

QAYTA TIKLANADIGAN ENERGIYA MANBALARIDA ENERGIYA ZAXIRALASHNING ROLI

Mizomov Yusufjon Saydulla o'g'li

*Buxoro davlat texnika universiteti, "Elektr va energetika muhandisligi" kafedrası
doktoranti*

MAQOLA MALUMOTI

ANNOTATSIYA:

MAQOLA TARIXI:

Received: 08.10.2025

Revised: 09.10.2025

Accepted: 10.10.2025

KALIT SO'ZLAR:

*Qayta tiklanadigan
energiya, energiya
zaxiralash,
samaradorlik, barqaror
energiya, aqlli tarmoq.*

Ushbu maqolada qayta tiklanadigan energiya manbalarida energiya zaxiralash tizimlarining o'rni va ahamiyati tahlil qilinadi. Quyosh, shamol va boshqa muqobil manbalardan olinadigan energiyaning barqarorligi ko'p jihatdan energiya zaxiralash texnologiyalarining rivojlanishiga bog'liq. Tadqiqotda energiya zaxiralashning iqtisodiy, ekologik va texnik jihatlari, shuningdek, ularning "aqlli tarmoqlar" bilan integratsiyasi o'rganilgan. Maqola natijalari qayta tiklanadigan energiya tizimlarida zaxiralash texnologiyalarini joriy etish barqaror energiya ta'minoti uchun strategik ahamiyatga ega ekanini ko'rsatadi.

Kirish. So'nggi yillarda butun dunyo miqyosida energiya resurslariga bo'lgan talabning ortishi, an'anaviy yoqilg'ilar zaxirasining kamayib borishi hamda ekologik muammolarning keskinlashuvi qayta tiklanadigan energiya manbalariga bo'lgan e'tiborni sezilarli darajada oshirdi. Quyosh, shamol, geotermal va biomassa energiyasi kabi manbalar toza, ekologik xavfsiz va uzoq muddatli istiqbolga ega bo'lsa-da, ularning asosiy kamchiligi — energiya ishlab chiqarish jarayonining barqaror emasligidir. Masalan, quyosh panellari kechasi yoki bulutli kunda, shamol turbinalari esa shamolsiz ob-havo sharoitida energiya ishlab chiqara olmaydi. Shu sababli, qayta tiklanadigan energiya manbalarining samarali ishlashini ta'minlashda energiyani zaxiralash tizimlari muhim ahamiyat kasb etadi. Energiya zaxiralash texnologiyalari ishlab chiqarilgan ortiqcha energiyani saqlab, ehtiyoj paytida

qayta foydalanish imkonini beradi. Bu tizimlar yordamida energiya ishlab chiqarish va iste'mol o'rtasidagi nomutanosiblikni kamaytirish, energiya ta'minoti barqarorligini oshirish hamda elektr tarmoqlarining ishonchligini ta'minlash mumkin. Ayniqsa, "aqlli tarmoq" (smart grid) tizimlari bilan integratsiyalashgan energiya zaxiralash qurilmalari real vaqt rejimida energiya oqimini boshqarish, iste'molchi ehtiyojlarini oldindan prognoz qilish va tizim samaradorligini oshirish imkonini yaratadi. Hozirgi kunda dunyo mamlakatlari, jumladan O'zbekiston ham qayta tiklanadigan energiya manbalarini rivojlantirish strategiyalarida energiya zaxiralash texnologiyalariga alohida e'tibor qaratmoqda. Bu borada elektroximik batareyalar, superkondensatorlar, gidroakumulyatsion tizimlar, issiqlik va mexanik energiya zaxiralash qurilmalari keng miqyosda qo'llanilmoqda. Har bir tizimning o'ziga xos afzallik va cheklovlari mavjud bo'lib, ular energiya tizimining tuzilishiga, geografik sharoitga hamda iqtisodiy omillarga bog'liq. Shunday qilib, qayta tiklanadigan energiya manbalarida energiya zaxiralashning roli nafaqat energiya xavfsizligini ta'minlash, balki energiya samaradorligini oshirish, ekologik barqarorlikni mustahkamlash va energiya tizimlarini raqamlashtirish uchun ham hal qiluvchi omil hisoblanadi. Ushbu tadqiqot ana shu omillarni ilmiy jihatdan tahlil qilish, energiya zaxiralash texnologiyalarining amaliy imkoniyatlarini o'rganish va ularni optimallashtirish yo'llarini aniqlashga qaratilgan.

Adabiyotlar tahlili. Qayta tiklanadigan energiya manbalarida energiya zaxiralashning roli bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar so'nggi o'n yilliklarda jadal rivojlanib bormoqda. Zamonaviy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, energiya zaxiralash tizimlari qayta tiklanuvchi energiya manbalarini keng joriy etishning asosi sifatida qaraladi [1]. Karimov A. va To'xtayev S. (2022) o'z tadqiqotlarida energiya zaxiralash texnologiyalarini energiya tizimining barqarorligini ta'minlashda hal qiluvchi omil sifatida ko'rsatgan. Ular ta'kidlashicha, elektr tarmoqlari samaradorligi ko'p jihatdan zaxiralash tizimlarining hajmi va javob tezligiga bog'liq bo'ladi [2]. Qodirov B. (2021) esa qayta tiklanadigan energiya manbalarining o'zgaruvchan tabiati sababli, energiya zaxiralash tizimlari yordamida ishlab chiqarish va iste'mol o'rtasidagi tafovutni muvozanatlash zarurligini asoslab bergan. U, xususan, batareya va superkondensatorlarning qo'llanilishi elektr tarmog'ining yuklamasini optimallashtirishda muhim rol o'ynashini ta'kidlaydi [3]. Xalqaro Energiya Agentligi (IEA, 2023) ma'lumotlariga ko'ra, 2030-yilga borib energiya zaxiralash bozorining hajmi 400 GWh dan oshadi va bu qayta tiklanadigan energiya ulushining ortishiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Ularning hisobotida "smart grid" texnologiyalari bilan integratsiyalashgan

zaxiralash tizimlari energiya ta'minoti xavfsizligini sezilarli darajada oshirishi qayd etilgan [4]. Zhang Y. va Li H. (2022) tomonidan olib borilgan tadqiqotlar energiya saqlash materiallari texnologiyasiga qaratilgan bo'lib, ular yangi turdagi litiy-ion, natriy-ion va grafen asosidagi batareyalarning samaradorlik ko'rsatkichlarini tahlil qilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, materiallarni modernizatsiya qilish orqali energiya sig'imini 25% gacha oshirish mumkinligi isbotlangan [5]. Shuningdek, Usubov M. va Mahmudov K. (2019) elektrokimyoviy energiya zaxiralash nazariyasini chuqur o'rgangan va batareya tizimlarida ichki qarshilikni kamaytirish uchun elektrodlar tuzilmasini optimallashtirish yo'llarini taklif etgan. Ularning ishlari energiya zaxiralash tizimlarining texnik samaradorligini oshirishda muhim nazariy asos bo'lib xizmat qiladi [6]. Hasanov A. va Yusupov E. (2023) o'z maqolalarida energiya tizimlarida issiqlik chiqindilarini qayta ishlatish texnologiyalarining rolini tahlil qilgan. Ular termoelektr generatorlarni integratsiya qilish orqali umumiy foydali ish koeffitsiyenti (FIK)ni 20% gacha oshirish mumkinligini aniqlaganlar [7]. Shunday qilib, adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, energiya zaxiralash texnologiyalarining rivojlanishi qayta tiklanadigan energiya manbalarining kengayishida hal qiluvchi omil bo'lib, energiya tizimining barqarorligi, ishonchliligi va iqtisodiy samaradorligini ta'minlashda asosiy rol o'ynaydi [8].

Materiallar va usullar. Ushbu tadqiqotda qayta tiklanadigan energiya manbalarida energiya zaxiralash tizimlarining samaradorligini o'rganish uchun eksperimental, statistik va tahliliy yondashuvlar qo'llanildi. Tadqiqotda quyosh va shamol energiyasi asosidagi tizimlar tanlab olindi, chunki ular O'zbekiston sharoitida eng istiqbolli qayta tiklanadigan manbalar hisoblanadi. Birinchi bosqichda mavjud energiya zaxiralash qurilmalari — batareyalar, superkondensatorlar, gidroakkumulyator tizimlari va issiqlik akkumulyatorlari texnik ko'rsatkichlari o'rganildi. Ma'lumotlar mahalliy va xorijiy manbalardan, shu jumladan xalqaro ilmiy maqolalar, texnik hisobotlar hamda ishlab chiqaruvchilar ma'lumotnomasidan olindi. Ikkinchi bosqichda energiya zaxiralash tizimlarining ishlash samaradorligini baholash uchun matematik modellashtirish va simulyatsiya usullari qo'llanildi. matlab/Simulink dasturiy muhiti yordamida quyosh panellari va shamol generatorlari bilan integratsiyalashgan akkumulyator tizimlarining ish jarayoni modellashtirildi. Har bir tizim uchun quvvat yo'qotishlari, zaxiralash va qayta berish samaradorligi, energiya aylanish koeffitsienti (Round-Trip Efficiency) aniqlanib, ularning turlar bo'yicha taqqoslanishi amalga oshirildi. Uchinchi bosqichda laboratoriya sharoitida kichik o'lchamdagi akkumulyator tizimi (24V Li-ion batareya) asosida tajriba o'tkazildi.

Tajriba davomida tizimning zaryad va razryad sikllari, harorat o'zgarishlari, va kuchlanish-barqarorlik ko'rsatkichlari qayd etildi. Ushbu natijalar asosida energiya zaxiralashning real sharoitlarda qayta tiklanadigan manbalarning barqaror ishlashiga ta'siri aniqlab chiqildi. Olingan natijalar statistik tahlil yordamida umumlashtirildi, har bir energiya manbasi uchun eng samarali zaxiralash texnologiyasi aniqlanib, amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

Jadval 1. Qayta tiklanadigan energiya manbalari va ularni zaxiralash texnologiyalari

Qayta tiklanadigan energiya manbasi	Asosiy muammo/cheklov	Tavsiya etilgan zaxiralash texnologiyasi	Afzalliklari	Kamchiliklari
Quyosh energiyasi	Kunduzi ishlab chiqarish, kechasi yetishmaslik	Litiy-ion batareyalar, issiqlik zaxiralash tizimlari	Yuqori energiya zichligi, tez zaryadlanish	Yuqori tannarx, cheklangan xizmat muddati
Shamol energiyasi	Shamol tezligi o'zgaruvchanligi	Siqilgan havo zaxiralash, oqim batareyalari	Uzluksiz energiya ta'minoti, uzoq xizmat muddati	Tizim murakkabligi, katta maydon talab qiladi
Biomassa	Ishlab chiqarish notekisligi	Termal zaxiralash, gidroakkumulyatsiya	Ekologik toza, uzoq muddatli ishlash	Infratuzilm a xarajatlari yuqori
Gidroenergiya	Suv ta'minoti bilan bog'liq cheklovlar	Gidroakkumulyatsiya	Yuqori samaradorlik, uzoq muddat ishlash	Ekologik ta'sir, joylashuvga bog'liqlik

Jadval 2. Energiya zaxiralash tizimlarining samaradorligi va qo'llanilish doirasi

Zaxiralash texnologiyasi	Energiya samaradorligi (%)	Ishlash muddati (yil)	Eng mos keladigan energiya manbasi	O'zbekiston sharoitida qo'llash imkoniyati
Litiy-ion batareyalar	85–95	10–15	Quyosh, shamol	Yuqori, ammo tannarxni kamaytirish talab qilinadi
Natriy-ion batareyalar	80–90	12–18	Quyosh, shamol	O'rta, mahalliy ishlab chiqarish imkoniyati mavjud
Gidroakkumulyatsiya	70–85	30–50	Biomassa, shamol, quyosh	Yuqori, mavjud suv resurslari bilan integratsiya talab qilinadi
Siqilgan havo zaxiralash (CAES)	50–70	25–40	Shamol, quyosh	O'rta, katta maydon va infratuzilma kerak

Birinchi jadval “Qayta tiklanadigan energiya manbalari va ularni zaxiralash texnologiyalari” mavzusiga bag'ishlangan. U har bir energiya manbasining asosiy muammo yoki cheklovlarini, ularni bartaraf etish uchun tavsiya etilgan zaxiralash texnologiyalarini, shuningdek, har bir texnologiyaning afzallik va kamchiliklarini ko'rsatadi. Jadval orqali o'quvchi qayta tiklanadigan energiya manbalaridagi o'zgaruvchanlik va zaxiralash texnologiyalarining energiya tizimining barqarorligi uchun ahamiyatini aniq tushunishi mumkin. Masalan, quyosh energiyasi kunduzi ko'p energiya ishlab chiqaradi, ammo kechasi yetishmaslik muammosi mavjud bo'lib, litiy-ion batareyalar yoki issiqlik zaxiralash tizimlari bu muammoni bartaraf etadi. Ikkinchi jadval “Energiya zaxiralash tizimlarining samaradorligi va qo'llanilish doirasi”ga bag'ishlangan. U turli zaxiralash texnologiyalarining energiya samaradorligini, ish faoliyati muddatini, eng mos keladigan energiya manbalarini va O'zbekiston sharoitida ularni qo'llash imkoniyatini ko'rsatadi. Ushbu jadval yordamida energiya zaxiralash tizimlarini tanlashda iqtisodiy samaradorlik, ekologik foyda va texnologik imkoniyatlarni solishtirish mumkin. Masalan, litiy-ion

batareyalar yuqori samaradorlikka ega, ammo tannarxi yuqori bo'lgani sababli iqtisodiy jihatdan qaysi sharoitda qo'llanishini aniqlash muhim hisoblanadi. Umuman olganda, har ikkala jadval qayta tiklanadigan energiya manbalarida energiya zaxiralashning strategik va texnik ahamiyatini vizual tarzda tushuntirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot muhokamasi. Qayta tiklanadigan energiya manbalari (quyosh, shamol, biomassa, gidro va geotermal energiya) kelajak energiya tizimining barqaror va ekologik toza yo'nalishlarini belgilaydi. Biroq ularning tabiiy o'zgaruvchanligi energiya tizimlarida muvozanatni saqlashda muammolarni yuzaga keltiradi. Shu bois energiya zaxiralash texnologiyalari ushbu tizimlarning ajralmas qismiga aylanmoqda. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, energiya zaxiralashning asosiy vazifasi ishlab chiqarilgan ortiqcha energiyani to'plash va talab oshgan paytda uni qayta tarmoqqa uzatishdir. Ayniqsa, quyosh energiyasida kunduzi hosil bo'lgan energiyani kechasi foydalanish uchun saqlash, shamol energiyasida esa notekis shamol tezligidan kelib chiqadigan energiya tebranishlarini barqarorlashtirish muhimdir. Bu jarayon elektr tarmoqlarining ishonchliligi va barqarorligini oshiradi. Zamonaviy tadqiqotlar akkumulyatorli tizimlar (litiy-ion, natriy-ion, oqim batareyalari) hamda issiqlik va mexanik zaxiralash texnologiyalarining (gidroakkumulyatsiya, siqilgan havo tizimlari) afzalliklarini ta'kidlaydi. Masalan, litiy-ion batareyalar yuqori energiya zichligi va tez zaryadlanish imkoniyatlari bilan ajralib turadi, ammo ularning tannarxi yuqori. Shu bilan birga, gidroenergiya asosidagi zaxiralash texnologiyasi ekologik xavfsiz va uzoq muddatli ishlash xususiyatiga ega. Bundan tashqari, tadqiqot natijalari qayta tiklanadigan energiya manbalari tarmoqqa qo'shilayotgan paytda energiya zaxiralash tizimlari elektr ta'minotining uzluksizligini ta'minlashda, quvvat tebranishlarini muvofiqlashtirishda hamda tizim samaradorligini oshirishda muhim rol o'ynashini ko'rsatadi. Shuningdek, "aqlli tarmoqlar" (smart grid) konsepsiyasini qo'llash energiya zaxiralash tizimlari bilan integratsiyalashgan holda ishlaganda, energiya ta'minoti yanada optimal bo'ladi. Tadqiqot davomida aniqlanganidek, O'zbekiston sharoitida qayta tiklanadigan energiya manbalarini rivojlantirish jarayonida energiya zaxiralash texnologiyalariga e'tibor qaratish zarur. Bu mamlakatda elektr energiyasi taqchilligi va yuklamaning notekis taqsimlanishini kamaytirishga yordam beradi. Shuningdek, energiya zaxiralashning iqtisodiy samaradorligini oshirish uchun mahalliy ishlab chiqarish bazasini yaratish, energiya infratuzilmasini modernizatsiya qilish va davlat tomonidan qo'llab-quvvatlash dasturlarini kengaytirish muhim hisoblanadi. Umuman olganda, energiya zaxiralash texnologiyalari qayta tiklanadigan energiya tizimlarining ishonchliligi,

barqarorligi va iqtisodiy foydaliligini oshirishda strategik ahamiyat kasb etadi. Shu sababli bu yo'nalishda innovatsion texnologiyalarni joriy etish, ilmiy tadqiqotlarni kengaytirish va investitsiya muhitini yaxshilash dolzarb vazifalardan biridir.

Xulosa. Qayta tiklanadigan energiya manbalarida energiya zaxiralash texnologiyalarining joriy etilishi energetika tizimining barqaror ishlashini ta'minlashda muhim omil hisoblanadi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, energiya zaxiralash tizimlari ishlab chiqarish va iste'mol o'rtasidagi muvozanatni saqlab turish, energiya isrofini kamaytirish hamda elektr tarmoqlarining uzluksiz faoliyatini kafolatlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Quyosh va shamol energiyasi kabi manbalarining o'zgaruvchanligi sababli, zaxiralash tizimlari ularning samarali ishlashini ta'minlaydi. Shuningdek, energiya zaxiralash iqtisodiy samaradorlikni oshirish, ekologik yukni kamaytirish va energiya xavfsizligini mustahkamlashda ham muhim ahamiyatga ega. Kelajakda O'zbekiston sharoitida energiya zaxiralash texnologiyalarini rivojlantirish, mahalliy resurslarga asoslangan yechimlarni ishlab chiqish va qayta tiklanadigan energiya infratuzilmasi bilan integratsiyalash dolzarb yo'nalishlardan biri bo'lib qoladi. Shu orqali mamlakatda barqaror va ekologik toza energiya tizimini shakllantirishga erishish mumkin bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish to'g'risida"gi PQ-4422-son qarori, 2019-yil 22-avgust.
2. IEA (International Energy Agency). World Energy Outlook 2023. Paris: IEA Publications, 2023.
3. REN21. Renewables 2024 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat, 2024.
4. Rahimov, A., & Tursunov, B. "O'zbekiston energetika tizimida qayta tiklanadigan energiya manbalarining o'rni." Energetika va Iqtisodiyot jurnali, №3, 2022.
5. Chen, H., Cong, T. N., Yang, W., & Tan, C. "Progress in electrical energy storage system: A critical review." Progress in Natural Science, Vol. 19, 2023.
6. Zohidov, S. "Quyosh energiyasini saqlash texnologiyalari va ularning amaliy qo'llanilishi." O'zbekiston Energetika Axborotnomasi, 2021, №2.
7. Lund, H., Østergaard, P. A., & Mathiesen, B. V. Energy storage and smart energy systems: A roadmap for renewable integration. Elsevier, 2022.
8. O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. Qayta tiklanadigan energiya manbalarini rivojlantirish bo'yicha 2030-yilgacha mo'ljallangan konsepsiya, 2023.