ISNN 3030-3907

2026/2
VOLUME 3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/2 VOLUME 3

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ENERGETIKA TIZIMLARINI RAQAMLASHTIRISH ORQALI SAMARADORLIKNI OSHIRISH VA AQLLI BOSHQARUVNI JORIY ETISH

Xushboqov Baxtiyor Xudoymurodovich
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti dotsenti, t.f.n.
Qurbonazarov Suhrob Erkin o‘g‘li
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti katta o‘qituvchisi
Abzoirov Elbek Akram o‘g‘li
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti talabasi
E-mail: elbekabzoirov@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada energetika tizimlarini raqamlashtirish orqali energiya samaradorligini oshirish va aqlli boshqaruv mexanizmlarini joriy etish masalalari kompleks tarzda tahlil qilingan. Tadqiqotda Smart Grid konsepsiyasi, aqlli hisoblagichlar, IoT sensorlar, raqamli nimstansiyalar, sun’iy intellekt, katta hajmdagi ma’lumotlarni tahlil qilish hamda blokcheyn texnologiyalarining zamonaviy elektroenergetika tizimlaridagi o‘rni va ahamiyati yoritilgan. Maqolada xalqaro tajriba asosida raqamli energetika rivojlanishining asosiy yo‘nalishlari ko‘rib chiqilib, Yevropa Ittifoqi, AQSh, Xitoy va Rossiya misolida aqlli tarmoqlarni joriy etish natijasida energiya yo‘qotishlarini kamaytirish, tarmoq ishonchliligini oshirish va operatsion xarajatlarni qisqartirish imkoniyatlari tahlil qilingan. Shuningdek, maqolada import o‘rnini bosish sharoitida mahalliy ishlab chiqaruvchilarning raqamli elektr texnikasi, xususan, aqlli avtomatik o‘chirgichlar, raqamli monitoring va prediktiv diagnostika tizimlarining sanoat korxonalarida qo‘llanishi tahlil qilinadi [5]. Raqamli tok transformatorlari va optik o‘lchash texnologiyalari asosida qurilgan raqamli nimstansiyalarning an’anaviy tizimlarga nisbatan afzalliklari, o‘lchash aniqligi va energiya yo‘qotishlarini kamaytirishdagi roli ilmiy-texnik jihatdan asoslab berilgan [1, 2, 6]. Tadqiqot natijalari energetika tizimlarini modernizatsiya qilish, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini samarali integratsiya qilish, energiya xavfsizligini ta’minlash va raqamli energetika sohasida barqaror rivojlanishga erishishda muhim amaliy ahamiyatga ega [3].

Kalit so‘zlar: raqamli energetika, Smart Grid, aqlli boshqaruv, aqlli hisoblagichlar, IoT sensorlar, raqamli nimstansiya, raqamli tok transformatorlari, blokcheyn, prosumerlar (elektr energiyasini o‘zi ishlab chiqarib (masalan, quyosh panellari yoki shamol generatorlari orqali), bir qismini o‘zi iste’mol qiladigan va ortiqcha energiyani elektr tarmog‘iga sotadigan foydalanuvchidir), raqamlashtirilgan elektr stansiya, energiya samaradorligi, import o‘rnini bosish, prediktiv monitoring.

Аннотация. В данной статье комплексно проанализированы вопросы повышения энергоэффективности и внедрения интеллектуальных механизмов управления путем цифровизации энергетических систем. В

ISSN 3030-3907

исследовании раскрыта роль и значение концепции Smart Grid, интеллектуальных счетчиков, IoT-датчиков, цифровых подстанций, искусственного интеллекта, анализа больших данных и блокчейн-технологий в современных электроэнергетических системах. В статье на основе международного опыта рассмотрены основные направления развития цифровой энергетики, а также проанализированы возможности снижения потерь электроэнергии, повышения надежности сетей и сокращения эксплуатационных затрат в результате внедрения интеллектуальных сетей на примере Европейского союза, США, Китая и России. Кроме того, в условиях импортозамещения исследуется применение цифровой электротехнической продукции отечественных производителей, в частности интеллектуальных автоматических выключателей, систем цифрового мониторинга и предиктивной диагностики на промышленных предприятиях [5]. Научно и технически обоснованы преимущества цифровых подстанций, построенных на основе цифровых трансформаторов тока и оптических измерительных технологий, по сравнению с традиционными системами, а также их роль в повышении точности измерений и снижении потерь электроэнергии [1, 2, 6]. Результаты исследования имеют важное практическое значение для модернизации энергетических систем, эффективной интеграции возобновляемых источников энергии, обеспечения энергетической безопасности и достижения устойчивого развития в сфере цифровой энергетики [3].

Ключевые слова: цифровая энергетика, Smart Grid, интеллектуальное управление, интеллектуальные счетчики, IoT-датчики, цифровая подстанция, цифровые трансформаторы тока, блокчейн, просьюмеры (пользователи, которые самостоятельно производят электроэнергию, например с помощью солнечных панелей или ветровых генераторов, частично потребляют ее и продают излишки в электрическую сеть), цифровая электростанция, энергоэффективность, импортозамещение, предиктивный мониторинг.

Abstract. This article provides a comprehensive analysis of issues related to increasing energy efficiency and implementing intelligent management mechanisms through the digitalization of energy systems. The study highlights the role and importance of the Smart Grid concept, smart meters, IoT sensors, digital substations, artificial intelligence, big data analytics, and blockchain technologies in modern electric power systems. Based on international experience, the article examines the main directions of digital energy development and analyzes the possibilities of reducing energy losses, improving grid reliability, and decreasing operational costs through the implementation of smart grids, using the examples of

ISSN 3030-3907

the European Union, the United States, China, and Russia. In addition, under import substitution conditions, the application of digital electrical equipment produced by domestic manufacturers—particularly smart circuit breakers, digital monitoring systems, and predictive diagnostic technologies in industrial enterprises—is analyzed [5]. The advantages of digital substations based on digital current transformers and optical measurement technologies compared to conventional systems, as well as their role in improving measurement accuracy and reducing energy losses, are scientifically and technically substantiated [1, 2, 6]. The research results have significant practical importance for the modernization of energy systems, effective integration of renewable energy sources, ensuring energy security, and achieving sustainable development in the field of digital energy [3].

Keywords: digital energy, Smart Grid, intelligent management, smart meters, IoT sensors, digital substation, digital current transformers, blockchain, prosumers (users who generate electricity themselves, for example through solar panels or wind turbines, consume part of it, and sell excess energy to the grid), digital power plant, energy efficiency, import substitution, predictive monitoring.

KIRISH

Bugungi kunda elektr energetika tizimlari global iqtisodiyot va sanoat infratuzilmasining eng muhim tayanch tarmoqlaridan biri hisoblanadi. Aholi sonining ortib borishi, sanoat ishlab chiqarish hajmlarining kengayishi, urbanizatsiya jarayonlari hamda raqamli iqtisodiyotning jadal rivojlanishi elektr energiyasiga bo‘lgan talabning barqaror oshishiga olib kelmoqda [5, 6]. Shu bilan birga, an’anaviy energetika tizimlarida yuqori texnik va tijorat yo‘qotishlari, uskunalarning eskirishi, boshqaruv jarayonlarining murakkabligi va inson omiliga kuchli bog‘liqlik energiya tizimlarining samaradorligini pasaytiruvchi asosiy omillar sifatida namoyon bo‘lmoqda [3, 4, 7].

So‘nggi yillarda global miqyosda kuzatilayotgan energetik o‘tish jarayoni - qayta tiklanuvchi energiya manba (quyosh, shamol va boshqa) larining keng joriy etilishi, markazlashgan va markazlashmagan generatsiyaning rivojlanishi, shuningdek, iste’molchilarning prosumerlarga aylanishi elektr energetika tizimlarining yangi arxitekturasini shakllantirmoqda. Bunday sharoitda energiya oqimlarini real vaqt rejimida monitoring qilish, boshqarish va muvozanatlash imkonini beruvchi raqamli texnologiyalarni joriy etish dolzarb ilmiy-amaliy vazifaga aylanmoqda.

Energetika tizimlarini raqamlashtirish Smart Grid konsepsiyasiga asoslanib, aqlli hisoblagichlar, IoT sensorlar, SCADA va DMS tizimlari, raqamli nimstansiyalar, sun’iy intellekt va katta hajmdagi ma’lumotlarni tahlil qilish texnologiyalarini integratsiyalashni nazarda tutadi [2]. Xalqaro tajriba shuni

ISSN 3030-3907

ko‘rsatadiki, ushbu texnologiyalarni joriy etish elektr tarmoqlarida yo‘qotishlarni sezilarli darajada kamaytirish, avariyalarni erta aniqlash, ekspluatatsiya xarajatlarini qisqartirish va energiya ta’minoti ishonchliligini oshirish imkonini beradi [4, 7].

Shu bilan birga, raqamli energetikaning keyingi bosqichi sifatida blokcheyn texnologiyalariga asoslangan aqlli boshqaruv va birja mexanizmlari shakllanmoqda. Blokcheyn yechimlari elektroenergetikada peer-to-peer (ishlab chiqaruvchidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri iste’molchiga yetkaziluvchi) energiya savdosi, raqamlashtirilgan elektr stansiyalarni boshqarish, ekologik sertifikatlarni yuritish va prosumerlar o‘rtasida to‘g‘ridan-to‘g‘ri shaffof hisob-kitoblarni amalga oshirish imkonini bermoqda.

So‘nggi geosiyosiy va iqtisodiy sharoitlar, xususan, xorijiy elektrtexnika brendlarining ayrim bozorlarni tark etishi elektroenergetika sohasida servis va texnik ta’minot muammolarini yuzaga keltirdi. Bu holat mahalliy ishlab chiqaruvchilar tomonidan import o‘rnini bosuvchi raqamli elektrotexnik uskunalar, aqlli avtomatik o‘chirgichlar, raqamli monitoring va prediktiv diagnostika tizimlarini ishlab chiqish va joriy etishni jadallashtirdi. Sanoat korxonalarida bunday texnologiyalarning qo‘llanilishi avariyaviy holatlarni oldindan aniqlash, uskunalarning xizmat muddatini uzaytirish va ishlab chiqarishdagi iqtisodiy yo‘qotishlarni kamaytirishga xizmat qilmoqda [4, 7].

Raqamli energetika infratuzilmasining muhim tarkibiy qismi bo‘lgan raqamli nimstansiyalarda o‘rnatiluvchi raqamli tok transformatorlari energiya tizimlarida o‘lchash aniqligi, ishonchlilik va axborot almashinuvi sifatini yangi bosqichga olib chiqmoqda [1, 5, 6]. Optik va elektron tok transformatorlariga asoslangan raqamli o‘lchash tizimlari elektromagnit ta’sirlarga chidamliligi, sinxron o‘lchash imkoniyati va kichik xatolik darajasi bilan an’anaviy analog tizimlardan ustun hisoblanadi. Bu esa Smart Grid va aqlli boshqaruv tizimlarining samarali ishlashi uchun mustahkam texnik asos yaratadi.

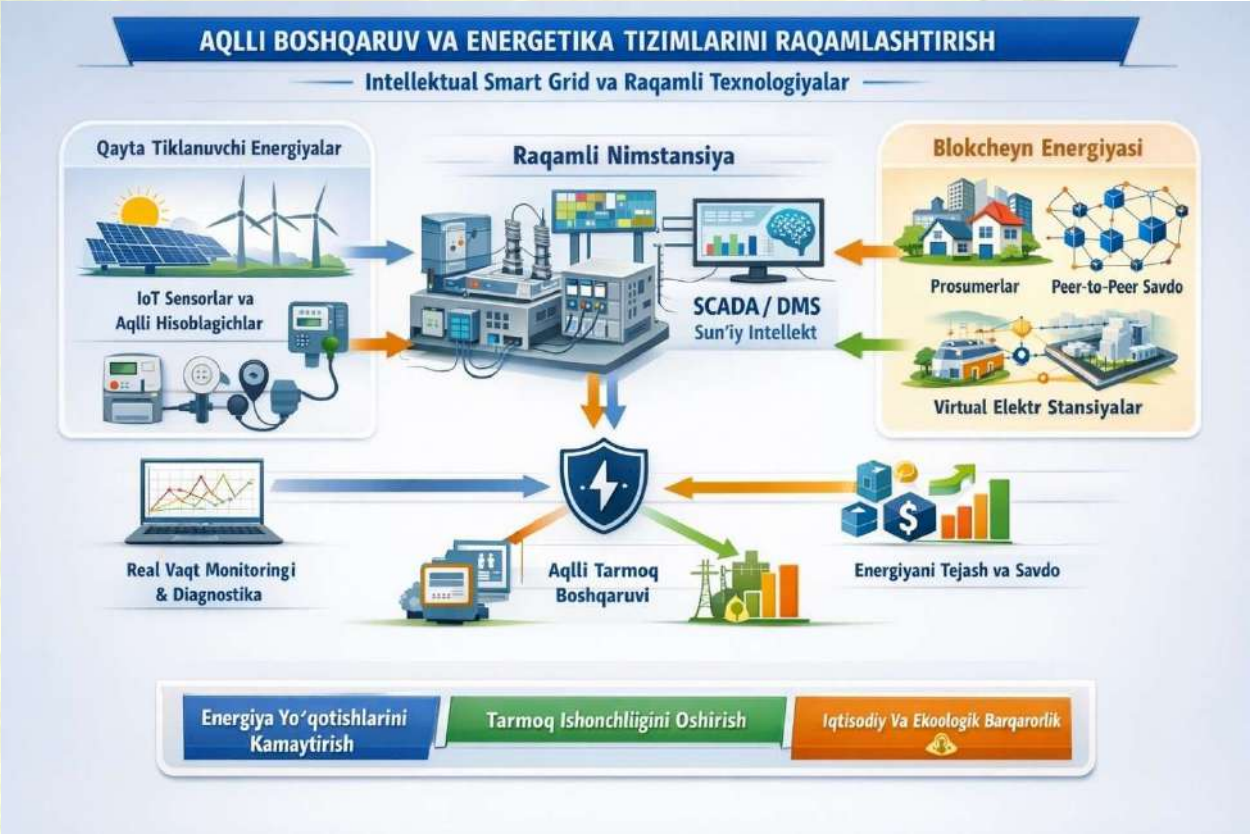
Shu sababli, energetika tizimlarini raqamlashtirish orqali samaradorlikni oshirish va aqlli boshqaruvni joriy etish masalalarini ilmiy va amaliy jihatdan tahlil qilish, mavjud texnologiyalar imkoniyatlarini baholash hamda ularni joriy etish istiqbollarini aniqlash mazkur maqolaning asosiy maqsadini tashkil etadi [3].

MATERIAL VA METODLAR

Mazkur maqola energetika tizimlarini raqamlashtirish orqali samaradorlikni oshirish va aqlli boshqaruv texnologiyalarini joriy etishning texnik, iqtisodiy hamda funksional afzalliklarini baholashga qaratilgan. Tadqiqot metodologiyasi kompleks yondashuvga asoslanib, nazariy tahlil, amaliy tajribalarni umumlashtirish, taqqoslash va tahliliy baholash usullarini o‘z ichiga oladi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot jarayonida energetika tizimlarining raqamli transformatsiyasi Smart Grid konsepsiyasi doirasida ko‘rib chiqildi [5, 6]. Bunda aqlli hisoblagichlar, IoT sensorlar, SCADA va DMS tizimlari, raqamli nimstansiyalar, raqamli tok transformatorlari hamda blokcheyn texnologiyalarining energetika tizimlari samaradorligiga ta’siri o‘rganildi [2]. Metodik asos sifatida xalqaro va milliy miqyosda e’tirof etilgan ilmiy tadqiqotlar, tahliliy hisobotlar va sanoat amaliyotlari ma’lumotlari tanlandi [1, 3].



1-rasm. Aqlli boshqaruv va energetika tizimlarini raqamlashtirish

Ma’lumotlar bazasini shakllantirishda elektroenergetikada raqamlashtirish bo‘yicha xalqaro tajribalar, xususan, Smart Grid va aqlli tarmoqlarni joriy etish natijalari, shuningdek, blokcheyn texnologiyalarining energetika sohasidagi qo‘llanilishiga oid analitik materiallar asos qilib olindi. Ushbu manbalar orqali peer-to-peer (ishlab chiqaruvchidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri iste’molchiga yetkaziluvchi) energiya savdosi, prosumerlar faoliyati va raqamlashtirilgan elektr stansiyalarni boshqarish modellari konseptual jihatdan tahlil qilindi.

Shuningdek, tadqiqotda sanoat korxonalarida raqamli elektrotexnika uskunalarini joriy etish bo‘yicha amaliy tajribalar o‘rganildi. Xususan, import o‘rnini bosuvchi aqlli avtomatik o‘chirgichlar, raqamli monitoring va prediktiv diagnostika tizimlarining avariyalarni oldindan aniqlash, energiya ta’minoti ishonchliligini oshirish va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirishdagi samaradorligi baholandi [3, 6].

ISSN 3030-3907

Texnik tahlil qismida raqamli nimstansiyalar va raqamli tok transformatorlarining an’anaviy analog o‘lchash tizimlariga nisbatan afzalliklari o‘rganildi [8, 9, 10, 11]. Optik va elektron tok transformatorlarida Faradey effekti asosida amalga oshiriladigan o‘lchash jarayonlari, ularning aniqlik darajasi, elektromagnit ta’sirlarga chidamliligi va real vaqt rejimida ma’lumot uzatish imkoniyatlari metrologik tahlil usullari yordamida baholandi.

Natijalarni baholashda tizimli tahlil va taqqoslash usullaridan foydalanilib, raqamlashtirishdan oldingi va keyingi holatlarda energiya yo‘qotishlari, avariyalar chastotasi, xizmat ko‘rsatish va ekspluatatsiya xarajatlaridagi o‘zgarishlar solishtirildi. Ushbu metodlar energetika tizimlarini raqamlashtirishning real samaralarini aniqlash hamda aqlli boshqaruv texnologiyalarini joriy etish istiqbollarini ilmiy asosda baholash imkonini berdi [3, 4, 7].

Energetika tizimlarini raqamlashtirishning samaradorligini baholash maqsadida an’anaviy va raqamlashtirilgan (Smart Grid asosidagi) energetika tizimlarining asosiy texnik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlari taqqoslandi. Taqqoslash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Amaldagi va raqamlashtirilgan (Smart Grid asosidagi) energetika tizimlarining asosiy texnik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkichlar	Amaldagi tizim	Raqamli (Smart Grid)
Texnik yo‘qotishlar	18–25 %	8–12 %
Avariyani aniqlash vaqti	Soatlar	Daqiqalar
O‘lchash aniqligi	Kichik	Yuqori (0,03 %)
Monitoring	Qisman	Real vaqt
Qayta tiklanuvchi energiya integratsiyasi	Cheklangan	Yuqori

NATIJALAR

O‘tkazilgan tadqiqot natijalari energetika tizimlarini raqamlashtirish energiya samaradorligini sezilarli darajada oshirishini tasdiqladi [3]. Smart Grid texnologiyalarini joriy etish elektr energiyasini uzatish va taqsimlash jarayonlarida real vaqt rejimida monitoring va boshqaruvni ta’minlab, texnik yo‘qotishlarni 1,5–2 baravar (2-jadval) kamaytirish imkonini beradi [4, 7]. Xalqaro va mahalliy sanoat amaliyoti tahlili shuni ko‘rsatdiki, raqamlashtirilgan tarmoqlarda avariyalarni aniqlash va bartaraf etish vaqti an’anaviy tizimlarga nisbatan bir necha baravar qisqaradi, bu esa elektr ta’minoti ishonchliligini sezilarli darajada oshiradi (2-jadval).

ISSN 3030-3907

2-jadval

Ko‘rsatkich	Amaldagi tizim	Smart Grid	Farq (%)
Elektr uzilishmiqdori	100 %	60 %	-40 %
Real vaqt monitoringi yo‘qligi	Mavjud emas	Mavjud	-
Tezkor avtomatik tuzatish	Mavjud emas	Mavjud	-
Energiyani boshqarish samaradorligi	Past	Yuqori	↑

Raqamli nimstansiyalar asosida tashkil etilgan o‘lchash va boshqaruv tizimlari an’anaviy analog nimstansiyalarga nisbatan yuqori aniqlik va sinxronlikni ta’minlashi aniqlandi [2]. Raqamli tok transformatorlari, xususan, Faradey effekti asosida ishlovchi elektron o‘lchash texnologiyalariga asoslangan qurilmalar elektromagnit ta’sirlarga chidamliligi va keng o‘lchash diapazoni bilan ajralib turadi [1]. Ilmiy-texnik hisob-kitoblar va eksperimental natijalarga ko‘ra, bunday transformatorlarda tokni o‘lchash xatoligi 0,03% atrofida bo‘lib, bu energiyani tijorat hisobga olish, rele himoyasi va avtomatika tizimlarida yuqori aniqlikni ta’minlaydi.

Raqamli nimstansiyalarda o‘lchash tizimlarining aniqligi aqlli boshqaruv samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir [3]. Shu munosabat bilan turli texnologiyalarga asoslangan tok transformatorlarining aniqlik ko‘rsatkichlari tahlil qilindi (3-jadval) [8, 9, 10, 11].

3-jadval

Turli tok transformatorlari texnologiyalarining aniqlik ko‘rsatkichlari

Texnologiya	Aniqlik sinfi (%)
An’anaviy elektromagnit tok transformatori (TT)	0,5 – 1
Elektron TT	0,1 – 0,2
Optik TT (Faradey effekti)	0,03

3-jadval natijalari shuni ko‘rsatadiki, optik va elektron tok transformatorlari an’anaviy elektromagnit tok transformatorlariga nisbatan ancha yuqori aniqlikni ta’minlaydi. Ayniqsa, Faradey effekti asosida ishlovchi raqamli tok transformatorlarining 0,03% atrofidagi o‘lchash xatoligi energiyani tijorat hisobga olish va rele himoyasi tizimlari uchun yuqori ishonchlilikni ta’minlaydi [1].

Sanoat korxonalarida raqamli monitoring va prediktiv diagnostika tizimlarini joriy etish ishlab chiqarish jarayonlarining uzluksizligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etishi aniqlandi (4-jadval). Aqlli sensorlar va raqamli avtomatik o‘chirgichlar yordamida elektr uskunalaridagi nosozliklar dastlabki bosqichdayoq aniqlanib, rejalashtirilmagan to‘xtashlar kamayadi. Amaliy tahlil natijalari bunday yondashuv texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini qisqartirish,

ISSN 3030-3907

uskunalarning xizmat muddatini uzaytirish va avariyalar bilan bog‘liq iqtisodiy yo‘qotishlarni kamaytirishga xizmat qilishini ko‘rsatdi.

4-jadval

Raqamlashtirilgan tarmoqlar (Smart Grid) va amaldagi tizimlar o‘rtasidagi avariya aniqlash va bartaraf etish vaqtlari

Ko‘rsatkich	Amaldagi elektr tarmog‘i	Raqamlashtirilgan (Smart Grid)	Ta’sir/Izoh
Nosozliklarni aniqlash vaqti	Asosan qo‘lda boshqariluvchi monitoring va uzilishlar haqida foydalanuvchilar xabari asosida	Real vaqt monitoring (SCADA/OMS/DMS) orqali avtomatik aniqlash	Raqamlashtirish tufayli uzilishlar va xatolar tezroq aniqlanadi
Avariya bartaraf etish va tiklash vaqti	Nisbatan uzoq davom etadi (soatlar → kunlar)	Avtomatlashtirilgan boshqaruv, real vaqt uzluksiz malware-monitoring va FLISR singari sistemalar yordamida qisqaradi	Smart Grid self-healing imkoniyati uzilishlarni tezroq yo‘qotadi
Tarmoq ishonchliligi indeksi (masalan, SAIDI)	Yuqori SAIDI - mijoz boshiga uzilish vaqti an’anaviy holda ko‘proq (bir necha soatdan ko‘proq)	SAIDI indeksini pastga tushiradi — qisqa uzilish vaqtlari (raqamli boshqaruv tufayli sezilarli yaxshilanish)	Raqamli boshqaruv uzilish vaqtini kamaytiradi va ishonchlilikni oshiradi
Real vaqt reaktsiya imkoniyati	Past — ko‘pincha kechikkan xabarlar, qo‘lda detektlash	Yuqori — avtomatik va tezkor detektlash va bartaraf etish	Smart Grid tizimlari real vaqt ma’lumotiga asoslanadi

Shuningdek, blokcheyn texnologiyalariga asoslangan aqlli boshqaruv modellarining qo‘llanilishi energetika tizimlarida yangi imkoniyatlarni ochib berishi aniqlandi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, blokcheyn yechimlari peer-to-peer (ishlab chiqaruvchidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri iste’molchiga yetkaziluvchi) energiya savdosini tashkil etish, prosumerlar ishtirokini faollashtirish hamda raqamlashtirilgan elektr stansiyalarni boshqarishda shaffoflik va ishonchlilikni ta’minlaydi. Bu esa energiya bozorlarida hisob-kitob jarayonlarini soddalashtirish,

ISSN 3030-3907

tranzaksion xarajatlarni kamaytirish va energiya oqimlarini aqlli boshqarish imkonini beradi.

Umuman olganda, olingan natijalar energetika tizimlarini raqamlashtirish, raqamli nimstansiyalar va aqlli boshqaruv texnologiyalarini joriy etish energiya samaradorligini oshirish, tarmoq ishonchliligini ta’minlash hamda zamonaviy raqamli energetika infratuzilmasini shakllantirish uchun samarali vosita ekanligini ko‘rsatdi [2, 3].

MUHOKAMALAR

Xalqaro tajriba tahlili shuni tasdiqlaydiki, Smart Grid texnologiyalarini va raqamli nimstansiyalarni joriy etish elektr energiyasi oqimlarini real vaqt rejimida kuzatish va boshqarish imkonini berib, energetika tizimlarining barqarorligi va moslashuvchanligini sezilarli darajada oshiradi. Bu holat, ayniqsa, qayta tiklanuvchi energiya manbalarining ulushi ortib borayotgan sharoitda energiya balansini saqlash va tarmoq rejimlarini optimallashtirish uchun muhim texnik asos yaratadi.

Tadqiqot natijalarida aniqlangan raqamli nimstansiyalarda ishlatiladigan raqamli tok transformatorlarining yuqori aniqligi hamda elektromagnit ta’sirlarga chidamliligi aqlli boshqaruv tizimlarining samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi [1, 2]. Optik va elektron tok transformatorlariga asoslangan o‘lchash tizimlari sinxronlik va kichik xatolik darajasi bilan ajralib, rele himoyasi, avtomatika va energiyani tijorat hisobga olish tizimlarining ishonchliligini oshiradi. Ushbu jihatlar raqamli energetika infratuzilmasini shakllantirishda texnik poydevor vazifasini bajaradi.

Peer-to-peer (ishlab chiqaruvchidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri iste’molchiga yetkaziluvchi) energiya savdosi, prosumerlar faoliyati va raqamlashtirilgan elektr stansiyalarni boshqarish imkoniyatlari energiya oqimlarini markazlashmagan holda, shaffof va ishonchli tarzda boshqarishga xizmat qiladi. Bu esa an’anaviy energiya bozorlaridagi tranzaksion xarajatlarni kamaytirish va iste’molchilar rolini faol ishtirokchiga aylantirishga zamin yaratadi.

Shu bilan birga, tadqiqot natijalari raqamlashtirish jarayonining ayrim cheklovlarini ham ko‘rsatib beradi. Yuqori boshlang‘ich investitsiya xarajatlari, kiberxavfsizlik tahdidlari, ma’lumotlarni himoyalash zarurati hamda raqamli texnologiyalar bilan ishlay oladigan malakali mutaxassislar yetishmasligi raqamli energetika loyihalarini joriy etishda muhim muammolar sifatida namoyon bo‘lmoqda. Biroq xalqaro va sanoat amaliyoti shuni ko‘rsatadiki, ushbu muammolarni tizimli yondashuv, me’yoriy-huquqiy bazani takomillashtirish va kadrlar tayyorlash orqali bartaraf etish mumkin.

ISSN 3030-3907

Uzoq muddatli istiqbolda energetika tizimlarini raqamlashtirish energiya yo‘qotishlarini kamaytirish, ekspluatatsiya va texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini qisqartirish, energiya xavfsizligini oshirish hamda ekologik barqarorlikni ta’minlash hisobiga iqtisodiy jihatdan o‘zini to‘liq oqlashi kutiladi. Shu bois, energetika tizimlarini raqamlashtirish va aqlli boshqaruv texnologiyalarini joriy etish zamonaviy energetikaning strategik yo‘nalishi bo‘lib, u raqamli iqtisodiyot sharoitida barqaror rivojlanishni ta’minlash uchun muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

XULOSA

Mazkur tadqiqot natijalari energetika tizimlarini raqamlashtirish va aqlli boshqaruv texnologiyalarini joriy etish zamonaviy elektroenergetikaning barqaror va samarali rivojlanishini ta’minlashda muhim strategik ahamiyatga ega ekanligini tasdiqladi.

Smart Grid konsepsiyasiga asoslangan raqamli transformatsiya energiya ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash jarayonlarini real vaqt rejimida monitoring qilish va boshqarish imkonini berib, energiya yo‘qotishlarini sezilarli darajada kamaytiradi hamda elektr ta’minoti ishonchliligini oshiradi.

Raqamli nimstansiyalar va raqamli tok transformatorlariga asoslangan o‘lchash va boshqaruv tizimlari an’anaviy analog qurilmalarga nisbatan yuqori aniqlik, sinxronlik va elektromagnit ta’sirlarga chidamlilik bilan ajralib turadi [1, 2, 8, 9, 10, 11]. Optik va elektron tok transformatorlarida o‘lchash xatoligining juda past darajada bo‘lishi energiyani tijorat hisobga olish, rele himoyasi va avtomatika tizimlarining samarali ishlashi uchun mustahkam texnik asos yaratadi. Bu esa raqamli energetika infratuzilmasining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi.

Sanoat korxonalarida raqamli monitoring va prediktiv diagnostika tizimlarining qo‘llanilishi uskunalarning rejalashtirilmagan to‘xtashlarini kamaytirish, texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini qisqartirish va ishlab chiqarish jarayonlarining uzluksizligini ta’minlashda muhim natijalar berishi aniqlandi. Import o‘rnini bosuvchi mahalliy raqamli elektrtexnika uskunalarining rivojlanishi esa energetika sohasida texnologik mustaqillikni oshirish va milliy raqamli energetika bozorini shakllantirish uchun muhim omil bo‘lib xizmat qiladi.

Blokcheyn texnologiyalariga asoslangan yechimlar energiya tizimlarida yangi boshqaruv va iqtisodiy mexanizmlarni shakllantirish imkonini berishi bilan ajralib turadi. Peer-to-peer (ishlab chiqaruvchidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri iste’molchiga yetkaziluvchi) energiya savdosi, prosumerlar ishtiroki va raqamlashtirilgan elektr stansiyalarni boshqarish modellarining rivojlanishi energiya bozorlarida shaffoflikni oshirish, tranzaksion xarajatlarni kamaytirish va iste’molchilarning rolini faol ishtirokchiga aylantirishga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Shu bilan birga, tadqiqot natijalari raqamlashtirish jarayonida yuqori boshlang‘ich investitsiya xarajatlari, kiberxavfsizlik muammolari va malakali kadrlar yetishmasligi kabi cheklovlar mavjudligini ko‘rsatadi. Biroq manbalar tahlili shuni tasdiqlaydiki, uzoq muddatli istiqbolda energiya yo‘qotishlarini kamaytirish, ekspluatatsiya xarajatlarini qisqartirish, energiya xavfsizligini oshirish va ekologik barqarorlikni ta’minlash hisobiga raqamli energetika texnologiyalari iqtisodiy jihatdan o‘zini to‘liq oqlaydi [4, 7].

Xulosa qilib aytganda, energetika tizimlarini raqamlashtirish va aqlli boshqaruv texnologiyalarini joriy etish nafaqat texnik va iqtisodiy samaradorlikni oshiradi, balki qayta tiklanuvchi energiya manbalarini integratsiya qilish, raqamli iqtisodiyot talablariga moslashish va barqaror rivojlanishni ta’minlash yo‘lida muhim ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Xushboqov B.X., Raxmonov I.T., Musurmonov Yo.B., Rashidov Sh.O‘. - Raqamli tok transformatorlari. “Respublikamiz janubida muhandislik va agrotexnologiyalar sohalarida texnologik jarayonlarini avtomatlashtirishning dolzarb muamolari va yechimlari” mavzusida 2025 –yil 18-19 dekabr 2025. Termiz.

2. B. Khushbokov, N. Niyozov, G. E. Saidova, and I. Bakhadirov, “Energy efficiency of concrete work technology,” in AIP Conference Proceedings, AIP Publishing, 2024, p. 030025. Accessed: Oct. 06, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1063/5.0218841

3. Bakhtiyor Khushbokov, Abdulkhay Rasulov, Abdubakir Abdullaev, Abdulla Tanirbergenov Current stabilization based on a magnetic amplifier with an electromagnetic control circuit. AIP Conf. Proc. 3331, 070020 (2025) https://doi.org/10.1063/5.0306041

4. Abzoirov Elbek Akram o‘g‘li - Transformatorlarda elektr energiyasi isroflarining turlari va ularni hisoblash usullari. - Ilmli yoshlar - Yangi O‘zbekiston taraqqiyot poydevori mavzusida respublika talabalar ilmiy-texnik anjuman 2025-yil 12-14 – noyabr Andijon. 12-17 betlar.

5. S.Makhmutkhanov, Y. Ochilov, H. Nurov, and S. Kurbonazarov, “Increasing the environmental cleanness of industrial enterprises,” in AIP Conference Proceedings, AIP Publishing, 2024, p. 060012. Accessed: Oct. 06, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1063/5.0219213

6. Abdikadirov A.A. – Raqamli boshqarish tizimlari [Termiz publishing center]: o‘quv qo‘llanma / A.A.Abdikadirov, I.T.Karabayev, H.M.Esonov. – Termiz: Termiz publishing center, 2024. – 139 b.

ISSN 3030-3907

7. Abdulazizov Bozorqul Boboqulovich, Qurbonazarov Suhrob Erkin o‘g‘li – Elektr energiyasi isroflarining kamaytirish muammolari. Международный научный журнал № 28 (100),часть 1 «Научный импульс» Декабря , 2024
8. Xushbokov B.X., Ulugov B.Dz., Khudaynazarov S.Kh., Omonov F.B. Comparative analysis of modern current converters. EPRA International journal of multidisciplinary Reseahch (IJMR) – Peer Reer Revirewed journal. Volume: 6| Issue: 10| October 2020 || Journal DOI: 10.36713/epra2013||SJIF Impact factor: 7,032||ISI Value: 1,188. pp. 319.
9. Амиров С.Ф., Хушбоқов Б.Х., Шойимов Й.Ю. Дистанционные преобразователи больших токов с многовитковыми сердечниками. ТошТЙМИ ахборотномаси, 2006 й,№1, 162-169 бетлар.
10. Амиров С.Ф., Сафаров А.М., Хушбоқов Б.Х., Шойимов Й.Ю. Вопросы измерения больших токов на железнодорожном транспорте (особенность, состояние и перспектива). ТошТЙМИ ахборотномаси, 2006 й, №2, 88-97 бетлар.
11. Амиров С.Ф., Хушбоқов Б.Х., Кадыров Д.Ф., Даусетов Е.Б. Многопредельные транформаторы тока. Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им.М.Тынышпаева,№4, 2006 г, стр.126-130..

ISSN 3030-3907