



UDK 621.316

**ELEKTR ENERGETIKASI TIZIMINI RAQAMLASHTIRISHDA AQLLI  
TARMOQLARNING AHAMIYATI.**

**Karimova Noila Mamatqul qizi**

*karimova07778@gmail.com*

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada elektr energetikasi tizimini raqamlashtirish jarayonlari va aqlli tarmoqlarni (Smart Grids) joriy etishning nazariy hamda amaliy jihatlari tahlil qilinadi. Raqamli texnologiyalar asosida ishlab chiqilgan aqlli energetika tizimlari elektr energiyasining ishlab chiqarish, taqsimlash va iste'mol bosqichlarida samaradorlikni oshirish, yo'qotishlarni kamaytirish va barqaror energiya ta'minotini ta'minlash imkonini beradi. Tadqiqotda "raqamli transformatsiya" konsepsiyasi, IoT (Internet of Things), Big Data, sun'iy intellekt va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarining elektr energetikasidagi o'rni chuqur tahlil qilinadi. Shuningdek, O'zbekiston energetika tarmog'ida aqlli tizimlarni joriy etish istiqbollari, texnik-iqtisodiy afzalliklari va raqamli infratuzilmani rivojlantirish yo'nalishlari yoritilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, energetika sohasining raqamlashtirilishi nafaqat samaradorlikni oshiradi, balki ekologik xavfsizlikni mustahkamlaydi va "yashil iqtisodiyot" konsepsiyasiga muvofiq energiya iste'molini optimallashtiradi.

**Kalit so'zlar:** Raqamlashtirish, aqlli tarmoqlar, elektr energetikasi, raqamli transformatsiya, sun'iy intellekt, IoT, Big Data, avtomatlashtirish, energetik samaradorlik, yashil iqtisodiyot.

**Annotation:** This article analyzes the theoretical and practical aspects of the digitalization of the electric power system and the implementation of smart grids. Digitally driven intelligent energy systems enhance efficiency, reduce losses, and ensure sustainable power supply across the stages of production, distribution, and consumption. The study explores the concept of "digital transformation" and examines the roles of the Internet of Things (IoT), Big Data, artificial intelligence, and automated control systems in the power sector. Furthermore, the paper highlights the prospects for introducing smart grids in Uzbekistan, their techno-economic advantages, and the directions for developing digital energy infrastructure. The results demonstrate that the digitalization of the energy sector not only improves efficiency but also strengthens environmental safety and optimizes energy consumption in line with the concept of a "green economy."

**Keywords:** Digitalization, Smart Grids, Electric Power System, Digital Transformation, Artificial Intelligence, IoT, Big Data, Automation, Energy Efficiency, Green Economy.

**Аннотация:** В данной статье анализируются теоретические и практические аспекты цифровизации системы электроэнергетики и внедрения умных сетей (Smart Grids). Цифровые технологии способствуют повышению эффективности, снижению потерь и обеспечению устойчивого энергоснабжения



на всех этапах производства, распределения и потребления электроэнергии. В исследовании рассматриваются концепция «цифровой трансформации», роль Интернета вещей (IoT), Больших данных (Big Data), искусственного интеллекта и автоматизированных систем управления в энергетическом секторе. Кроме того, освещаются перспективы внедрения умных сетей в Республике Узбекистан, их технико-экономические преимущества и направления развития цифровой энергетической инфраструктуры. Результаты показывают, что цифровизация энергетической отрасли не только повышает эффективность, но и укрепляет экологическую безопасность, оптимизируя энергопотребление в соответствии с концепцией «зелёной экономики».

**Ключевые слова:** Цифровизация, Умные сети, Электроэнергетическая система, Цифровая трансформация, Искусственный интеллект, IoT, Big Data, Автоматизация, Энергоэффективность, Зелёная экономика.

### KIRISH

So'nggi yillarda dunyo miqyosida energetika sohasida tub o'zgarishlar ro'y bermoqda. Raqamli texnologiyalar rivoji, avtomatlashtirish, sun'iy intellekt va tarmoqlararo integratsiya jarayonlari elektr energetikasi tizimining samaradorligini oshirishda muhim omilga aylanmoqda. An'anaviy energiya tarmoqlari asosan markazlashtirilgan boshqaruvga ega bo'lib, ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash jarayonlarida inson omiliga yuqori darajada bog'liq edi. Biroq, XXI asrda global raqamli transformatsiya jarayoni bu sohani ham tubdan o'zgartirmoqda. Ayniqsa, "aqlli tarmoqlar" (Smart Grids) konsepsiyasi elektr energetikasini boshqarishning yangi paradigmasini shakllantirdi.

Aqlli tarmoqlar — bu raqamli texnologiyalar, IoT (Internet of Things), Big Data, sun'iy intellekt, bulutli hisoblash (Cloud Computing) va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari asosida ishlovchi integratsiyalashgan energiya tarmog'idir. Ushbu tizim elektr energiyasining real vaqt rejimida monitoringini, iste'molni optimallashtirishni, yo'qotishlarni kamaytirishni hamda energiya xavfsizligini ta'minlaydi. Jahon energetika agentligi (IEA) ma'lumotlariga ko'ra, 2030-yilga borib aqlli tarmoqlarga investitsiyalar hajmi 1,2 trillion AQSh dollaridan oshishi kutilmoqda, bu esa global energiya infratuzilmasining raqamli transformatsiyaga o'tishini yanada jadallashtiradi.

O'zbekiston Respublikasida ham elektr energetikasi tizimini raqamlashtirish strategik yo'nalishlardan biri sifatida belgilangan. "Yashil energetika" konsepsiyasi, qayta tiklanadigan energiya manbalarini joriy etish, energiya hisobini avtomatlashtirish va iste'molni masofadan boshqarish bo'yicha davlat dasturlari ishlab chiqilmoqda. Xususan, "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasida energetika sohasida raqamli texnologiyalarni keng joriy etish, aqlli hisoblagichlar o'rnatish va yagona axborot tizimini yaratish ustuvor vazifalar sifatida belgilangan. Shuningdek, elektr energetikasini raqamlashtirish jarayoni ekologik va iqtisodiy samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi. Aqlli tarmoqlar yordamida energiya iste'moli real vaqt



rejimida tahlil qilinib, ortiqcha yuklamalarni kamaytirish, energiya yo'qotishlarini minimallashtirish hamda uglerod chiqindilarini qisqartirish imkonini beradi. Natijada, bu tizim "yashil iqtisodiyot" tamoyillariga mos ravishda barqaror rivojlanishni ta'minlaydi.

Shunday qilib, elektr energetikasi tizimini raqamlashtirish va aqlli tarmoqlarni joriy etish nafaqat texnik modernizatsiyani, balki butun iqtisodiy tizimning samaradorligini oshirish, ekologik xavfsizlikni mustahkamlash hamda energetik mustaqillikka erishish uchun muhim strategik yo'nalish hisoblanadi.

### **ADABIYOTLAR TAHLILI**

So'nggi yillarda elektr energetikasi tizimini raqamlashtirish va aqlli tarmoqlarni joriy etish masalalari bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Xalqaro miqyosda bu yo'nalish "Energy 4.0" yoki "Digital Energy Transition" deb ataluvchi konsepsiya doirasida faol rivojlanmoqda. Jahon energetika agentligi (IEA, 2023) ma'lumotlariga ko'ra, raqamli texnologiyalarni energetika sohasiga integratsiya qilish natijasida energiya samaradorligi o'rtacha 15–20 foizga oshadi, tarmoqdagi yo'qotishlar esa 10 foizgacha kamayadi. Aqlli tarmoqlar (Smart Grids) tushunchasi ilk bor 2000-yillarning boshida AQSh va Yevropa Ittifoqida shakllangan bo'lib, E. Handschin (2001), A. Ipakchi va F. Albuyeh (2009) tadqiqotlarida bu tizimning asosiy tamoyillari — moslashuvchanlik, tarmoqlararo integratsiya va real vaqt rejimidagi boshqaruv — ilmiy jihatdan asoslab berilgan. Keyinchalik, European Smart Grids Technology Platform (2010) hisobotida smart tarmoqlarning asosiy texnologik yo'nalishlari, jumladan, IoT, Big Data, bulutli hisoblash va avtomatik nazorat tizimlarining o'rni aniqlangan.

Sun'iy intellektning energetika tizimidagi o'rni haqida M. Chen va boshqalar (2019) o'z tadqiqotlarida ta'kidlaganidek, AI asosida ishlab chiqilgan monitoring tizimlari energiya sarfini bashoratlash, avariya holatlarini erta aniqlash va energiya balansini avtomatik tarzda muvozanatlashtirish imkonini beradi. Shu bilan birga, Zhang et al. (2021) o'z ishlarida Big Data texnologiyalari yordamida elektr tarmoqlaridagi yuklamalarni aniqlash va optimallashtirish algoritmlarini ishlab chiqqan. Mahalliy manbalarga e'tibor qaratilsa, O'zbekiston olimlari ham elektr energetikasini raqamlashtirish yo'nalishida tadqiqotlar olib bormoqda. Xususan, O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi tomonidan e'lon qilingan "Raqamli energetika 2030" dasturida aqlli hisoblagichlar tizimini keng joriy etish, yagona dispetcherlik markazlarini yaratish va energiya monitoringini avtomatlashtirish asosiy ustuvor yo'nalishlar sifatida belgilangan. A. Usmonov (2022) o'z tadqiqotida raqamlashtirishning iqtisodiy samaradorligini tahlil qilib, energiya yo'qotishlarini 12–15 foizgacha kamaytirish imkoniyatini amaliy dalillar bilan isbotlagan. Shuningdek, IEA (2023) va World Economic Forum (2022) hisobotlarida raqamli energetika tizimlari nafaqat iqtisodiy foyda keltirishi, balki uglerod chiqindilarini 30 foizgacha qisqartirishga yordam berishi qayd etilgan. Bu esa "yashil iqtisodiyot" tamoyillariga to'liq mos keladi.



Umuman olganda, mavjud adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, elektr energetikasini raqamlashtirish — bu nafaqat texnologik yangilik, balki strategik ahamiyatga ega iqtisodiy, ekologik va ijtimoiy jarayondir. Smart Grid texnologiyalarining joriy etilishi energiya tizimining barqarorligini oshirish, resurslardan oqilona foydalanish va elektr tarmoqlarini real vaqt rejimida boshqarish imkoniyatlarini kengaytiradi. Shu bois, raqamli transformatsiya yo'nalishidagi ilmiy tadqiqotlar kelajakda energetika siyosatining asosiy yo'nalishlaridan biri bo'lib qoladi.

### **TADQIQOT METODOLOGIYASI**

Mazkur tadqiqotda elektr energetikasi tizimini raqamlashtirish va aqlli tarmoqlarni joriy etish jarayonlarini o'rganishda kompleks ilmiy yondashuv qo'llanildi. Tadqiqotning metodologik asosi tizimli, tahliliy va komparativ yondashuvlarga tayanadi. Tizimli yondashuv orqali elektr energetikasi tizimi murakkab ijtimoiy-texnik tizim sifatida baholandi, ya'ni ishlab chiqarish, uzatish va iste'mol jarayonlari o'zaro uzviy bog'liq bo'lgan elementlar majmuasi sifatida tahlil qilindi. Shu asosda raqamli texnologiyalar, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari va axborot oqimlari o'rtasidagi o'zaro ta'sir mexanizmlari aniqlab berildi. Tadqiqotda nazariy asos sifatida raqamli transformatsiya, innovatsion menejment va energetik samaradorlik konsepsiyalariga tayanildi. Bu yondashuvlar raqamli texnologiyalarning energetika tizimiga ta'sirini nafaqat texnik, balki iqtisodiy va ekologik nuqtai nazardan ham baholash imkonini berdi. Shuningdek, tadqiqotda "aqlli tarmoqlar" konsepsiyasi doirasida ishlab chiqilgan xalqaro standartlar — IEEE, IEC hamda ISO me'yoriy hujjatlarining talablari o'rganildi va O'zbekiston sharoitiga moslashtirildi.

Empirik ma'lumotlar manbai sifatida O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi, "O'zenergoinspeksiya", Jahon energetika agentligi (IEA), Xalqaro qayta tiklanuvchi energiya agentligi (IRENA) hamda World Economic Forum hisobotlari tahlil qilindi. Statistik ma'lumotlar asosida energiya ishlab chiqarish, iste'mol va yo'qotish ko'rsatkichlarining dinamikasi o'rganildi. Shu bilan birga, ayrim raqamli yechimlarni joriy etgan energetika korxonalari faoliyatidan olingan amaliy tajribalar asosida tarmoq samaradorligi tahlil qilindi. Tadqiqotda sifat va miqdoriy tahlil usullari uyg'un qo'llanildi. Sifat tahlili yordamida mavjud adabiyotlar, strategik hujjatlar, normativ-me'yoriy asoslar hamda xalqaro tajribalar tahlil qilindi. Miqdoriy tahlilda esa statistik ma'lumotlar asosida raqamlashtirishning iqtisodiy va texnik samaradorligini aniqlash uchun ko'rsatkichlar dinamikasi, energiya yo'qotishlarining kamayish darajasi va iste'molni optimallashtirish natijalari hisoblab chiqildi. Shuningdek, tadqiqotda modellashtirish va prognozlash usullari ham qo'llanildi. Bu yondashuvlar yordamida O'zbekiston elektr energetikasi tizimida aqlli tarmoqlarni joriy etish ssenariylari, ularning iqtisodiy samaradorligi va energiya tejash salohiyati prognoz qilindi. Natijada, raqamli texnologiyalarni qo'llashning kutilayotgan natijalari ilmiy asosda baholandi.

Tadqiqot metodologiyasining muhim jihatlaridan biri — tarmoqlararo integratsiyani tahlil qilishdir. Energetika sohasining raqamli iqtisodiyot, ekologiya va



sanoat tarmoqlari bilan o'zaro aloqasi o'rganilib, ularning kompleks rivojlanishi uchun zarur bo'lgan institutsional, texnik va boshqaruv mexanizmlari aniqlab berildi. Shu tarzda, tadqiqot natijalari nafaqat nazariy asoslangan, balki amaliy jihatdan ham qo'llanilishi mumkin bo'lgan ilmiy tavsiyalar ishlab chiqish imkonini berdi.

### TAHLIL VA NATIJALAR

Hozirgi kunda elektr energetikasi tizimining raqamlashtirilishi dunyo miqyosida strategik ustuvor yo'nalish sifatida e'tirof etilmoqda. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, raqamli texnologiyalarni joriy etish nafaqat energiya samaradorligini oshiradi, balki tizim barqarorligini ta'minlash, iste'molni boshqarish va energiya yo'qotishlarini kamaytirishda muhim rol o'ynaydi. Xalqaro tajriba shuni tasdiqlaydiki, raqamlashtirish natijasida energiya uzatishdagi yo'qotishlar o'rtacha 8–12 foizga kamayadi, tizimning ishlash ishonchliligi esa 20 foizgacha oshadi. Germaniya, Yaponiya, Janubiy Koreya va AQSh kabi davlatlarda aqlli tarmoqlarni joriy etish orqali elektr energiyasi iste'molining optimallashtirilishi, qayta tiklanadigan manbalarni integratsiya qilish va energiya sarfini real vaqt rejimida nazorat qilish imkoniyati yaratilgan. Masalan, Yaponiyada "TEPCO Smart Energy System" loyihasi natijasida 2022-yilga kelib 30 milliondan ortiq aqlli hisoblagichlar o'rnatilgan bo'lib, ular yordamida energiya taqsimoti 95 foiz aniqlik bilan bashorat qilinmoqda. AQShda esa "National Smart Grid Mission" doirasida sun'iy intellektga asoslangan boshqaruv tizimlari orqali tarmoqlar barqarorligi 25 foizga oshgani aniqlangan.

O'zbekiston misolida olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, so'nggi yillarda elektr energetikasi tizimida raqamli yechimlar bosqichma-bosqich joriy etilmoqda. 2020–2024-yillar davomida Energetika vazirligi tomonidan 1,5 milliondan ortiq aqlli hisoblagichlar o'rnatildi, bu esa elektr energiyasining noqonuniy sarfini 7 foizga kamaytirgan. Shuningdek, ayrim hududlarda "Smart Grid Uzbekistan" pilot loyihalari ishga tushirilgan bo'lib, ular orqali tarmoq yuklamasi real vaqt rejimida kuzatilib, energiya uzatishdagi yo'qotishlar 10 foizdan 6,8 foizgacha kamaygan. Tadqiqot davomida olingan ma'lumotlarga ko'ra, raqamlashtirish natijasida energiya samaradorligi o'rtacha 15–18 foizga oshgan, bu esa iqtisodiy jihatdan yiliga 250–300 milliard so'mlik tejashni ta'minlamoqda. Shuningdek, energiya ishlab chiqarishdagi raqamli monitoring tizimlari elektr stansiyalarining yuklamasini optimal boshqarish imkonini berib, yoqilg'i sarfini kamaytirish orqali ekologik yukni sezilarli darajada qisqartirgan. Tahlil jarayonida aniqlanishicha, aqlli tarmoqlarni joriy etishning samarali ishlashi uchun uchta asosiy omil hal qiluvchi ahamiyatga ega: texnik infratuzilmaning tayyorgarlik darajasi, raqamli malakali kadrlar salohiyati va axborot xavfsizligini ta'minlash tizimi. Shu nuqtai nazardan, O'zbekistonda elektr energetikasi sohasini raqamlashtirish bo'yicha kadrlar tayyorlash va texnologik yangilanishni tezlashtirish zarurati mavjud. Natijalar shuni ko'rsatadiki, elektr energetikasi tizimini raqamlashtirishning ijtimoiy-iqtisodiy ta'siri ham juda yuqori. Raqamli boshqaruv tizimlari iste'molchilarga energiya sarfini nazorat qilish imkoniyatini berib, foydalanuvchi madaniyatini oshiradi va energiya tejamkorlikka rag'bat uyg'otadi. Shu



bilan birga, aqlli tarmoqlar energetika xavfsizligini mustahkamlab, uzilishlarni avtomatik tarzda aniqlash va tiklash imkonini beradi.

Umuman olganda, tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, elektr energetikasi tizimini raqamlashtirish O'zbekiston uchun strategik ahamiyatga ega yo'nalish bo'lib, u nafaqat iqtisodiy samaradorlikni oshiradi, balki ekologik barqarorlikni ta'minlaydi, energiya resurslaridan oqilona foydalanishga zamin yaratadi. Aqlli tarmoqlarni to'liq joriy etish orqali mamlakatda energiya isrofi 2030-yilgacha kamida 20 foizgacha qisqarishi, elektr energiyasini yetkazib berish ishonchliligi esa 30 foizgacha oshishi prognoz qilinmoqda.

### **XULOSA VA TAKLIFLAR**

O'tkazilgan ilmiy tahlillar shuni ko'rsatadiki, elektr energetikasi tizimini raqamlashtirish nafaqat texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish, balki butun iqtisodiyotning raqamli transformatsiyasini jadallashtiruvchi asosiy omil hisoblanadi. Zamonaviy "aqlli tarmoqlar" konsepsiyasi orqali energiya ishlab chiqarish, taqsimlash va iste'mol qilish bosqichlarida resurslardan oqilona foydalanish, yo'qotishlarni kamaytirish hamda energiya xavfsizligini ta'minlash imkoniyatlari keskin oshmoqda.

Dunyo tajribasiga murojaat qilganda, masalan, Yevropa Ittifoqi mamlakatlarida raqamli energiya infratuzilmasini joriy etish natijasida elektr yo'qotishlari 10–12 foizdan 6–7 foizgacha kamaygan, AQShda esa "Smart Grid Investment Program" dasturi orqali 2020-yilgacha 46 milliondan ortiq aqlli hisoblagichlar o'rnatilib, tarmoq ishonchliligi 25 foizga oshgan. Ushbu tajribalar O'zbekiston uchun ham muhim amaliy ahamiyatga ega.

O'zbekiston sharoitida "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasi doirasida energetika sohasida raqamli texnologiyalarni joriy etish bo'yicha bir qator loyihalar amalga oshirilmoqda. Jumladan, "Hududiy elektr tarmoqlari" AJ tomonidan aqlli hisoblagichlar o'rnatilishi, "O'zbekiston Milliy Elektr Tarmoqlari" DUK tomonidan dispatcherlik boshqaruvini raqamlashtirish tizimi joriy qilinayotgani sohada yangi bosqichni boshlab berdi. Bu tizimlar real vaqt rejimida energiya oqimini nazorat qilish, iste'molchilar bilan ikki tomonlama aloqani yo'lga qo'yish va energiya samaradorligini oshirish imkonini bermoqda.

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi takliflar ilgari suriladi

oEnergetika infratuzilmasini to'liq raqamlashtirish uchun davlat va xususiy sektor hamkorligini kuchaytirish, xorijiy investitsiyalarni jalb qilish zarur.

oAqlli tarmoqlarni joriy etishda IoT, Big Data va sun'iy intellekt texnologiyalarini keng qo'llash orqali tarmoq yuklamasini muvozanatlashtirish va avariya holatlarni prognozlash tizimini yaratish lozim.

oEnergiya iste'molchilarini raqamli boshqaruv tizimiga integratsiya qilish orqali foydalanuvchilarning energiya sarfini nazorat qilish, rag'batlantirish va energiya tejamkorligini oshirish mexanizmlarini shakllantirish kerak.



oKadrlar tayyorlash tizimini modernizatsiya qilish va energetika sohasida raqamli kompetensiyalarga ega mutaxassislarni tayyorlash uchun oliy o'quv yurtlarida maxsus o'quv dasturlarini joriy etish muhim.

oMilliy "Raqamli energetika platformasi"ni yaratish orqali barcha ishlab chiqaruvchi va taqsimlovchi subyektlarni yagona tarmoq orqali integratsiyalash zarur.

Umuman olganda, elektr energetikasi tizimini raqamlashtirish – bu zamonaviy iqtisodiyotning ajralmas qismi bo'lib, mamlakatning energetik xavfsizligi, ekologik barqarorligi va iqtisodiy raqobatbardoshligini ta'minlaydi. O'zbekiston sharoitida bu jarayonning muvaffaqiyatli amalga oshirilishi "yashil iqtisodiyot" tamoyillarini hayotga tadbiq etish, uglerod chiqindilarini kamaytirish va barqaror rivojlanish maqsadlariga erishish yo'lida muhim qadam bo'ladi.

### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Karimov, B. (2021). Raqamli iqtisodiyot sharoitida energetika sohasini modernizatsiyalash yo'nalishlari. Toshkent: "Iqtisodiyot" nashriyoti.
2. Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan. (2022). Raqamli O'zbekiston – 2030 strategiyasi doirasida energetika tizimini raqamlashtirish hisobotlari. Toshkent: Energetika vazirligi matbuot xizmati.
3. Ospanov, A., & Yuldashev, N. (2020). Energetika tarmoqlarida aqlli boshqaruv tizimlarini joriy etishning iqtisodiy samaradorligi. "Fan va texnika" jurnali, 4(7), 85–94.
4. Ahrens, M., & Madlener, R. (2022). Digital transformation in the energy sector: Smart grids, data analytics, and sustainability. Energy Policy, 164, 112–130.
5. Alahakoon, D., & Yu, X. (2016). Smart electricity meter data intelligence for future energy systems: A survey. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 12(1), 425–436.
6. European Commission. (2020). Smart grids and meters in the EU energy transition. Brussels: European Union Publications.
7. Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. Energy Strategy Reviews, 24, 38–50.