

LOKAL TARMOQ VA UNING ARXITEKTURASI

H.M.Valijonova

valijonovahusnobod@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada lokal elektr tarmoqlari va ularning arxitekturasini tahlil qilingan. Markazlashgan energiya tizimlarida uzoq masofaga energiya uzatish natijasida yuzaga keladigan yo'qotishlar va avariya xavfi muammolari ko'rib chiqilib, bu muammolarni hal etishda lokal va mikro tarmoqlarning o'rni asoslab berilgan. Lokal elektr tarmog'ining asosiy tarkibiy bloklari energiya manbalari, energiya saqlash, quvvat elektronikasi, monitoring va boshqaruv hamda tashqi tarmoq bilan ulanish bloklari batafsil tavsiflangan. Shuningdek, aqlli lokal tarmoqlarda IoT, smart meter va sun'iy intellekt (AI) texnologiyalarining qo'llanilishi, ularning tizim chidamliligi va markazlashuvdan chiqarish jarayonlariga ta'siri yoritilgan. Tadqiqot natijalari lokal elektr tarmoqlarining nafaqat energiya ta'minoti vositasi, balki energiya samaradorligi, ekologik xavfsizlik va hududiy iqtisodiy barqarorlikni ta'minlovchi kompleks tizim sifatidagi ahamiyatini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: lokal elektr tarmog'i, mikrotarmoq, qayta tiklanuvchi energiya manbalari, energiya saqlash tizimi, aqlli boshqaruv, Energy Management System (EMS), markazlashuvdan chiqarish, tarmoq chidamliligi, IoT, sun'iy intellekt.

Kirish

Lokal elektr tarmog'i cheklangan hudud yoki alohida iste'molchi guruhlarini elektr energiyasi bilan ta'minlashga mo'ljallangan tarmoqdir. Bunday tarmoqlar kichik quvvatdagi energiya manbalari va iste'molchilarni o'z ichiga oladi. Masalan, universitet shaharchasi, korxona hududi yoki qishloq xo'jaligi uchun tashkil etilgan tarmoqlar lokal tarmoqqa kiradi. Lokal elektr tarmog'i bu kichik hududlardagi elektr energiyasini ta'minlash tizimidir. Bu tizim odatda hududiy tarmoqdan ajralgan ya'ni mustaqil ishlaydigan tizimdir. Lokal elektr tarmog'i bir necha uylar, kichik korxonalar, kichik va chekka hududdagi iste'molchilarga xizmat qiladi. Lokal tarmoqlar odatda umumiy elektr ta'minot tarmog'iga bog'lanib, ular bilan uzviy ishlaydi lekin ular o'zining mustaqil ishlash imkoniyatiga ega bo'lishi mumkin, masalan, favqulodda holatlarda yoki tarmoq uzilib qolganda. Bunday tarmoqlar energiya ta'minotini mustaqil boshqarishi va ba'zan biror-bir avtonom energiya manbai masalan, quyosh, shamol, kichik gidroelektrostansiyalari yoki batareyalar yordamida ishlash imkoniyatiga ega. Bu xususiyati orqali chekka hududlarni ham elektr ta'minoti ishonchliligini oshirish mumkin. Lokal yoki mahalliy elektr tarmog'i deb sanoatda, qishloq xo'jaligida va boshqa joylarda elektr energiyasi iste'molchilarini elektr energiyasi bilan ta'minlash uchun ko'pi bilan 15-30 km radiusdagi kuchlanishi 35 kV

gacha bo'lgan tarmoqqa aytiladi. Bu radial, magistral yoki yopiq tarmoq bo'lishi mumkin.

Mikro tarmoq bu mustaqil ravishda ishlay oladigan, qayta tiklanuvchi energiya manbalari, akkumulyatorlar va iste'molchilardan iborat kichik energetik tizimdir. Mikro tarmoqlar zarurat tug'ilganda asosiy milliy tarmoqqa ulanadi yoki undan ajralgan holda avtonom ishlashi mumkin. Ular o'zaro farq qiladi.

Masshtab jihatidan: magistral tarmoq eng yirik, lokal tarmoq o'rta darajali, mikro tarmoq esa eng kichik va aniq hudud yoki iste'molchiga qaratilgan.

Kuchlanish darajasi: magistral tarmoqlarda yuqori (110–500 kV va undan yuqori), lokal tarmoqlarda o'rta kuchlanish (6–35 kV), mikro tarmoqlarda esa past kuchlanish (0,4–6 kV) qo'llaniladi.

An'anaviy energiya taqsimoti sxemasida ishlab chiqaruvchi quvvatlar iste'molchidan bir necha o'nlab va hatto yuzlab kilometr uzoqlikda joylashishi mumkin. Shunday qilib, quvvatlarni juda uzoq masofalarga uzatish zarurati tug'iladi, natijada elektr energiyasining 5 dan 10% gacha yo'qotiladi, ayrim hududlarda bu ko'rsatkich 20% gacha yetishi mumkin [1]. Muammoni energiya uzatishda kuchlanishni oshirish orqali hal qilish mumkin, bu esa tarmoqni rekonstruksiya qilish uchun katta xarajatlarni talab qiladi yoki ishlab chiqaruvchi quvvatlarni iste'molchiga yaqinroq joyga ko'chirish orqali hal qilish mumkin.

Lokal elektr tizimlari aqlli tarzda monitoring qilinib boshqarilganda, energiya infratuzilmasining samaradorligi va barqarorligini oshirishi mumkin, ayniqsa chekka yoki xizmat ko'rsatishdan chetda qolgan hududlarda [2]. “2050-yilga qadar nol chiqindilar” ssenariysiga ko'ra, 2030-yilgacha tarmoqqa yo'naltiriladigan sarmoyaning katta qismi aqlli tarmoqlar va raqamli infratuzilmaga yo'naltiriladi [3]. Bunday tizimlar real vaqt rejimida ma'lumot yig'ish, yuklamani yaxshiroq muvozanatlash va nosozliklarni samarali aniqlash imkonini beradi, bu esa tarmoq barqarorligini ta'minlash uchun juda muhimdir [4]. Lokal elektr tarmoq ish rejimlari juda tarqoq va notekis bo'lganligi sababli ham uni boshqarish anchagina murakkabdir.

Lokal tarmoqlar asosan kichik quvvatdagi generatorlar, transformatorlar va boshqa energiya taqsimlash uskunalaridan tashkil topgan. Ularni qayta tiklanadigan energiya manbalari yoki odatiy energiya ishlab chiqarish manbalari bilan bog'lash mumkin. Lokal elektr tarmoqlari to'g'risida O'zbekiston Respublikasining 2024-yil 7-avgustdagi “Elektr energetikasi to'g'risida”gi Qonuni, 42-moddasida Yuridik va jismoniy shaxslar lokal tarmoqni yaratish va ishlab chiqarilgan elektr energiyasini lokal tarmoq orqali realizatsiya qilish uchun boshqa yuridik va jismoniy shaxslar bilan shartnomalar tuzish huquqiga

ega.

Lokal tarmoqlarni o'rnatish va ulardan foydalanish maxsus vakolatli davlat organi tomonidan ishlab chiqilgan hamda O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi tomonidan tasdiqlangan qoidalarga muvofiq amalga oshiriladi” deyilgan.[5]

Material va muhokamalar

Lokal elektr tarmoqlarning rivojlanishi bir necha muhim omillar bilan bog'liq. Birinchidan, elektr energiyasiga bo'lgan talabning o'sishi va iste'molchilarning sifatli hamda uzluksiz elektr ta'minotiga ehtiyoji ortib bormoqda. Ikkinchidan, an'anaviy markazlashgan elektr tarmoqlarda uzatish yo'qotishlari va avariya xavfi yuqoriligicha qolmoqda. Uchinchidan, qayta tiklanuvchi energiya manbalarining arzonlashuvi va texnologik rivojlanishi elektr energiyasini iste'mol joyiga yaqin ishlab chiqarish imkonini berdi. To'rtinchidan, raqamli boshqaruv, smart meter, IoT va AI texnologiyalarining rivojlanishi lokal tarmoqlarni real vaqt rejimida boshqarishni amaliy jihatdan mumkin qildi. Shu sababli lokal tarmoqlar faqat energiya ta'minoti vositasi emas, balki energiya samaradorligi, ekologik xavfsizlik va iqtisodiy barqarorlikni ta'minlovchi kompleks tizim sifatida qaralmoqda.

Lokal elektr ta'minoti tizimlari (LEET)ning ishlashiga quyidagi xususiyatlar xosdir [6]:

1. Texnik xizmat ko'rsatish punktlaridan uzoqligi.
2. QTEMLarini kirib kelishining stoxastik tavsifi.
3. Murakkab (ekstremal) sharoitlarda ekspluatatsiya qilish.

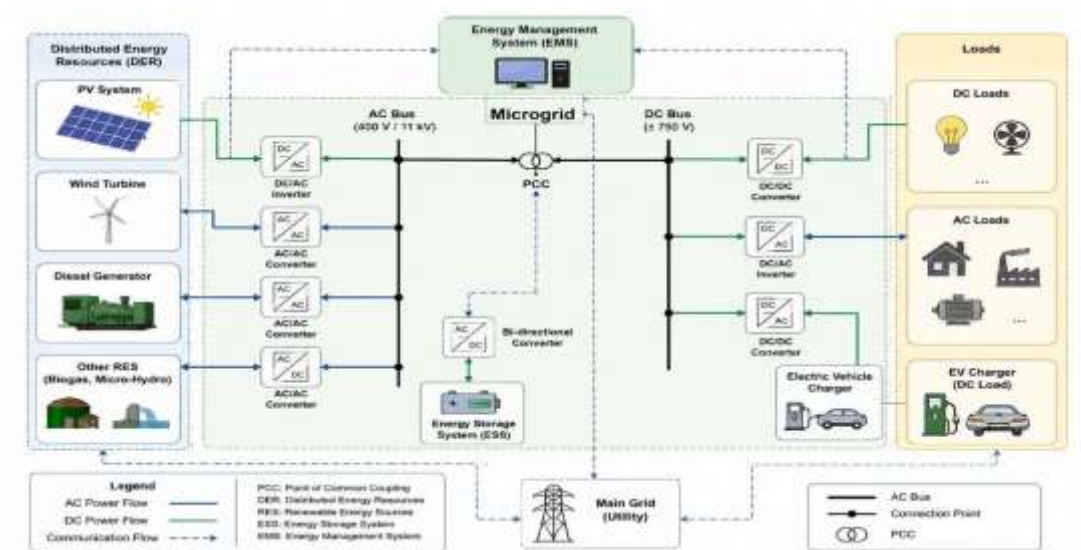
Lokal elektr tarmoqlari va mikrotarmoqlar konsepsiyasi zamonaviy energetika tizimlarining evolyutsion rivojlanishi natijasida shakllangan bo'lib, u markazlashgan energetikadan tarqatilgan generatsiyaga o'tish jarayonini ifodalaydi [7]. Mikrotarmoq tushunchasi ilk bor XX asr oxirlarida AQSh va Yevropa davlatlarida energetika xavfsizligini oshirish va elektr ta'minotining uzluksizligini ta'minlash maqsadida ilmiy muomalaga kiritilgan [8]. Mikrotarmoq odatda quyidagi asosiy komponentlardan tashkil topadi: qayta tiklanadigan energiya manbalari, energiya saqlash tizimlari, elektr yuklamalari, inverter va kuch elektronika qurilmalari hamda aqlli boshqaruv va monitoring tizimlari [9].

Ilmiy-nazariy jihatdan mikrotarmoqlar ikki asosiy ish rejimida faoliyat yuritadi: tarmoqqa ulangan va avtonom rejimlar. Tarmoqqa ulangan rejimda mikrotarmoq umumiy elektr tarmog'i bilan energiya almashadi, ortiqcha energiyani tarmoqqa uzatadi yoki yetishmovchilik holatida tarmoqdan energiya oladi. Avtonom rejimda esa mikrotarmoq tashqi elektr tarmog'idan uzilgan holda mustaqil ishlaydi, bu esa boshqaruv algoritmlariga nisbatan yuqori talablarni yuzaga keltiradi.

Lokal elektr tarmoqning asosiy elementlari:

1. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari (PV, shamol generatorlari);
2. Energiya saqlash tizimlari (ESS);
3. Iste'molchi yuklamalari;
4. Inverter va konvertor qurilmalari;
5. Energy Management System (EMS);
6. Smart monitoring tizimlari;
7. Tashqi elektr tarmoq bilan ulanish nuqtasi (PCC);
8. Himoya va avtomatika qurilmalari.

Mahalliy elektr tarmog‘i arxitekturasida deganda, ma’lum bir hudud doirasida shakllangan elektr tizimining fizik va raqamli tuzilmasi tushuniladi. Ushbu tizim taqsimlangan generatsiya manbalari, lokal energiya saqlash qurilmalari hamda ikki yo‘nalishli energiya oqimini va yuklama balansini boshqaruvchi zamonaviy boshqaruv tizimlari bilan tavsiflanadi. Bunday arxitektura o‘zgaruvchan qayta tiklanuvchi energiya manbalarini samarali integratsiya qilish imkonini berib, hududiy energiya mustaqilligini ta’minlaydi. Ayniqsa, yuqori ulushdagi qayta tiklanuvchi energiya sharoitida tarmoq barqarorligini ta’minlashda aqlli arxitektura muhim ahamiyat kasb etadi. Lokal tarmoq arxitekturasida odatda quyidagi asosiy bloklardan iborat bo‘ladi: energiya manbalari bloki, yuklama bloki, energiya saqlash bloki, quvvat elektronika va interfeys bloki, monitoring va boshqaruv bloki, tashqi tarmoq bilan ulanish bloki.



1-rasm. Lokal elektr tarmoqning umumiy arxitekturasida

Energiya manbalari bloki elektr energiyasini ishlab chiqaruvchi qurilmalarni o‘z ichiga oladi. Ular: quyosh fotoelektr stansiyalari, shamol turbinalari, kichik gidroelektr stansiyalar, dizel yoki gaz generatorlari, kogeneratsiya qurilmalari. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosiy generatsiya sifatida ishlatilsa, an’anaviy generatorlar zaxira yoki qo‘llab-quvvatlovchi manba sifatida qo‘llaniladi.

Yuklama bloki energiya iste’mol qiluvchi barcha qurilmalarni qamrab oladi. Yuklamalar odatda uch guruhga bo‘linadi:

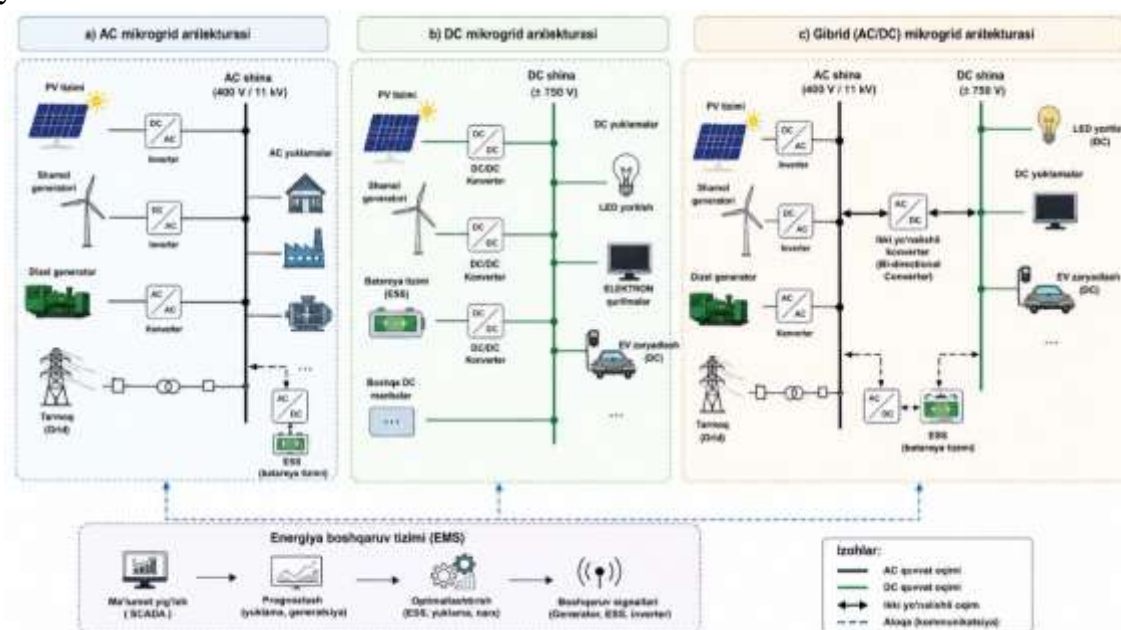
1. Kritik yuklamalar — uzilishi mumkin bo‘lmagan iste’molchilar;
2. Muhim yuklamalar — qisqa muddatli boshqarilishi mumkin bo‘lgan yuklar;
3. Moslashuvchan yuklamalar — vaqt bo‘yicha surilishi yoki boshqarilishi mumkin bo‘lgan yuklar.

Aynan shu tasnif yuklama boshqaruvi va optimallashtirishda muhim ahamiyatga ega.

Natija va muhokamalar

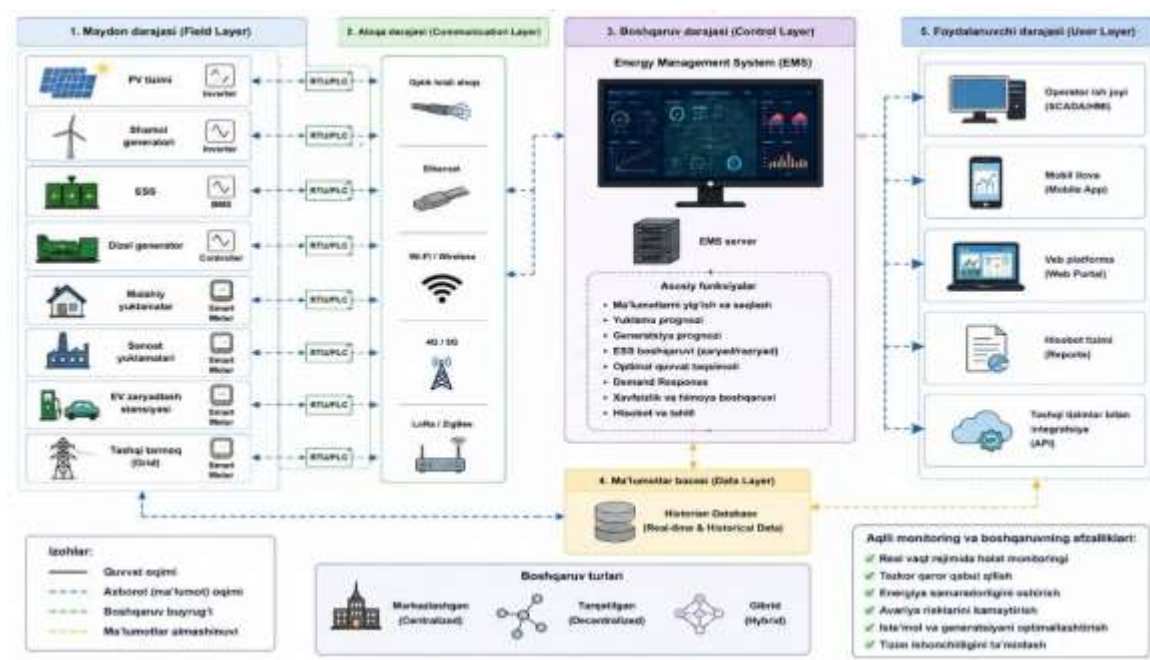
Energiya saqlash bloki ortiqcha ishlab chiqarilgan energiyani vaqtincha saqlash va kerak bo'lganda tizimga qayta uzatish uchun xizmat qiladi. Unga: akkumulyator batareyalari, superkondensatorlar, vodorod asosidagi saqlash tizimlari kirishi mumkin. Energiya saqlash blokining mavjudligi lokal tarmoqning barqarorligini oshiradi va PV ishlab chiqarish bilan yuklama o'rtasidagi vaqt nomutanosibligini kamaytiradi.

Quvvat elektronika va interfeys bloki energiya manbalari, saqlash qurilmalari va yuklamalar o'rtasidagi elektr almashinuvini boshqaradi. Unga inverterlar, konvertorlar, reaktiv quvvat kompensatsiya qurilmalari, himoya va avtomatika elementlari kiradi. Ushbu blok AC va DC qismlar o'rtasida ulanishni ta'minlaydi va tarmoq parametrlarini me'yorda ushlab turadi.



2-rasm. Lokal elektr tarmoqlarni ng AC, DC va gıbrıd arxitekturası

Monitoring va boshqaruv bloki tarmoqning "aqlli markazi" hisoblanadi. U: sensorlardan ma'lumot yig'adi, ishlab chiqarish va iste'molni kuzatadi, yuklama va generatsiyani prognoz qiladi, optimallashtirish algoritmlarini ishga tushiradi, boshqaruv buyruqlarini shakllantiradi. Aynan shu blok AI, IoT va aqlli monitoring tizimlari bilan chambarchas bog'liq.



3-rasm. Lokal tarmoqning aqlli monitoring va boshqaruv arxitekturası

Tashqi tarmoq bilan ulanish bloki ko‘pincha umumiy elektr taqsimlash tarmog‘i bilan ulanadi. Bu ulanish orqali: yetishmayotgan energiya import qilinadi, ortiqcha energiya eksport qilinadi, avariya holatlarda tizim qo‘llab-quvvatlanadi. Shu sababli lokal tarmoq butunlay avtonom emas, balki ko‘pincha “yarim mustaqil” yoki “gibrid” tizim sifatida ishlaydi.

Lokal elektr tarmoqlarining chidamliligi — bu ekstremal ob-havo sharoitlari, texnik nosozliklar yoki markaziy elektr uzatish tizimidagi uzilishlar vaqtida ham muhim iste'molchilarni uzluksiz energiya bilan ta'minlash qobiliyatidir. Bunday tizimlar “orol rejimi” (island mode)da ishlash imkoniyatiga ega bo‘lib, keng ko‘lamli avariyaalarning oldini olishga xizmat qiladi. Natijada, muhim infratuzilma obyektlari himoyalanaadi va umumiy tizim tashqi xavflarga nisbatan ancha barqaror bo‘ladi.

Markazlashuvdan chiqarish — bu an'anaviy yirik elektr stansiyalari va markaziy boshqaruvdan voz kechib, energiya ishlab chiqarish va iste'molni mahalliy darajada tashkil etishga o'tish jarayonidir. Ushbu yondashuv energiya tizimida jamoatchilik ishtirokini kengaytiradi, iste'molchilarning ehtiyojlariga tezkor javob berish imkonini yaratadi va mahalliy iqtisodiyot rivojiga xizmat qiladi. Bundan tashqari, decentralizatsiya elektr uzatishdagi yo‘qotishlarni kamaytiradi hamda energiya tizimini yanada demokratik va samarali qiladi.

Aqlli lokal tarmoq — bu oddiy lokal tarmoqning keyingi rivojlangan shakli bo‘lib, unda: smart meter, IoT sensorlar, EMS, aqlli invertorlar, prognozlash algoritmlari, AI asosidagi optimallashtirish, kabi elementlar qo‘llaniladi. Bunday arxitektura boshqaruv faqat kuzatuv emas, balki aktiv boshqaruvga aylanadi. Ya'ni tizim holatni kuzatadi, tahlil qiladi, oldindan bashorat qiladi, optimal qaror chiqaradi, va ijro mexanizmlariga buyruq beradi.

Xulosa

O'tkazilgan tahlil shuni ko'rsatadiki, lokal elektr tarmoqlari zamonaviy energetika tizimlarining markazlashgan generatsiyadan tarqatilgan generatsiyaga o'tishidagi muhim bosqichini ifodalaydi. Bunday tarmoqlar uzatish yo'qotishlarini kamaytirish, chekka hududlarda ta'minot ishonchligini oshirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini samarali integratsiya qilish imkonini beradi. Energiya manbalari, saqlash, quvvat elektronikasi va monitoring-boshqaruv bloklarining uyg'un ishlashi tizim barqarorligini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ayniqsa, AI va IoT texnologiyalari asosidagi aqlli boshqaruv tizimlari lokal tarmoqni passiv kuzatuvdan aktiv, bashoratli boshqaruvga o'tkazadi, bu esa tarmoq chidamliligini va avtonom rejimda ishlash qobiliyatini kuchaytiradi. Kelgusi tadqiqotlarda lokal tarmoqlarni boshqarishning optimallashtirish algoritmlarini takomillashtirish va ularni amaliyotga tatbiq etishning iqtisodiy jihatlarini chuqurroq o'rganish maqsadga muvofiqdir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Vorotniskiy V. E. Izmereniye, normirovaniye i snijeniye poter elektroenergii v elektricheskix setyax. Problemy i puti resheniya // Normirovaniye, analiz i snijeniye poter elektroenergii v elektricheskix setyax – 2002 : sb. informatsionnykh materialov mejdunarodnogo nauchno-texnicheskogo seminaru . M.: Izd-vo NS ENAS, 2002. S.
2. Bashynska, I.; Niekrasova, L.; Ivliev, D.; Dudek, M.; Kosenkov, V.; Yakimets, A. Justification for Transitioning Equipment to Direct Current for Smart Small Enterprises with Sustainable Solar Power Autonomy. In Proceedings of the 2024 IEEE 5th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 7–11 October 2024; pp. 1–6. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
3. M. R. Chakraborty, S. Dawn, P. K. Saha, J. B. Basu, T. S. Ustun, Batteries 2022, 8, 124
4. Dychkovskyi, R.; Dyczko, A.; Borojević Šoštarić, S. Foreword: Physical and Chemical Geotechnologies—Innovations in Mining and Energy. E3S Web Conf. **2024**, 567, 00001. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
5. <https://www.lex.uz/>
6. Chetoshnikova L. M. Upravleniye elektroenergiyey i servis-oriyentirovannyye seti / L. M. Chetoshnikova, N. I. Smolensev, S. A. Chetoshnikov // Vestnik Yujno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. 2012. № 16 (275). S. 98-102.

7. Lasseter R.H. *Microgrids and Distributed Generation*. IEEE Power Engineering Society, 2011
8. Hatziargyriou N. *Microgrids: Architectures and Control*. Wiley-IEEE Press, 2014.
9. Guerrero J.M. et al. *Hierarchical control of microgrids*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011.