0,01\lambda_1 + 0,04\lambda_2 + 0,04\lambda_4 + 0,01\lambda_5 + 6 \\ \lambda_4 = 0,01\lambda_1 + 0,01\lambda_2 + 0,04\lambda_3 + 0,04\lambda_5 + 6 \\ \lambda_5 = 0,04\lambda_1 + 0,01\lambda_2 + 0,01\lambda_3 + 0,04\lambda_4 + 6 \\ \lambda_6 = 0,9\lambda_1 + 0,9\lambda_2 + 0,9\lambda_3 + 0,9\lambda_4 + 0,9\lambda_5 \end{cases} \quad (10)$$

Решая данную систему уравнений баланса, получаются следующие результаты:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \frac{20}{3} \approx 6,667; \lambda_6 = 30. \quad (11)$$

Учитывая, что узлы сенсоров, установленные в источниках, через определенные промежутки времени принимают сигналы и передают полученную информацию маршрутизатору, интервал времени поступления пакетов на маршрутизаторы соответствует «равномерному» закону

распределения (Uniform), а пакет интервал времени обслуживания на узле маршрутизатора является «экспоненциальным» (Exponential) законом распределения.

Проведен сравнительный анализ характеристик интенсивности λ беспроводного сенсора, основанный на математической модели сети, имитационной модели узлов сети и имитационной модели всей сети.

Зависимость средней длины очереди пакетов L от интенсивности λ в маршрутизаторах и координаторах беспроводной сенсорной сети представлена на рис. 12 и 13.

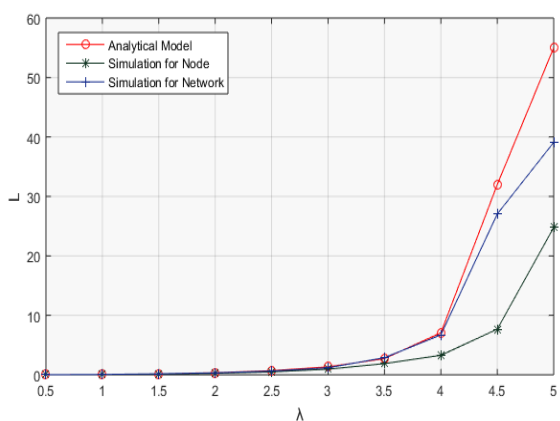


Рис. 12. Зависимость средней длины очереди в буфере маршрутизатора от интенсивности

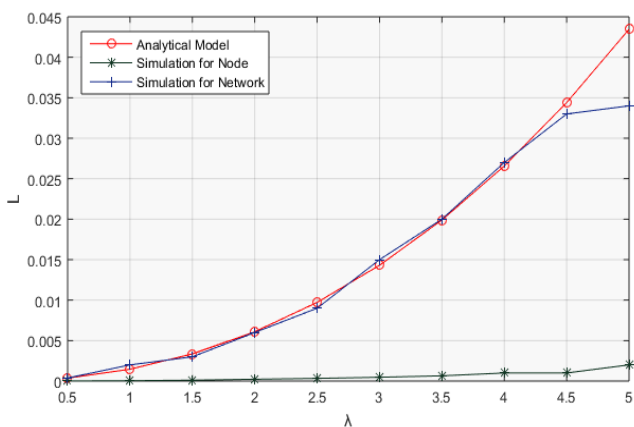


Рис. 13. Зависимость средней длины очереди в буфере координатора от интенсивности

Проведенные исследования показали, что автоматизированная система мониторинга полностью обеспечивает качество обслуживания в заданных начальных условиях беспроводной сенсорной сети, то есть при значениях, меньших $\lambda=4$.

Четвертая глава диссертации под названием «**Модели автоматизированного мониторинга и информационно-измерительный модуль гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT**» посвящена вопросам разработки архитектуры автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств, имитационной модели процесса мониторинга, алгоритма и программного обеспечения, а также информационно-измерительного модуля. На основе подробной информации, полученной дистанционно от комплекса технических средств, установленных при мониторинге, эксплуатационный и обслуживающий персонал сможет быстро выявить и устранить причину неисправности (рис. 14).

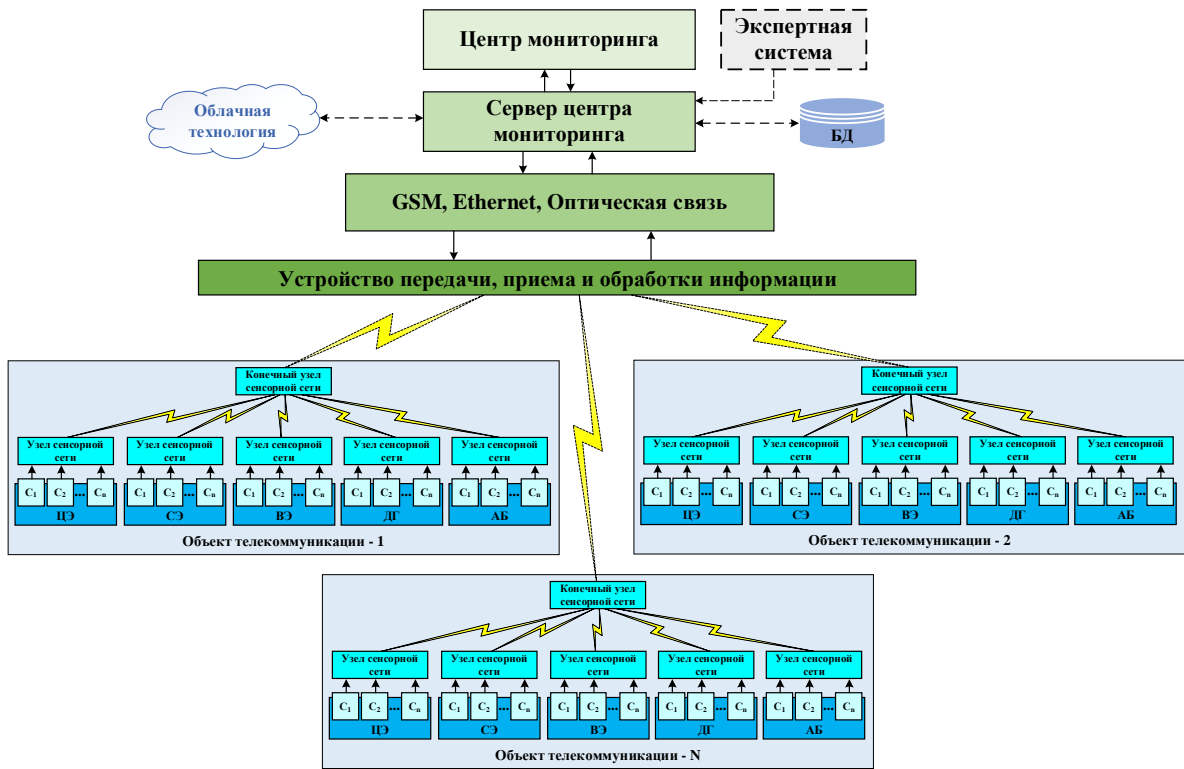


Рис. 14. Структурная схема автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения на базе IoT

здесь: ЦЭ – централизованное энергоснабжение; СЭ – солнечной энергоснабжение; ВЭ – ветровой энергоснабжение; ДГ – дизельный генератор; АБ – аккумуляторная батарея; $S_1, S_2 \dots S_p$ – сенсоры; БД – база данных.

Автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения на базе IoT состоит из трех уровней, ее обобщенная структурная схема представлена на рис. 15.

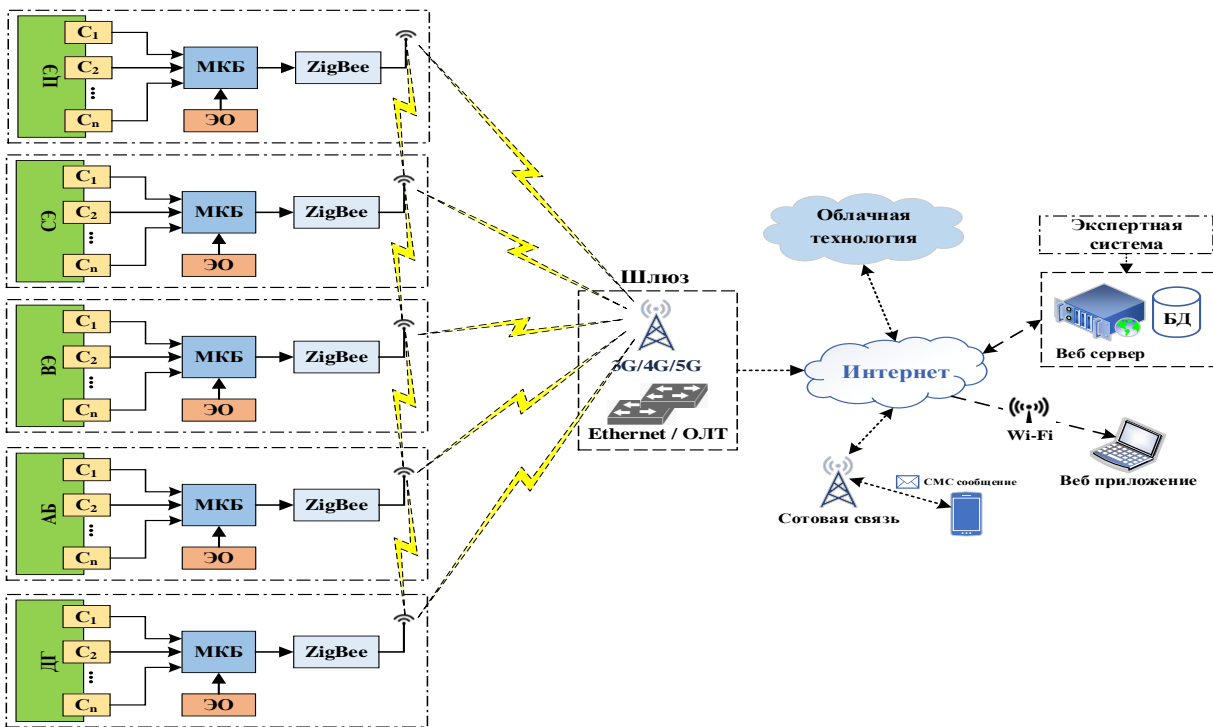


Рис. 15. Схема построения автоматизированного мониторинга на базе IoT

На основе предложенной методики в программной среде Proteus в три этапа был проведен процесс проектирования автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств, структурная схема имитационной модели представлена на рис. 16.

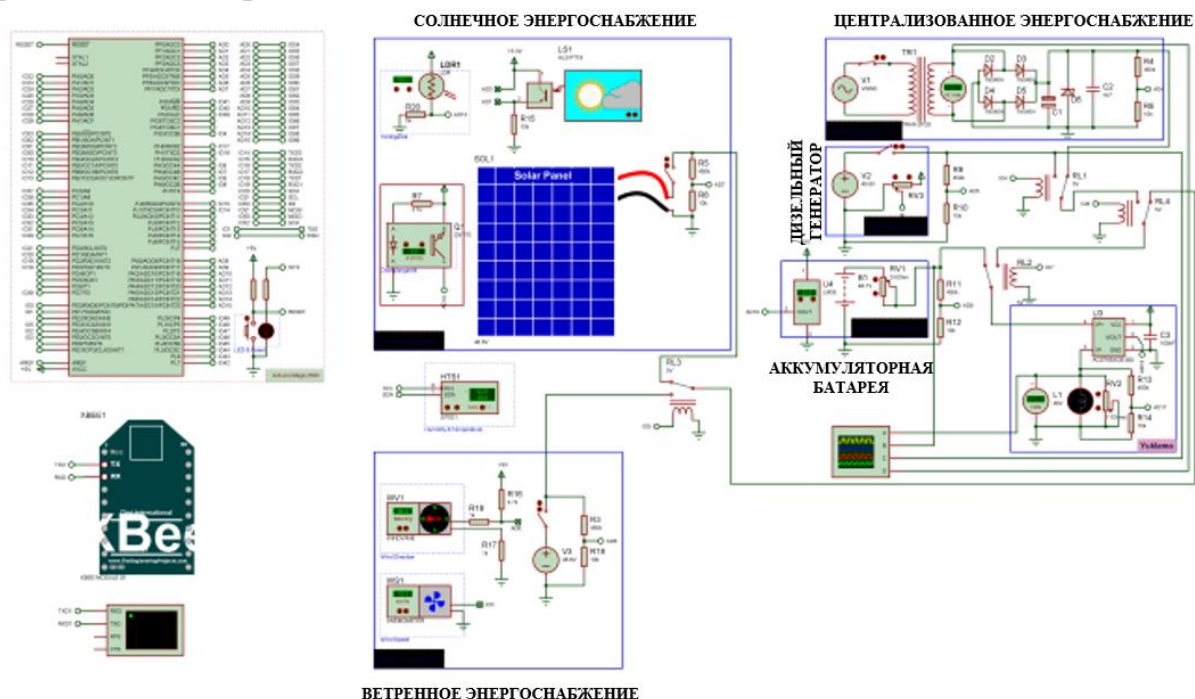


Рис. 16. Имитационная модель автоматизированного мониторинга

Просмотреть результат моделирования автоматизированной модели мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на базе IoT можно в любом веб-браузере, установленном на ПК или смартфонах. В результате открывается веб-интерфейс, показанный на рис. 17, и с помощью этого интерфейса можно отслеживать состояние системы в режиме реального времени.

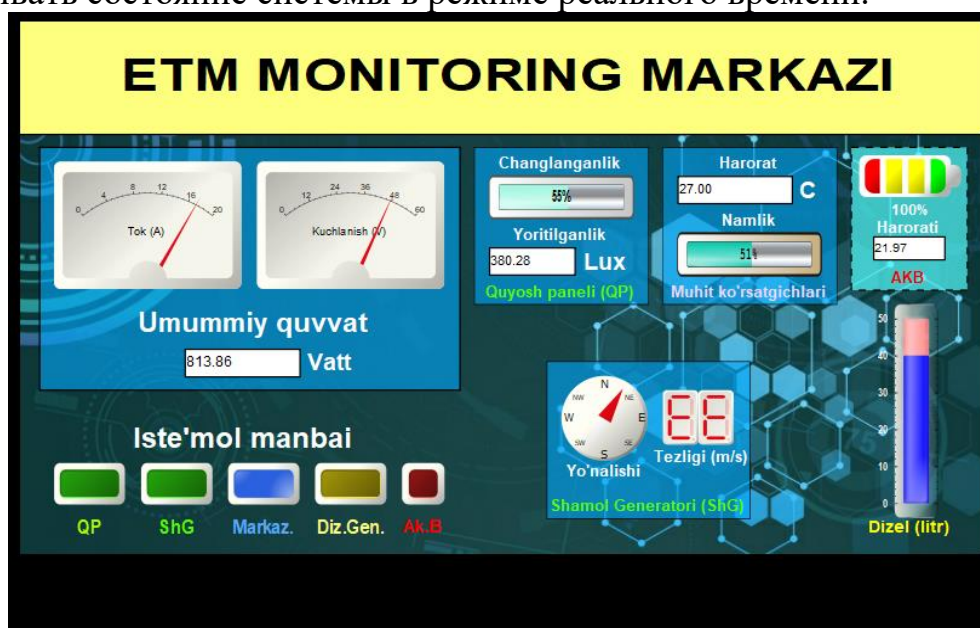


Рис. 17. Вид веб-интерфейса мониторинга гибридных источников энергии

Благодаря мониторинга на базе IoT, своевременного обнаружения неисправностей гибридных источников энергоснабжения и оперативного обслуживания позволили повысить эффективность системы энергообеспечения на 3-4%. Бесперебойное питание устройств осуществляется на основе гибридных источников энергоснабжения, а за счет использования мониторинга на базе IoT можно сократить время обслуживания и эксплуатации источников энергоснабжения телекоммуникационного оборудования на 8-11%.

Пятая глава диссертации под названием «**Прогнозирование состояния гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на основе искусственного интеллекта**» посвящена вопросам разработки модели прогнозирования энергии, вырабатываемой гибридными источниками энергоснабжения и энергопотребления телекоммуникационных устройств.

Создание модели прогнозирования спроса на потребление гибридных источников энергоснабжения, оптимизирует процессы в нем на основе алгоритмов машинного обучения. На рис. 18 показана последовательность реализации предложенной модели прогнозирования в контексте машинного обучения гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств.



Рис. 18. Диаграмма последовательности предлагаемой модели прогнозирования

В этой модели используются два источника энергии, которые считаются невозобновляемыми и возобновляемыми источниками энергии, которые объединены датой и временем. Чтобы проанализировать и увидеть тенденции данных необходимо провести анализ эксплуатационных данных (EDA-exploratory data analysis). После предварительной обработки разделяем данные на обучающую и тестовую выборки. Затем были использованы гибридную модель, состоящую из трех основных моделей: многослойного перцептрона (MLP), векторного квантования (VQ) и дерева решений (DT).

Блок-схема анализа данных гибридных источников энергоснабжения и энергопотребления на основе машинного обучения представлена на рис. 19.

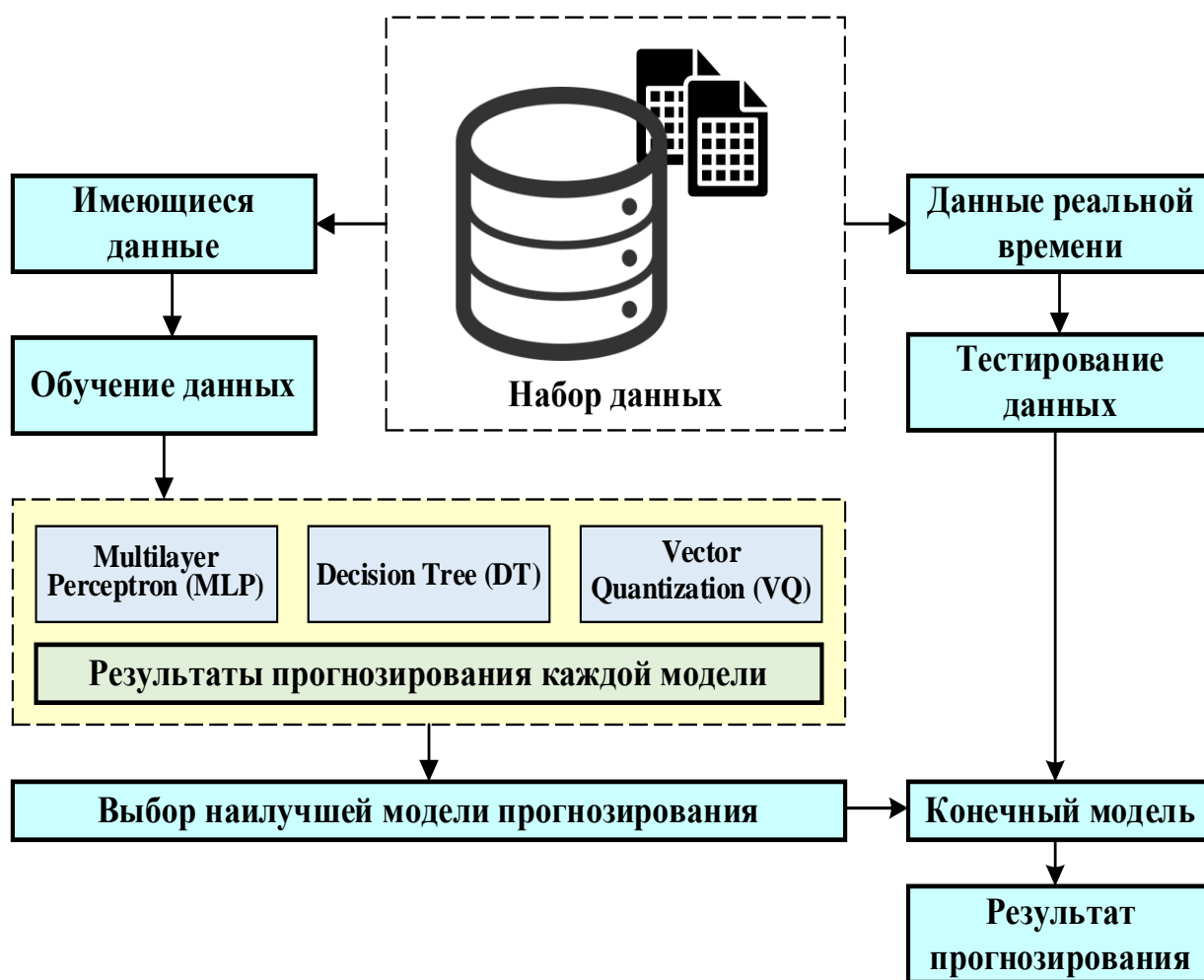


Рис. 19. Блок-схема анализа данных на основе машинного обучения

Сравнение фактических и прогнозируемых значений нагрузки показано на рис. 20.

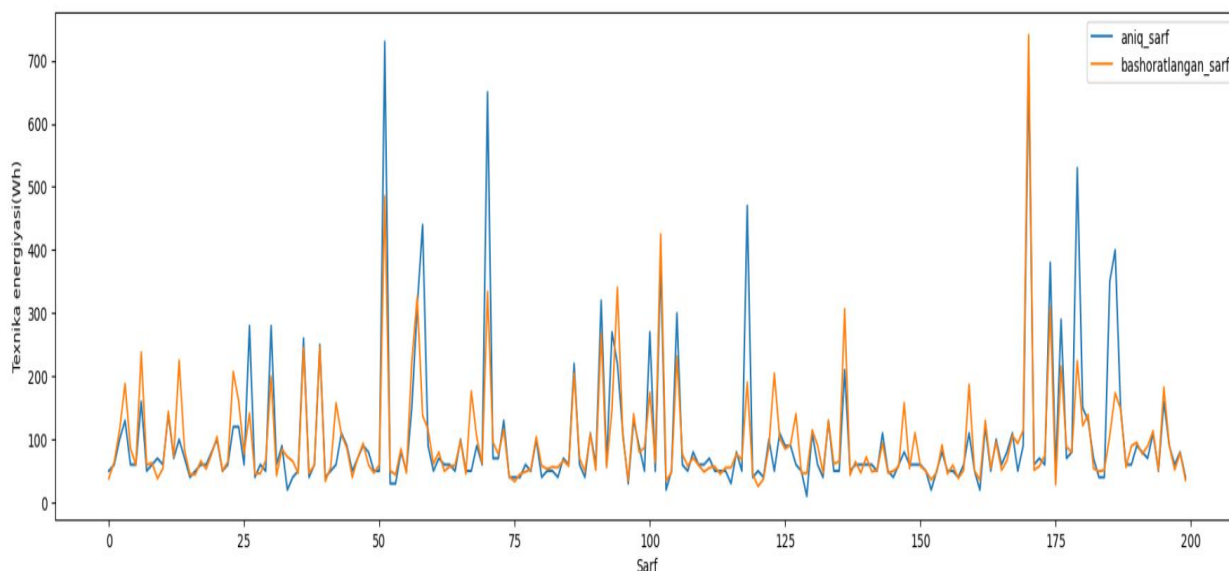


Рис. 20. График сравнения потребляемого телекоммуникационного оборудования и прогнозируемых гибридных источников энергоснаюжения

Как упоминалось выше, предлагаемая модель обучается на данных временных серий энергопотребления телекоммуникационных устройств. Поэтому прогноз основан на базе обучающихся данных.

Представлены время обучения, точность, точность тестирования и точность прогнозирования предлагаемой модели и существующих моделей. Для лучшего понимания прогнозируемого результата граф сравнения доступных методов прогнозирования и предложенных моделей обучения представлен на рис. 21.

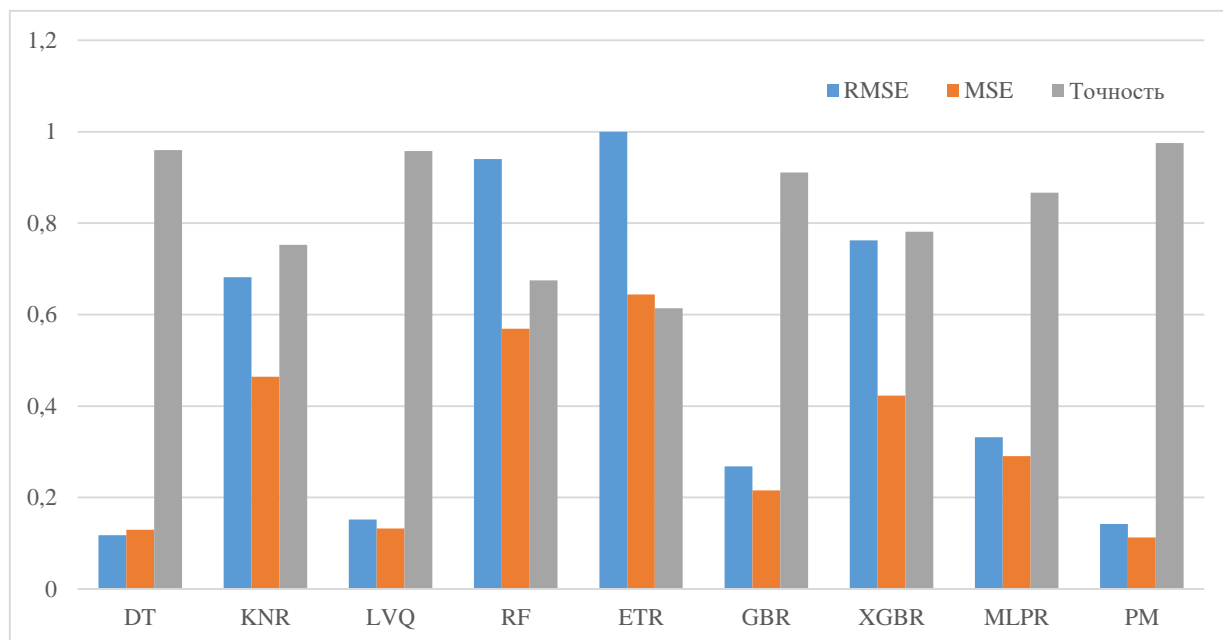


Рис. 21. Существующие и предлагаемые модели прогнозирования гибридных источников энергоснаюжения для телекоммуникационных устройств

здесь: DT-Decision Tree, KNR-KNeighborsRegressor, LVQ-Learning Vector Quantization, RF-Random Forest, ETR-Extra Tree Regressor, GBR-Gradient Boosting Regressor, XGBR-Extreme Gradient Boosting Regressor, MLPR-Multilayer Perceptrons Regressor, PM-Proposed Method (предлагаемый метод).

При прогнозировании гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на основе искусственного интеллекта предложенная модель позволила спрогнозировать источники энергоснабжения с точностью до 97%. Предложенная модель обучается на выборочных данных общего объема произведенной энергии и энергопотребления гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств в режиме реального времени, а точные значения прогнозирования потребления близки друг к другу, что показывает адекватность предлагаемой модели (рис. 22).

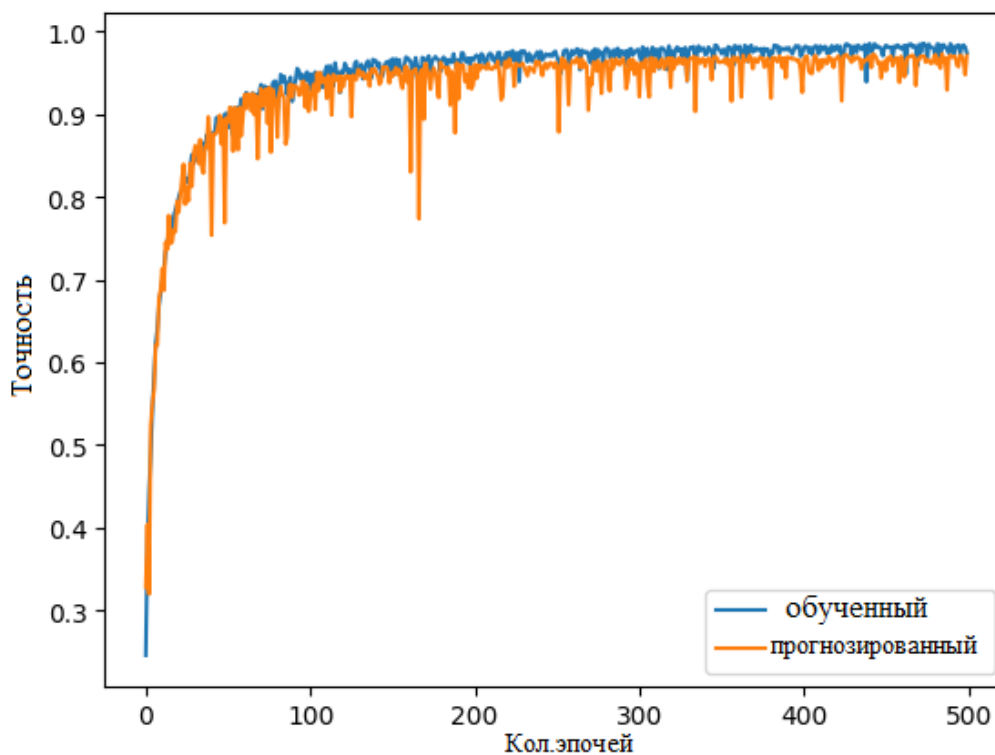


Рис. 22. Зависимость количества эпох от соответствия коэффициентов прогнозирования реальным данным

Прогнозирование энергии, вырабатываемой гибридными источниками энергоснабжения телекоммуникационного оборудования с использованием алгоритмов машинного обучения, и потребности в потребляемой мощности оборудования играет важную роль в стабильной работе телекоммуникационного оборудования. При этом за счет своевременного обнаружения неисправностей в гибридных источниках энергоснабжения и быстрого обслуживания базовые станции мобильной связи позволили повысить эффективность системы на 3-4%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования, выполненного по теме «Модели и алгоритмы автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на основе IoT» на соискание ученой степени доктора наук (DSc) представлены следующие выводы:

1. Установлено, что использование технологии ZigBee имеет ряд преимуществ перед другими с точки зрения энергоэффективности, передачи данных и стоимости на уровнях NAN и HAN. А в сетях WAN, используя имеющиеся возможности, обоснована целесообразность использования технологии мобильной связи или Ethernet.

2. Учитывая тот факт, что автоматизированный мониторинг гибридных источников энергоснабжения на основе IoT включает обработку данных с теми же характеристиками, что и данные, требующие методов Big data, обоснован мониторинг на соблюдении требований управления Big data и использовании данных, обрабатываемых в режиме реального времени.

3. На основе физико-технических эффектов, использованных в сенсоре автоматизированного мониторинга, разработана графовая модель процесса изменения величин магнитной системы в выходной сигнал в виде напряжения. Доказано, что за счет определения зависимости чувствительного элемента сенсора от воздушного зазора чувствительность сенсора увеличивается до 6 раз.

4. Исходя из вероятности фатального отказа элементов преобразования, равной $P=0,99$, обеспечивается надежность сенсора автоматизированного мониторинга гибридных источников энергоснабжения в $P=0,98$.

5. Автоматизированный мониторинг показал, что показатель надежности беспроводной сенсорной сети с топологией Mesh зависит от надежности модуля беспроводной сети, которая увеличивается в зависимости от количества узлов N в системе. В Mesh топологии при количестве узлов $N=20$ по сравнению с $N=3$ надежность увеличивается до 54%.

6. Автоматизированный мониторинг беспроводной сенсорной сети позволяет полностью обеспечить качество обслуживания в заданных начальных условиях, то есть при значениях, меньших $\lambda=4$. На основе топологии Mesh появилась возможность увеличить показатель надежности беспроводной сенсорной сети системы мониторинга до 99,99%.

7. С использованием микроконтроллерного блока управления разработаны информационно-измерительный модуль автоматизированной системы мониторинга на базе IoT, мобильное и веб-приложение, а также формат представления данных. Применив разработанные научные результаты в автоматизированном мониторинге, удалось сократить время обслуживания и эксплуатации источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на 8-11%. Экономический эффект от экономии энергии и ресурсов от совершенствования и внедрения разработанных алгоритмов, методов, программного обеспечения мониторинга составил 3% в год.

8. Разработана модель прогнозирования гибридных источников энергоснабжения телекоммуникационных устройств на основе искусственного интеллекта, модель позволила прогнозировать источники энергоснабжения с точностью до 97%. За счет своевременного выявления неисправностей гибридных источников энергоснабжения и оперативного обслуживания базовых станций мобильной связи позволили повысить энергоэффективность системы на 3-4%.

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

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

KHUJAMATOV HALIMJON ERGASHEVICH

**MODELS AND ALGORITHMS OF AUTOMATED MONITORING OF
HYBRID ENERGY SUPPLY SOURCES OF TELECOMMUNICATION
DEVICES ON IoT BASED**

05.04.01 - Telecommunication and Computer Systems, Telecommunication Networks and
Devices. Distribution of Information

**DISSERTATION ABSTRACT FOR THE DOCTOR (DSc)
OF TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent - 2024

The topic of the doctoral dissertation in technical science (DSc) was registered with the Higher Attestation commission under the Ministers of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2023.3.DSc/T653.

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies.

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» Information and Educational Portal (www.ziynet.uz).

Scientific adviser: **Siddikov Ilkhomjon Xakimovich**
Doctor of technical Sciences, Professor

Official opponents: **Khamdamov Utkir Raxmatillaevich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Parsiev Saydiaxad Salixodjaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Yusupbekov Azizbek Nodirbekovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading organization: **Tashkent state transport university**

The defense of the thesis will held on ____, ____2024 year at ____ hours at the meeting of the Scientific Council DSc.13/30.12.2019.T.07.02 at the Tashkent University of Information Technologies. (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (99871) 238-64-43; fax: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed in the Information Resource Centre of the Tashkent University of Information Technologies (is registrered under №____) (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108.Tel: (99871) 238-64-43, fax: (99871) 238-65-52).

The abstract of dissertation is distributed on “ ____ ” _____ 2024
(Protocol at the register № ____ on “ ____ ” _____ 2024

B.Sh.Makhkamov

Chairman of the Scientific Council
awarding scientific degrees,
doctor of economic sciences, professor

M.S.Saitkamolov

Scientific secretary of the Scientific Council
awarding scientific degrees,
doctor of economic sciences, associate professor

D.Y.Irgasheva

Chairman of the Academic Seminar at the Scientific
Council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of doctoral dissertation (DSc))

The aim of the research work is development of an automated monitoring models, and algorithms for predicting hybrid power sources of telecommunication devices based on IoT and artificial intelligence.

The object of the research is hybrid power sources for telecommunication devices, devices and means of an automated monitoring, based on IoT, as well as a forecasting module.

The scientific novelty of the research work is as follows:

for the first time, developed a model of a sensor for converting one, two and three-phase currents of hybrid power sources to the signal as a secondary voltage, based on interaction of magnetic flows, for automated monitoring of the energy supply of telecommunication devices;

a model and algorithm have been developed that increase the probability of failure-free operation of a wireless sensor network based on the Mesh topology of an automated monitoring system;

a method and architecture for implementing the process of automated monitoring based on IoT of hybrid power sources for telecommunication devices have been developed;

algorithms for the automated monitoring process based on IoT have been developed, ensuring continuous transmission of information from the sensors of the hybrid power supply source and its storage on the center's data server;

a simulation model has been developed that optimizes the operation of an automated monitoring system based on IoT of hybrid power sources for telecommunication devices in real time;

a model based on artificial intelligence has been developed that increases the accuracy of forecasting the energy supply and energy consumption of telecommunication devices produced by hybrid sources.

Implementation of the research results:

based on the results of automated monitoring of models and algorithms of hybrid power sources for IoT-based telecommunication devices:

received a patent for an invention from the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan for the device "Current to Voltage Converter" (No. IAP 06646 - 2021). As a result, by taking into account the interaction of magnetic currents in one-, two- and three-phase currents in an automated monitoring system based on IoT, it was possible to increase the sensitivity of the sensor up to 6 times;

based an automated monitoring system on the basis of IoT, algorithms for launching a wireless sensor network, adding end devices and transferring data between modules, as well as a simulation model of an automated real-time monitoring system were implemented in the State Unitary Enterprise Center for Radio Communications, Radio Broadcasting and Television (certificate of the Ministry of Digital Technologies dated March 23, 2023 year No. 3-8/1897). As a result of scientific research, the use of an automated monitoring system for hybrid power supply sources based on sensors, a microcontroller unit and IoT

telecommunication devices made it possible to reduce the time for maintenance and operation of power supply sources by 7-8%;

constructed the structure of automated monitoring of sources of hybrid power supply of telecommunication devices, the database and the format of their presentation, as well as the wireless sensor network of the Mesh topology of the automated monitoring system based on IoT was implemented at enterprises subordinate to the Ministry of Digital Technologies, in particular, introduced into the telecommunication networks of the Yangibazar and Syrdarya branches of the Tashkent branch of Uzbektelecom JSC in Gulistan district (certificate of the Ministry of Digital Technologies dated March 23, 2023 No. 3-8/1897). As a result of scientific research, through the use of a patent for an invention, created devices and developed models, algorithms and software, the reliability of telecommunication devices has been increased, and economic efficiency due to saving energy and resources amounted to 2-3% per year;

hybrid power supplies based on artificial intelligence, a model for predicting and monitoring energy consumption of energy and telecommunications equipment, launching a wireless sensor network, adding end devices and data transfer algorithms between modules were introduced into the telecommunication networks of the Yangibazar and Syrdarya branches of the Tashkent branch of Uzbektelecom JSC in the Gulistan region (reference Ministry of Digital Technologies dated March 23, 2023 No. 3-8/1897). As a result of scientific research, due to the high accuracy of systems and continuous operation of devices due to monitoring and forecasting of electricity consumption based on IoT, an increase in efficiency of 4-5% is expected;

an automated monitoring system for hybrid energy sources based on IoT, a real-time workflow simulation model and a forecasting model based on artificial intelligence were implemented at enterprises subordinate to the Ministry of Digital Technologies, in particular at UMS LLC (certificate of the Ministry of Digital Technologies dated March 23, 2023 No. 3-8/1897). As a result of scientific research, due to the timely detection of faults in hybrid energy, sources of supply of mobile communication base stations and operational maintenance, it was possible to predict the power consumption of mobile communication base stations with an accuracy of 97% and increase the efficiency of the system by 3-4%.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusions, a conclusion, and a list of references. The volume of the dissertation is 198 pages and consists of 105 figures, 13 tables.

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

1. Патент РУз. №IAP 20180443. Преобразователь тока в напряжение. Азимов Р.К., Сиддиков И.Х., Хужаматов Х.Э., Саттаров Х.А., Хасанов Д.Т. // Официальный бюллетен №1, 2021 г.

2. I.X. Siddikov, X.Э.Xujamatov. Telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari obyektlarining energiya ta'minoti manbalari va ularning boshqaruvi. Monografiya. - Toshkent: TATU, 2021 y, -136 bet.

3. I.X. Siddikov, D.T. Hasanov, X.E. Xujamatov. Telekommunikatsiya obyekti energiya ta'minoti manbalarini simsiz sensor tarmoqlar asosidagi monitoringi. Monografiya. - Toshkent: TATU, 2022. - 126 bet.

4. Manju Khari, Khaleel Ahmad, M.A.Rizvi, Khujamatov Khalim, Djamshid Sultanov. IIHO-Blockchain Technology: Health Information and healthcare observation using blockchain technology // Innovation patent, Commonwealth of Australia, Patent Office, Australian Government №2020101946, 16.09.2020.

5. Xujamatov X.E. IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta'minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoring tizimi // "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №2(24), 2023. -B.113-123. (05.00.00; №10).

6. Khujamatov H., Khasanov D., Reypnazarov E., Fayzullaev B. WSN-based research the monitoring systems for the solar power stations of telecommunication objects. // IJUM Engineering Journal, Vol. 22, No. 2, 2021. (05.00.00; Osiyo mamlakatlari nashrlari №6; (**Scopus**, IF: 1,13; Q2 kvartil).

7. Khaleel Ahmad, Halimjon Khujamatov, Amir Lazarev, Nargiza Usmanova, Mona Alduailij, Mai Alduailij. Internet of Things-Aided Intelligent Transport Systems in Smart Cities: Challenges, Opportunities, and Future // Wireless Communications and Mobile Computing. Volume 2023, Article ID 7989079, p.p. 1- 28 (**Scopus**, IF:2,5; Q2 kvartil).

8. Khairol Amali Bin Ahmad, Halim Khujamatov, Nurshod Akhmedov, Mohd Yazid Bajuri, Mohammad Nazir Ahmad, Ali Ahmadian. Emerging trends and evolutions for smart city healthcare systems // Sustainable Cities and Society (2022) 103695. p.p. 1-16. (**Scopus**, IF:10,69; Q1 kvartil).

9. Halimjon Khujamatov, Khaleel Ahmad, Nargiza Usmanova, Jamshid Khoshimov, Mai Alduailij, and Mona Alduailij. Fog Computing Capabilities for Big Data Provisioning: Visualization Scenario // Sustainability (Switzerland), 2022, 14(13), 8070. p.p 1-14. (**Scopus**, IF:3,88; Q2 kvartil).

10. Tanwar S., Khujamatov H., Turumbetov B., Reypnazarov E., Allamuratova Z. Designing and Calculating Bandwidth of the LTE Network for Rural Areas // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 2022, 12(2), p.p. 437–445. (**Scopus**, IF:1,05; Q3 kvartil).

11. Halim Khujamatov, Refat Ibraimov, Maxbuba Sultonova. The Integral Distribution Function of the Kilometric Attenuation of Infrared Radiation in the Atmosphere Fergana Region of the Republic of Uzbekistan // Webology, Volume

18, p.p.316-327. Special Issue on Current Trends in Management and Information Technology, October, 2021. (**Scopus**, IF:1,61; Q3 kvartil).

12. Ilkhomjon Siddikov, Halimjon Khujamatov, Azizbek Temirov, Ernazar Reypnazarov, Shakhlo Khujamatova. Application Of LoRa Technology For Hybrid Energy Supply System Based On Edge // Computing International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2023, Tashkent, Uzbekistan - 2023. 1 - 6 p. Rayosat qarori №01-06/1410/99/ (29.08.2023-y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

13. Khalimjon Khujamatov, Nurshod Akhmedov, Ernazar Reypnazarov, Doston Khasanov, Amir Lazarev. Device-to-device and millimeter waves communication for 5G healthcare informatics // Blockchain Applications for Healthcare Informatics Beyond 5G, 2022, Pages 181-211. (**Scopus**).

14. Khujamatov Khalim, Ernazar Reypnazarov, Nurshod Akhmedov, Doston Khasanov. Existing Technologies and Solutions in 5G-Enabled IoT for Industrial Automation // Blockchain for 5G-Enabled IoT Robotics // Springer Nature Switzerland AG 2021, pp 181-221. (**Scopus**).

15. Khujamatov H., Reypnazarov E., Khasanov D., Akhmedov N. IoT, IIoT, and Cyber-Physical Systems Integration. // Emergence of Cyber Physical System and IoT in Smart Automation and Robotics, Springer Nature Switzerland AG 2021. (**Scopus**).

16. Ilkhom Siddikov, Halimjon Khujamatov, Khasanov Doston, Reypnazarov Ernazar. IoT and Intelligent Wireless Sensor Network for Remote Monitoring Systems of Solar Power Stations. // World Conference Intelligent System for Industrial Automation, WCIS 2020. Springer, Cham, 2021. -P. 186–195. (**Scopus**).

17. Kh.E. Khujamatov, D.T. Khasanov, E.N. Reypnazarov. Modeling and Research of Automatic Sun Tracking System on the bases of IoT and Arduino UNO // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), November 2019, Tashkent, Uzbekistan. Rayosat qarori №269/8 (30.09.2019-y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

18. Kh.E. Khujamatov, D.T. Khasanov, E.N. Reypnazarov. Research and Modelling Adaptive Management of Hybrid Power Supply Systems for Object Telecommunications based on IoT // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), November 2019, Tashkent, Uzbekistan. Rayosat qarori №269/8 (30.09.2019-y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

19. Halim Khujamatov, Doston Khasanov, Ernazar Reypnazarov, Nurshod Akhmedov. Industry Digitalization Concepts with 5G-based IoT // 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan-2020. OAK Rayosatining 30.10.2020 yildagi 368-son qarori bilan dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan xorijiy ilmiy nashrlarda chop etilgan ilmiy maqolalarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

20. Ilkhom Siddikov, Doston Khasanov, Halim Khujamatov, Ernazar Reypnazarov. Communication Architecture of Solar Energy Monitoring Systems for

Telecommunication Objects // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 3-5 November 2021, Tashkent, Uzbekistan. Rayosat qarori №525 (30.10.2021-y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

21. Halim Khujamatov, Ilkhom Siddikov, Ernazar Reypnazarov, Doston Khasanov. Research of Probability-Time Characteristics of the Wireless Sensor Networks for Remote Monitoring Systems // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 3-5 November 2021, Tashkent, Uzbekistan. Rayosat qarori №525 (30.10.2021-y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

22. Ilkhom Siddikov, Halim Khujamatov, Ernazar Reypnazarov, Doston Khasanov. CRN and 5G based IoT: Applications, Challenges and Opportunities // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 3-5 November 2021, Tashkent, Uzbekistan. Rayosat qarori №525 (30.10.2021-y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

23. A.A. Muradova, Kh.E.Khujamatov. Results of Calculations of Parameters of Reliability of Restored Devices of the Multiservice Communication Network // International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2019, Tashkent, Uzbekistan – 2019. Rayosat qarori №243/3 (31.10.2017 y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan. (**Scopus**).

24. Halim Khujamatov, Temur Toshtemirov. Wireless sensor networks based Agriculture 4.0: challenges and apportions // 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan-2020. OAK Rayosatining 30.10.2020-yildagi 368-son qarori bilan dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan xorijiy ilmiy nashrlarda chop etilgan ilmiy maqolalarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

25. H. Khujamatov, A. Lazarev, N. Akhmedov. Intelligent IoT Sensors: Types, Functions and Classification // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 3-5 November 2021, Tashkent, Uzbekistan. Rayosat qarori №525 (30.10.2021-y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

26. H. Khujamatov, A. Lazarev, N. Akhmedov. Application of LPWAN technologies for the implementation of IoT projects in the Republic of Uzbekistan // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 3-5 November 2021, Tashkent, Uzbekistan. Rayosat qarori №525 (30.10.2021-y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

27. H. Khujamatov, A. Lazarev, N. Akhmedov. Remote monitoring system architectures in healthcare // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 3-5 November 2021, Tashkent, Uzbekistan. Rayosat qarori №525 (30.10.2021-y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

28. H Khujamatov, T Toshtemirov, A Lazarev, Q Raximjonov. IoT and 5G technology in agriculture // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 3-5 November 2021, Tashkent, Uzbekistan. Rayosat qarori №525 (30.10.2021-y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (**Scopus**).

29. I.Kh.Siddikov, Kh.E.Khujamatov, D.T.Khasanov, E.N.Reypnazarov. Modelling of monitoring systems of solar power stations for telecommunication facilities on wireless nets // "Chemical technology, Control and Management" International scientific and technical journal. Tashkent. 2020, №3 (93) -pp. 20-28 (05.00.00; №12).

30. Kh.E.Khujamatov, Khaleel Ahmad, D.T.Khasanov, E.N.Reypnazarov. Markov Chain Based Modeling Bandwith State of the Wireless Sensor Network of Monitoring System // "International Journal of Advanced Science and Technology" Science and Engineering Research Support Society. Australia. 2020, №4 –pp.4889-4903 (05.00.00; IF: 0.107).

31. Khujamatov Kh.E., Reypnazarov E.N., Khasanov D.T., Nurullaev E.E., Sobirov Sh.O. Evaluation of characteristics of wireless sensor networks with analytical modeling // "Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies" International science-technical journal. Tashkent. 2020, vol. 3, Article 2. -pp. 1-9 betlar (OAK Rayosatining 30.07.2020-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).

32. И.Х. Сидди́ков, Х.Э. Хужаматов, Н.Ю. Амурова, Д.Т. Хасанов. Моделирование и исследование интеллектуально-адаптивных электрических сетей // "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. - №2(8), 2019. -S. 105-107 betlar (05.00.00; №10).

33. I.X. Siddikov, X.E. Xujamatov, D.T. Xasanov, Sh.B. Olimova, X.S. Xasanov. Telekomunikatsiya tizimlari gibrid energiya ta'minoti manbalarini masofali monitoring va boshqaruvi // "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. - №3(9), 2019. - B. 55-59 betlar (05.00.00; №10).

34. I.X.Siddikov, X.E.Xujamatov, D.T.Hasanov, E.N.Reypnazarov, T.Q.Toshtemirov. Telekommunikatsiya tizimlarining avtomatik boshqariluvchi quyosh energiya ta'minotini IoT modellari asosida tadqiq etish // "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. - №2(12), 2020. - B.52-58 (05.00.00; №10).

35. Khujamatov Halim, Ernazar Reypnazarov, Amir Lazerov. Modern methods of testing and information security problems in IoT // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies, Volume 4, December 2021. (OAK Rayosatining 30.07.2020-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).

36. I.X. Siddikov, X.E.Xujamatov, M.T.Maqsudov, G.E.Saidova, M.A.Anarbayev. Telekommunikatsiya va axborot kommunikatsi texnologiyalari obyektlari va qurilmalarining energiya manbalarini monitoring va boshqaruvi // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. - №3(9), 2019. - B. 106-109. (05.00.00; №10).

37. X.Э.Хужаматов. Н.М.Ахмедов, А.П.Лазарев, М.К.Кудратхонова. Беспроводные персональные сети как средства реализации решений Умного города. “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnal. - №4(18), 2021. -B. 56-66. (05.00.00; №10).

38. Siddikov I.K., Khujamatov K.E., Temirov A. A. Models for Determination of Maximum Power in Compatible Management of Hybrid Energy Sources. Journal of Ethics and Diversity in International Communication. Volume 2, Issue 3, - p.p.105–121. (05.00.00; IF:7,8).

39. Xujamatov X.E., Hasanov D.T., Reygnazarov E.N., Isaqov A.F. Energiya ta‘minoti manbalarining masofadan monitoring tizimida qo‘llaniluvchi simsiz sensor tarmoqlarni tadqiq etish. “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” Ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnal. 2(20)/2022. 96-104 betlar.

II-bo‘lim (II chast; II part).

40. Kh.Khujamatov, D. Khasanov, E. Reygnazarov, N. Akhmedov. Networking and Computing in Internet of Things and Cyber-Physical Systems // The 14th IEEE International Conference Application of Information and Communication Technologies, 07-09 October 2020, Tashkent, Uzbekistan. **(Scopus)**.

41. Sobiya Arsheen, Abdul Wahid, Khaleel Ahmad, Kh.Khujamatov. Flying Ad hoc Network Expedited by DTN Scenario: Reliable and Cost-effective MAC Protocols Perspective // The 14th IEEE International Conference Application of Information and Communication Technologies, 07-09 October 2020, Tashkent, Uzbekistan. **(Scopus)**.

42. I.Siddikov, H.Khujamatov, A.Temirov, E.Reygnazarov, D.Khasanov. Analysis of Energy Efficiency Indicators in IoT-based Systems. International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2022, Tashkent, Urgench, Uzbekistan - 2022. p.p. 1-6. **(Scopus)**.

43. I.Siddikov, H.Khujamatov, A.Temirov, E.Reygnazarov, D.Khasanov. Analysis of Data Processing Methods in IoT-based Systems. International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2022, Tashkent, Urgench, Uzbekistan - 2022. p.p. 1-6. **(Scopus)**.

44. I.Siddikov, H.Khujamatov, D.Khasanov, E.Reygnazarov. Possibilities and Importance of using Artificial Intelligence Technologies in Smart Grid Systems. International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2022, Tashkent, Urgench, Uzbekistan - 2022. p.p. 1-6. **(Scopus)**.

45. I.Siddikov, H.Khujamatov, D.Khasanov, E.Reygnazarov, A.Iminov. Analyse Wireless Sensor Network Structures for Intellectual Monitoring System. International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2022, Tashkent, Urgench, Uzbekistan - 2022. p.p. 1-6. **(Scopus)**.

46. I.Siddikov, H.Khujamatov, D.Khasanov, E.Reybnazarov, A.Iminov. Data Transfer Methods and Algorithms in Wireless Sensor Networks for IoT-based Remote Monitoring System of Hybrid Energy Supply Sources. International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2022, Tashkent, Urgench, Uzbekistan - 2022. p.p. 1-6. **(Scopus)**.

47. N.Akhmedov, H.Khujamatov, B.Maxkamov, A.Lazarev. Development of a security system based on Zigbee devices. International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2022, Tashkent, Urgench, Uzbekistan - 2022. p.p. 1-6. **(Scopus)**.

48. N.Akhmedov, H.Khujamatov, B.Maxkamov, J.Khoshimov, A.Lazarev. Wireless sensor networks communication protocols. International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2022, Tashkent, Urgench, Uzbekistan - 2022. p.p. 1-6. **(Scopus)**.

49. K.Khujamatov, T.Toshtemirov. Analysis of the Internet of Things in the process of remote monitoring. International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2022, Tashkent, Urgench, Uzbekistan - 2022. p.p. 1-6. **(Scopus)**.

50. X.E.Xujamatov, Sh.B. Olimova. IoT texnologiyasi asosida telekommunikatsiya tizimlarining gibridd energiya ta'minoti manbalarini adaptiv boshqarish // Iqtisodiyotning tarmoqlarini innovatsion rivojlanishida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini ahamiyati Respublika ilmiy-texnik anjumanning ma'ruzalar to'plami. 3-qism. Toshkent - 2019. -B.172-174.

51. X.E.Xujamatov, X.S. Xasanov. Telekommunikatsiya tizimlarining gibridd energiya ta'minoti manbalarini adaptiv boshqaruvini masofali monitoringi // Iqtisodiyotning tarmoqlarini innovatsion rivojlanishida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini ahamiyati Respublika ilmiy-texnik anjumanning ma'ruzalar to'plami. 3-qism. Toshkent - 2019. -B.174-177.

52. I.X. Siddikov, X.E.Xujamatov, Sh.B. Olimova, X.S. Xasanov. Telekommunikatsiya tizimlarining gibridd energiya ta'minoti manbalarini adaptiv boshqaruv jarayonini masofali monitoringi // "Harbiy aloqa tizimida axborot - kommunikatsiya texnologiyalari muammolari" mavzusida Respublika ilmiy-texnik konferensiyasi maqolalar to'plami. Toshkent - 2019. -B. 361-371.

53. I.X. Siddikov, X.E.Xujamatov, D.T. Xasanov, Ye.N. Reybnazarov. Telekommunikatsiya tizimlarining shamol energiya ta'minoti manbalari // "Fan, ta'lim va ishlab chiqarish integratsiyasida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini qo'llashning hozirgi zamon masalalari" Respublika ilmiy-texnik anjumanining ma'ruzalar to'plami. Nukus-2019. -B.315-318.

54. X.E.Xujamatov, D.T. Xasanov, Ye.N. Reybnazarov. Simsiz sensor tarmoq orqali telekommunikatsiya obyektlarining shamol energiya ta'minoti manbalarini masofaviy monitoringi // "Iqtisodiyotning tarmoqlarini innovatsion rivojlanishida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini ahamiyati" Respublika ilmiy-texnik anjumanining ma'ruzalar to'plami. Toshkent-2020. -B.246-249.

55. X.E.Xujamatov, D.T. Xasanov, Ye.N. Reybnazarov. Telekommunikatsiya obyektlari elektr ta'minoti manbalarini masofaviy monitoring tizimini qurilish tamoyillari // "Iqtisodiyotning tarmoqlarini innovatsion rivojlanishida axborot-

kommunikatsiya texnologiyalarini ahamiyati” Respublika ilmiy-texnik anjumanining ma’ruzalar to‘plami. Toshkent-2020. -B.249-251.

56. X.Xujamatov, Z.Lutfullaeva. Wireless sensor network topology and machining methods in 5G-based D2D communication // International Conference on Advance Research in Humanities, Sciences and Education. London – 2023. -p.p. 135-140.

57. И.Х. Сиддиқов, Х.Э.Хужаматов, А.Б.Абубакиров, Д.Т. Хасанов. Алгоритм и программное обеспечение уменьшения потер электрической энергии в силовом трансформаторе // Свидетельство об офитсиальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан. №DGU 06460, 17.05.2019.

58. И.Х. Сиддиқов, Х.Э.Хужаматов, А.Б.Абубакиров, Д.Т. Хасанов, М.А.Мухитдинов. Алгоритм и программное обеспечение расчета срока окупаемости внедрения источников реактивной мощности в системах электроснабжения // Свидетельство об офитсиальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан. №DGU 06465, 17.05.2019.

59. И.Х. Сиддиқов, Х.Э.Хужаматов, Д.Т. Хасанов, Е.Н. Рейпназаров. Программное обеспечение дистанционного мониторинга источников солнечной энергии телекоммуникационных систем // Свидетельство об офитсиальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан. №DGU 09989, 13.01.2021.

60. X.Xujamatov, M.M. Abdullayev, S.O. Mahmudov. Taqsimlangan bulutli ma’lumot markazining virtual hisoblash resurslarini shakllantirish algoritmining dasturiy ta’minoti // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. №DGU 13245. 25.11.2021.

61. X.Xujamatov, M.M. Abdullayev, S.O. Mahmudov. Taqsimlangan bulutli ma’lumot markazi axborot resurslarining ishonchliligini oshirish algoritmining dasturiy ta’minoti // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. №DGU 13245. 25.11.2021.

62. X.Xujamatov, Y.Reypnazarov, N.Musaboyeva, J.Aripov. Simsiz sensor tarmoqlarining ishonchliligini tadqiq qilish dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. №DGU 14860. 05.03.2022.

63. I.X. Siddikov, X.E.Xujamatov, D.T. Xasanov, Ye.N. Reypnazarov. Telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiya ta’minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringi uzatish qurilmasining dasturiy ta’minoti

// O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. №DGU 27244. 06.09.2023.

64. I.X. Siddikov, X.E.Xujamatov, D.T. Xasanov, Ye.N. Reypnazarov. IoT asosida telekommunikatsiya qurilmalari gibrid energiyata‘minoti manbalarini avtomatlashtirilgan monitoringi qabullash qurilmasining va web interfeysga ma‘lumotlarni taqdim etishning dasturiy ta‘minoti // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. №DGU 27245. 06.09.2023.

65. I.X. Siddikov, X.E.Xujamatov, D.T. Xasanov, Ye.N. Reypnazarov. Gibrid energiya ta‘minoti manbalarining elektr energiya sarfini bashorat qilish dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. №DGU 27995. 11.10.2023.

Avtoreferat “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy jurnali tahriryatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz tillari matnlarni mosligi tekshirildi (03.01.2024 y.).

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturası.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i: 4,25. Adadi 100 dona. Buyurtma № 71/23.

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko‘chasi, 83-uy.