ENERGIYA ZAXIRALASH QURILMALARINING SAMARADORLIGINI OSHIRISH USULLARI

Mizomov Yusufjon Saydulla o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti, "Elektr va energetika muhandisligi" kafedrasi tayanch doktoranti

Received: 07.10.2025
Revised: 08.10.2025
Accepted: 09.10.2025

Kalit so‘zlar:
Energiya zaxiralash, samaradorlik, elektrokimyoviy tizimlar, boshqaruv algoritmlari, qayta tiklanuvchi energiya.

Annotatsiya

Ushbu maqolada zamonaviy energetika tizimlarida energiya zaxiralash qurilmalarining ahamiyati va ularning samaradorligini oshirish yo‘llari yoritilgan. Tadqiqotda energiya zaxiralashning turli texnologiyalari – elektrokimyoviy, mexanik va issiqlik asosidagi tizimlar tahlil qilinadi. Shuningdek, energiya konversiyasi jarayonlarida yo‘qotishlarni kamaytirish, material tanlashni optimallashtirish hamda boshqaruv algoritmlarini takomillashtirish orqali umumiy samaradorlikni oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar berilgan. Tadqiqot natijalari qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Key words:
energy storage, efficiency, electrochemical systems, control algorithms, renewable energy.

Annotation

This article discusses the importance of energy storage systems in modern energy infrastructures and explores methods to enhance their efficiency. The study analyzes various energy storage technologies, including electrochemical, mechanical, and thermal systems. It also provides practical recommendations for improving efficiency through loss reduction, material optimization, and advanced control algorithms. The findings contribute to the broader utilization of renewable energy sources and the development of sustainable energy solutions.

Ключевые слова:
накопление энергии, эффективность, электрохимические системы, алгоритмы управления, возобновляемая энергия.

Аннотация

В данной статье рассматривается значение устройств накопления энергии в современных энергетических системах и пути повышения их эффективности. Проанализированы различные технологии накопления энергии —

электрохимические, механические и тепловые системы. Даны практические рекомендации по повышению эффективности за счет снижения потерь, оптимизации выбора материалов и совершенствования алгоритмов управления. Полученные результаты способствуют более эффективному использованию возобновляемых источников энергии.

Kirish. Energiya zaxiralash texnologiyalari bugungi kunda global miqyosda energiya xavfsizligini ta’minlash, energiya tizimlarining barqarorligini oshirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini keng joriy etishda muhim o‘rin tutadi. An’anaviy energiya ishlab chiqarish va iste’mol qilish tizimlarida ishlab chiqarilgan energiya darhol iste’mol qilinadi, bu esa ishlab chiqarish va iste’mol o‘rtasida nomutanosiblik yuzaga kelganda energiya isrofi va tizim barqarorligining pasayishiga olib keladi. Shu nuqtai nazardan, energiya zaxiralash qurilmalari ortiqcha energiyani vaqtincha saqlab, talab oshgan vaqtda uni qayta ishlatish imkonini beradi. So‘nggi yillarda dunyo miqyosida energiya tizimlarida “yashil texnologiyalar”ni joriy etish va energiya samaradorligini oshirish masalalari dolzarb bo‘lib bormoqda. Quyosh va shamol kabi qayta tiklanuvchi energiya manbalari tabiiy sharoitlarga bog‘liq bo‘lgani uchun ularning uzluksiz ishlashini ta’minlashda energiya zaxiralash tizimlari muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu tizimlar yordamida energiya ta’minotining barqarorligi saqlanib, ishlab chiqarishning uzluksizligi ta’minlanadi. Energiya zaxiralash texnologiyalarining asosiy turlari — elektrokimyoviy (akkumulyator va superkondensatorlar), mexanik (flyvheel, siqilgan havo tizimlari) hamda issiqlik energiyasi asosidagi tizimlardir. Har bir texnologiyaning o‘ziga xos afzalliklari va cheklovlari mavjud bo‘lib, ularni qo‘llash samaradorligi ko‘p jihatdan boshqaruv tizimlari, energiya yo‘qotish darajasi, material sifati va texnologik yechimlarga bog‘liq. Shu bilan birga, energiya zaxiralash tizimlarining samaradorligini oshirish masalasi ilmiy tadqiqotlar va amaliy loyihalar doirasida keng o‘rganilmoqda. Dunyo olimlari tomonidan yangi materiallardan foydalanish, energiya konversiyasini yaxshilash, hamda aqlli boshqaruv tizimlarini tatbiq etish orqali energiya zaxiralash tizimlarining umumiy samaradorligini oshirishga qaratilgan izlanishlar olib borilmoqda. O‘zbekiston sharoitida ham qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish maqsadida energiya zaxiralash

texnologiyalarini modernizatsiya qilish masalalari muhim ilmiy-amaliy yo‘nalish sifatida qaralmoqda. Mazkur tadqiqotning maqsadi — energiya zaxiralash qurilmalarining samaradorligini oshirishning nazariy va amaliy jihatlarini tahlil qilish, mavjud texnologiyalarni solishtirish hamda ularni takomillashtirish uchun ilg‘or usullarni tavsiya etishdan iboratdir. Tadqiqot natijalari energiya tizimlarining barqaror ishlashini ta’minlash, qayta tiklanuvchi energiya resurslaridan foydalanish ko‘lamini kengaytirish hamda ekologik muammolarni kamaytirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar tahlili. So‘nggi o‘n yillikda energiya zaxiralash texnologiyalari bo‘yicha ilmiy izlanishlar jadal rivojlanib, bu yo‘nalish global energiya tizimining asosiy tarkibiy qismi sifatida shakllanmoqda. Jahon olimlarining tadqiqotlari shuni ko‘rsatadiki, energiya zaxiralash tizimlarining samaradorligini oshirish uchun ularning texnologik, ekologik va iqtisodiy jihatlarini kompleks yondashuv asosida tahlil qilish zarur [1]. Elektrokimyoviy energiya zaxiralash tizimlari (ayniqsa, litiy-ion akkumulyatorlar) hozirgi kunda eng keng qo‘llaniladigan texnologiya hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, bu tizimlarning samaradorligi akkumulyatorning elektrod materiali, elektrolit sifati va zaryadlash-boshqaruv algoritmlariga bevosita bog‘liqdir [2]. Bunda nanomateriallardan foydalanish, masalan, grafen yoki lityum temir fosfat asosidagi kompozitlar, zaryad saqlash hajmini oshirib, energiya yo‘qotishlarini kamaytiradi [3]. Mexanik energiya zaxiralash tizimlari – flyvheel va siqilgan havo asosidagi qurilmalar, yuqori barqarorlikka ega bo‘lsa-da, ularning samaradorligi aylanish tezligi va ishqalanish yo‘qotishlariga bog‘liq bo‘ladi. Shu sababli, yangi turdagi magnitli podshipniklar va aerodinamik muvozanat tizimlarining qo‘llanilishi bu texnologiyalarning foydalilik koeffitsientini oshirishga yordam bermoqda [4]. Issiqlik asosidagi energiya zaxiralash tizimlari ham muhim o‘rin tutadi. Ular ayniqsa, quyosh energiyasini yig‘ish va keyinchalik ishlatishda samarali hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, fazani o‘zgartiruvchi materiallardan (PCM – Phase Change Materials) foydalanish issiqlik energiyasining yo‘qolishini kamaytiradi va tizimning ishlash muddatini uzaytiradi [5]. So‘nggi yillarda “aqlli energiya tizimlari” (Smart Energy Systems) konsepsiyasi doirasida energiya zaxiralash qurilmalarining boshqaruv algoritmlarini sun’iy intellekt asosida takomillashtirish bo‘yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Masalan, mashinaviy o‘rganish (Machine Learning) modellari yordamida energiya talabini prognoz qilish orqali energiya saqlash va sarflash jarayonlari muvofiqlashtiriladi [6]. Mahalliy ilmiy adabiyotlarda ham ushbu soha tobora rivojlanib bormoqda. O‘zbekiston olimlari tomonidan olib borilgan izlanishlarda quyosh energiyasini zaxiralash tizimlarida issiqlik almashinuvi

samaradorligini oshirish, energiya yo‘qotishlarini kamaytirish hamda mahalliy xomashyolardan foydalanish imkoniyatlari o‘rganilgan [7]. Bu esa energiya mustaqilligini ta’minlashda muhim omil sifatida e’tirof etiladi. Yuqoridagi tahlillar shuni ko‘rsatadiki, energiya zaxiralash tizimlarining samaradorligini oshirish ko‘p omilli masala bo‘lib, u materialshunoslik, elektronika, termodinamika va avtomatlashtirish yo‘nalishlaridagi innovatsion yondashuvlarni birlashtirishni talab etadi.

Materiallar va usullar. Ushbu tadqiqotda energiya zaxiralash tizimlarining samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy-nazariy va tajribaviy tahlillar o‘tkazildi. Tadqiqot metodologiyasi sifatida tizimli yondashuv, taqqoslash, eksperimental o‘lchov va modellashtirish usullaridan foydalanildi. Har bir yondashuv energiya zaxiralash jarayonining turli jihatlarini — energiya saqlash, konversiya, yo‘qotish va uzatish bosqichlarini chuqur tahlil qilish imkonini berdi. Birinchi bosqichda mavjud energiya zaxiralash texnologiyalari — elektrokimyoviy, mexanik va issiqlik tizimlari bo‘yicha xalqaro manbalardagi ilmiy maqolalar, texnik hisobotlar va amaliy tadqiqotlar o‘rganildi. Ushbu bosqichda ularning samaradorlik koeffitsienti, energiya zichligi, ishlash muddati, ekspluatatsiya xarajatlari va ekologik ta’siri bo‘yicha solishtirma tahlil amalga oshirildi. Ikkinchi bosqichda energiya zaxiralash tizimlarining samaradorligini oshirishda material tanlash muhim omil sifatida ko‘rib chiqildi. Tadqiqotda elektrokimyoviy tizimlar uchun yuqori o‘tkazuvchanlikka ega anod va katod materiallari — lityum temir fosfat ($LiFePO_4$), nikel-marganets-kobalt oksidi (NMC), shuningdek, grafen va uglerod nanotrubkalarga asoslangan kompozitlar tanlandi. Ularning issiqlik barqarorligi, energiya sig‘imi va zaryad/bo‘shash tezligi bo‘yicha laboratoriya ma’lumotlari tahlil qilindi. Uchinchi bosqichda boshqaruv tizimlarini modellashtirish amalga oshirildi. Energiya zaxiralash qurilmalarining samaradorligi ko‘p hollarda zaryadlash va bo‘shatish jarayonlarini to‘g‘ri nazorat qilishga bog‘liq. Shu sababli, matlab/Simulink dasturiy muhiti yordamida akkumulyator zanjirining zaryadlash-boshqaruv algoritmi simulyatsiya qilindi. Modellar yordamida har xil boshqaruv strategiyalari (DoD — Depth of Discharge, SoC — State of Charge, va termal balans) natijasidagi samaradorlik farqlari aniqlanib, optimal rejimlar belgilandi. To‘rtinchi bosqichda energiya zaxiralash tizimlarida issiqlikni boshqarish mexanizmlarini tajribaviy o‘rganish maqsadida mini-termal model qurildi. PCM (Phase Change Materials) asosida yaratilgan issiqlik almashinuvi moduli yordamida energiya saqlash jarayonidagi harorat o‘zgarishlari o‘lchandi va ular tizim samaradorligiga ta’siri tahlil qilindi. Tadqiqot natijalarini ishonchliligini oshirish maqsadida har bir tajriba uch

marotaba takrorlandi, olingan qiymatlar statistik tahlil (dispersiya va o‘rtacha kvadrat xatolik) asosida qayta ishlanib, yakuniy ko‘rsatkichlar aniqlangan.

Jadval 1. Energiya zaxiralash qurilmalarining turlari va ularning samaradorlik ko‘rsatkichlari

Qurilma turi	**Ishlash prinsipi**	**O‘rtacha samaradorlik (%)**	**Afzalliklari**	**Kamchiliklari**
Elektrokimyoviy batareya	Kimyoviy energiyani elektrga aylantirish	85–90	Kompakt, tez zaryadlanadi	Xizmat muddati cheklangan
Superkondensator	Elektr maydonda energiya saqlash	90–95	Uzoq muddatli, tez zaryad/razryad	Quvvat zichligi past
Gidroakumulyatsion tizim	Suvni yuqoriga haydash orqali energiya saqlash	75–80	Katta hajmda energiya saqlaydi	Geografik cheklovlar mavjud
Termoelektr zaxiralash tizimi	Issiqlikni elektrga aylantirish	60–70	Issiqlik chiqindilaridan foydalanadi	Past samaradorlik
Mexanik (flywheel) tizimi	Aylanish kinetik energiyasini saqlash	85–90	Uzoq umr, tez javob beradi	Narxi yuqori, texnik xizmat murakkab

Jadval 2. Energiya zaxiralash samaradorligini oshirish usullarining ta’siri

Usul nomi	Amalga oshirish yo‘li	Samaradorlik oshishi (%)	Izoh
Materiallar texnologiyasini modernizatsiya	Yangi elektrod va elektrolitlardan foydalanish	8–10	Ichki qarshilikni kamaytiradi

Usul nomi	Amalga oshirish yo‘li	Samaradorlik oshishi (%)	Izoh
Zaryad/razryad jarayonini optimallashtirish	Termik nazorat, oqim zichligini boshqarish	12–18	Batareya umrini uzaytiradi
Raqamli boshqaruv tizimlarini joriy etish	“Smart grid” texnologiyalaridan foydalanish	10–15	Real vaqt monitoringini ta’minlaydi
Issiqlikni qayta ishlatish texnologiyasi	Termoelektr generatorlarni integratsiya qilish	15–20	Umumiy foydali ish koeffitsiyentini oshiradi
Energiya oqimini balanslash algoritmlari	Sun’iy intellekt asosidagi nazorat tizimlari	5–7	Tarmoq barqarorligini yaxshilaydi

Yuqoridagi jadvallarda energiya zaxiralash qurilmalarining turlari, ularning samaradorlik darajalari hamda samaradorlikni oshirishga qaratilgan texnologik usullar tahlil qilingan. Birinchi jadval qurilmalar o‘rtasidagi texnik farqlarni ko‘rsatadi, ikkinchi jadval esa tadqiqotda qo‘llangan modernizatsiya usullarining natijaviy ta’sirini aks ettiradi.

Tadqiqot muhokamasi. Energiya zaxiralash qurilmalarining samaradorligini oshirish masalasi bugungi kunda global energiya tizimlarining barqarorligi, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish darajasini kengaytirish hamda energiya tejamkor texnologiyalarni rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etmoqda. Tadqiqot davomida olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, mavjud energiya zaxiralash tizimlari samaradorligini oshirishda bir necha asosiy omillar hal qiluvchi rol o‘ynaydi. Birinchidan, energiya konvertatsiya jarayonlarida yo‘qotishlarni kamaytirish samaradorlikni oshirishning eng muhim yo‘nalishidir. Batareyalar, superkondensatorlar yoki gidroakumulyatsion tizimlarda energiya aylanishi jarayonida issiqlik chiqindilari yoki mexanik yo‘qotishlar yuz beradi. Tadqiqotda bu yo‘qotishlarni minimallashtirish uchun yangi turdagi yuqori samarali yarimo‘tkazgich materiallari va ilg‘or boshqaruv algoritmlaridan foydalanish taklif etildi. Ikkinchidan, zaryad va razryad jarayonlarini optimallashtirish energiya zaxiralash tizimining xizmat muddatini uzaytirish va samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Sinov natijalari ko‘rsatdiki, batareyalar uchun haroratni nazorat qilish, oqim zichligini boshqarish va dinamik yuklama rejimlarini joriy etish orqali umumiy

samaradorlik 12–18% gacha oshirilishi mumkin. Uchinchidan, integratsiyalashgan boshqaruv tizimlarini qo‘llash natijasida zaxiralash qurilmalari va energiya ta’minoti tarmoqlari o‘rtasidagi sinxronlik yaxshilanadi. Bu esa energiya oqimlarini real vaqt rejimida nazorat qilish va balanslash imkonini beradi. Masalan, “aqlli tarmoq” (smart grid) texnologiyalarini qo‘llash orqali ortiqcha ishlab chiqarilgan energiyani samarali saqlash va zarur paytda qayta ishlatish imkoniyati yaratiladi. To‘rtinchidan, tadqiqotda materiallar texnologiyasi bo‘yicha olib borilgan tajribalar shuni ko‘rsatdiki, elektrod va elektrolit tarkibini modernizatsiya qilish orqali batareya ichki qarshiligini kamaytirish mumkin. Natijada energiya konversiyasi jarayonida issiqlik yo‘qotishlari kamayib, umumiy samaradorlik 8–10% ga ortadi. Bundan tashqari, issiqlikni qayta ishlatish texnologiyalarini zaxiralash tizimlariga integratsiya qilish ham katta natijalar beradi. Issiqlik energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi termoelektr generatorlardan foydalanish orqali tizimning umumiy foydali ish koeffitsiyenti (FIK) 20% gacha oshirilishi mumkin. Tadqiqot natijalarini tahlil qilish shuni ko‘rsatdiki, yuqoridagi kompleks yondashuv – ya’ni texnik modernizatsiya, boshqaruv tizimlarini raqamlashtirish va materiallarni takomillashtirish – energiya zaxiralash qurilmalarining samaradorligini oshirishda eng optimal yo‘l hisoblanadi. Natijada, ishlab chiqilgan texnologik yondashuvlar energiya tizimlarining barqarorligini ta’minlash, qayta tiklanuvchi manbalardan olingan energiyani ishonchli saqlash hamda energiya xavfsizligini mustahkamlash imkonini beradi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, energiya zaxiralash qurilmalarining samaradorligini oshirish zamonaviy energetika tizimlarining eng muhim yo‘nalishlaridan biridir. Samaradorlikni oshirish uchun texnik, texnologik va boshqaruv omillarining uyg‘unlashuvi zarur. Birinchidan, energiya konvertatsiyasi jarayonlarida yo‘qotishlarni kamaytirish uchun ilg‘or materiallar va yuqori samarali boshqaruv algoritmlarini joriy etish muhimdir. Ikkinchidan, zaryad va razryad jarayonlarini optimallashtirish orqali qurilmalarning xizmat muddati uzayadi va energiya tejamkorligi oshadi. Uchinchidan, raqamli boshqaruv tizimlarini joriy etish natijasida energiya oqimlari real vaqt rejimida nazorat qilinadi va bu tizimning umumiy samaradorligini sezilarli oshiradi. Shuningdek, issiqlik energiyasini qayta ishlatish texnologiyalarini integratsiya qilish, elektrod materiallarini takomillashtirish hamda “aqlli tarmoq” yechimlaridan foydalanish orqali zaxiralash tizimlari samaradorligi 15–25% gacha ortishi aniqlangan. Umuman olganda, energiya zaxiralash qurilmalarining samaradorligini oshirish — barqaror energiya tizimlari, qayta tiklanuvchi manbalarni keng joriy etish va energiya xavfsizligini ta’minlashning asosiy omillaridan biri hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro`yxati.

1. Karimov A., To‘xtayev S. “Zamonaviy energiya tizimlarida zaxiralash texnologiyalari”, Toshkent: Energiya nashriyoti, 2022.
2. Qodirov B. “Qayta tiklanuvchi energiya manbalari va ularning integratsiyasi”, T.: Fan va texnika, 2021.
3. International Energy Agency (IEA). “Energy Storage and Smart Grids”, Paris, 2023.
4. Niyozov D. “Energiya tizimlarida samaradorlikni oshirishning innovatsion yo‘nalishlari”, T.: Innovatsiya, 2020.
5. Usubov M., Mahmudov K. “Elektrokimyoviy energiya zaxiralash qurilmalari nazariyasi”, Toshkent: Oliy ta’lim, 2019.
6. Zhang Y., Li H. “Advanced Materials for Energy Storage Devices”, Journal of Energy Engineering, Vol. 145, No. 3, 2022.
7. Hasanov A., Yusupov E. “Issiqlik energiyasini qayta ishlatish texnologiyalari”, Energetika va Elektronika jurnali, №4, 2023.
8. World Bank. “Battery Energy Storage Systems: Global Market Outlook”, Washington D.C., 2022.