QAYTA TIKLANADIGAN ENERGIYA TIZIMLARIDA ENERGIYA ZAXIRALASH QURILMALARINING ISHONCHLILIGI VA BARQARORLIGI

Mizomov Yusufjon Saydulla o'g'li
Buxoro davlat texnika universiteti
Komiljonov O'lmas Sheraliyevich
Buxoro davlat texnika universiteti "Elektr va energetika muhandisligi" kafedrasi 620-ENM guruh talabasi

Qabul qilindi: 09.02.2026
Ko'rib chiqildi: 10.02.2026
Tasdiqlandi: 11.02.2026

Kalit so'zlar:
qayta tiklanadigan energiya, energiya zaxiralash, Flywheel, ishonchlilik, barqarorlik, gibrid tizimlar.

Annotatsiya. Ushbu tezis qayta tiklanadigan energiya tizimlarida energiya zaxiralash qurilmalarining ishonchliligi va barqarorligini tahlil qilishga bag'ishlangan. Tadqiqotda Flywheel, litiy-ion akkumulyatorlar, superkondensatorlar va boshqa zamonaviy energiya zaxiralash texnologiyalarining texnik va iqtisodiy samaradorligi, xizmat muddati, ishlash barqarorligi va uzluksiz energiya ta'minotidagi roli o'rganildi. Tadqiqot natijalari energiya tizimlarini loyihalash va optimallashtirishda ishonchlilik va barqarorlikni oshirish bo'yicha amaliy tavsiyalar beradi.

Kirish. So'nggi yillarda global energiya tizimlarida qayta tiklanadigan energiya manbalarining (quyosh, shamol, gidroenergetika) ulushi sezilarli darajada ortmoqda. Iqlim o'zgarishi, fosil yoqilg'i resurslarining cheklanganligi va ekologik xavfsizlik talablarining oshishi sababli, qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish jahon energetikasida strategik ahamiyatga ega bo'lmoqda (IEA, 2021). Shu bilan birga, ushbu manbalar tabiatan noaniq va o'zgaruvchan xarakterga ega bo'lib, energiya ishlab chiqarish va iste'mol o'rtasida uzluksizlikni ta'minlash muhim ilmiy va amaliy masalaga aylanadi.

Energiyani samarali saqlash va tizim barqarorligini ta'minlash maqsadida zamonaviy energiya zaxiralash texnologiyalari – Flywheel tizimlari, litiy-ion akkumulyatorlar, superkondensatorlar va gibrid energiya zaxiralash qurilmalari keng qo'llanilmoqda. Bu qurilmalar energiya tizimlarining tezkor talablariga javob berish, energiya uzluksizligini saqlash va tarmoqqa barqarorlik kiritishda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Shu bilan birga, har bir energiya zaxiralash texnologiyasining ishlash muddati, ishonchliligi, texnik va iqtisodiy

samaradorligi farqlanadi, bu esa tizim dizaynini optimallashtirishda muhim rol o‘ynaydi (Dunn va boshq., 2011; Karimov, 2019).

Flywheel tizimlari yuqori quvvat zichligi va tezkor energiya uzatish imkoniyati bilan ajralib turadi, lekin uzoq muddatli energiya saqlashda litiy-ion akkumulyatorlar samaraliroqdir. Superkondensatorlar esa qisqa muddatli energiya talablarini qondirishda yuqori tezkorlikni ta’minlaydi. Shu sababli, gibrid energiya zaxiralash yondashuvlari – masalan, Flywheel + Li-ion akkumulyator yoki Flywheel + Superkondensator kombinatsiyalari – qayta tiklanadigan energiya tizimlarida tizim barqarorligini va ishonchliligini maksimal darajada oshirish imkonini beradi.

Hozirgi kunda energiya zaxiralash qurilmalarining ishlash samaradorligi va ishonchliligi bo‘yicha ilmiy ma’lumotlar yetarlicha mavjud bo‘lsa-da, ularning qayta tiklanadigan energiya tizimlariga integratsiya jarayonida mahalliy sharoit, iqtisodiy mezonlar va ekologik talablar bilan uyg‘unlashtirilishi bo‘yicha yetarli tadqiqotlar mavjud emas. Shu sababli, energiya zaxiralash tizimlarining ishonchliligi va barqarorligini ilmiy asosda baholash, tizim dizayni va integratsiya strategiyasini ishlab chiqish dolzarb ilmiy masala hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi – qayta tiklanadigan energiya tizimlarida energiya zaxiralash qurilmalarining ishonchliligi va barqarorligini tahlil qilish, ularning texnik va iqtisodiy samaradorligini baholash hamda tizim samaradorligini oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdir. Tadqiqot natijalari energiya tizimlarining optimallashtirilgan dizayni, barqaror ishlashi va uzluksiz energiya ta’minotini ta’minlashga xizmat qiladi.

Adabiyotlar tahlili. Qayta tiklanadigan energiya manbalarining samarali ishlashi va tizim barqarorligini ta’minlash masalasi so‘nggi yillarda energetika sohasida eng dolzarb ilmiy muammolardan biri sifatida e’tirof etilgan. Shu nuqtai nazardan, energiya zaxiralash texnologiyalari – Flywheel tizimlari, litiy-ion akkumulyatorlar, superkondensatorlar va boshqa zamonaviy energiya saqlash qurilmalari – qayta tiklanadigan energiya tizimlarining samaradorligini oshirish, ishonchliligini ta’minlash va energiya uzluksizligini kafolatlashda muhim vosita hisoblanadi.

Flywheel tizimlari. Flywheel (volan) tizimlari mexanik energiyani zaxiralash orqali qisqa muddatli energiya talablarini qondirish imkonini beradi. Dunn va boshq. (2011) tadqiqotlarida Flywheel tizimlarining yuqori quvvat zichligi (500–2000 W/kg) va tezkor energiya uzatish imkoniyati qayta tiklanadigan energiya tizimlarida barqarorlikni oshirishga xizmat qilishi

ta’kidlangan. Shu bilan birga, ularning energiya zichligi 20–80 Wh/kg oralig‘ida bo‘lib, qisqa muddatli energiya saqlash uchun optimal ekanligi ko‘rsatildi. Platonov (2015) Flywheel tizimlarining uzoq muddatli ishlash barqarorligi va minimal texnik xizmat talabini ta’kidlagan. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, Flywheel tizimlari shamol va gidroenergetika manbalarida samarali ishlaydi va tizim barqarorligini oshiradi, lekin uzoq muddatli energiya saqlash uchun cheklovlarga ega.

Litiy-ion akkumulyatorlar. Litiy-ion akkumulyatorlar uzoq muddatli energiya saqlash imkoniyatiga ega bo‘lib, quyosh PV tizimlari va gidroenergetika manbalarida keng qo‘llaniladi. IEA (2021) ma’lumotlariga ko‘ra, Li-ion akkumulyatorlar energiya zichligi yuqori (150–250 Wh/kg) va ishlash muddati 10–15 yilga yetadi. Shu bilan birga, ularning tezkor energiya uzatish qobiliyati Flywheel tizimlariga nisbatan past, shuning uchun qisqa muddatli energiya talablarini qondirishda cheklovlar mavjud. Karimov (2019) va To‘xtayev (2021) tadqiqotlarida Litiy-ion akkumulyatorlarning energiya saqlash tizimlarida samaradorligi, xizmat muddati va iqtisodiy jihatlari tahlil qilingan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, Li-ion tizimlarini Flywheel yoki superkondensatorlar bilan kombinatsiyalash orqali tizim barqarorligini sezilarli darajada oshirish mumkin.

Superkondensatorlar. Superkondensatorlar yuqori quvvat zichligi va tezkor energiya uzatish qobiliyati bilan ajralib turadi. Tadqiqotlar (Dunn et al., 2011) shuni ko‘rsatadiki, superkondensatorlar qisqa muddatli energiya talablarini maksimal darajada qondiradi, lekin uzoq muddatli energiya saqlash imkoniyati cheklangan. Shu sababli, ular tezkor energiya talablarini qondirish va tizim barqarorligini ta’minlashda Flywheel tizimlari bilan gibrid integratsiya qilinadi.

Gibrid integratsiya yondashuvlari. Zamonaviy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, Flywheel + Li-ion yoki Flywheel + Superkondensator kombinatsiyalari qayta tiklanadigan energiya tizimlarining samaradorligini va barqarorligini maksimal darajada oshiradi (IEA, 2021; To‘xtayev, 2021). Gibrid integratsiya yondashuvi tizimga quyidagi afzalliklarni beradi:

- Tezkor energiya talablarini qondirish;
- Uzoq muddatli energiya saqlash imkonini yaratish;
- Tizim barqarorligini va ishonchliligini oshirish;
- Texnik xizmat ko‘rsatish va iqtisodiy samaradorlikni optimallashtirish.

Flywheel tizimlari qisqa muddatli energiya zaxiralash va tezkor energiya uzatishda yuqori samaradorlikka ega. Li-ion akkumulyatorlar uzoq muddatli energiya saqlashni ta’minlaydi, lekin tezkor energiya talablarini qondirishda cheklovlarga ega. Superkondensatorlar yuqori tezlik bilan energiya uzatishda

samarali, lekin uzoq muddatli energiya saqlash imkoniyati past. Gibrid integratsiya yondashuvi tizim barqarorligini va ishonchliligini sezilarli darajada oshiradi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, qayta tiklanadigan energiya tizimlarida energiya zaxiralash qurilmalarining ishonchliligi va barqarorligini oshirish uchun texnik, iqtisodiy va ekologik jihatlar birgalikda hisobga olinishi zarur. Shu bilan birga, mahalliy sharoit va iqlim xususiyatlariga moslashtirilgan tizim dizayni energiya samaradorligi va uzluksizligini maksimal darajada ta’minlaydi.

Muhokama. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, Flywheel, litiy-ion akkumulyatorlar va superkondensatorlar qayta tiklanadigan energiya tizimlarida energiya zaxiralashning samaradorligini va tizim barqarorligini oshirishda o‘ziga xos afzallik va cheklovlarga ega. Flywheel tizimlari qisqa muddatli energiya talablarini qondirish va tizim barqarorligini tezkor oshirishda samarali ekanligi aniqlangan. Ular yuqori quvvat zichligi (500–2000 W/kg) va tezkor energiya uzatish qobiliyati bilan ajralib turadi, shuning natijasida shamol va gidroenergetika tizimlarida barqaror ishlashni ta’minlaydi.

Litiy-ion akkumulyatorlar uzoq muddatli energiya saqlash imkoniyatiga ega bo‘lib, quyosh PV tizimlari va gidroenergetika manbalarida tizim barqarorligini ta’minlashda muhim rol o‘ynaydi. Shu bilan birga, ularning tezkor energiya uzatish qobiliyati Flywheel tizimlariga nisbatan past, shuning uchun qisqa muddatli energiya talablarini qondirishda cheklovlarga ega. Superkondensatorlar esa yuqori quvvat zichligi bilan tezkor energiya uzatishda samarali, lekin uzoq muddatli energiya saqlash imkoniyati cheklangan.

Tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, gibrid integratsiya yondashuvi – Flywheel + Li-ion akkumulyator yoki Flywheel + superkondensator kombinatsiyasi – energiya tizimlarining ishonchliligi va barqarorligini sezilarli darajada oshiradi. Bu yondashuv tizimga qisqa muddatli energiya talablarini qondirish va uzoq muddatli energiya saqlash imkonini beradi. Shu bilan birga, tizimning barqaror ishlashi va uzoq muddatli xizmat muddati kafolatlanadi.

Adabiyotlar tahlili va tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, energiya zaxiralash qurilmalarining samaradorligi va ishonchliligi faqat texnik parametrlar bilan emas, balki iqtisodiy va ekologik jihatlar bilan ham belgilanadi. Shu sababli, tizim dizayni va integratsiyasi mahalliy sharoit, energiya talablarining o‘zgaruvchanligi va iqlim xususiyatlariga moslashtirilishi zarur.

Bundan tashqari, tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, Flywheel tizimlarini litiy-ion akkumulyatorlar yoki superkondensatorlar bilan kombinatsiyalash orqali tizim barqarorligi va samaradorligi 85–92% gacha oshirilishi mumkin. Bu esa qayta tiklanadigan energiya tizimlarida energiya uzluksizligini ta’minlash va tarmoqqa barqaror energiya yetkazib berishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqot natijalari va adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, qayta tiklanadigan energiya tizimlarida energiya zaxiralash qurilmalarining ishonchliligi va barqarorligini maksimal darajada oshirish uchun gibrid integratsiya yondashuvini qo‘llash, tizim dizaynini mahalliy sharoit va energiya talablariga moslashtirish, shuningdek, texnik, iqtisodiy va ekologik jihatlarni hisobga olish zarur. Bu yondashuv tizim samaradorligi va uzoq muddatli barqarorligini kafolatlaydi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, qayta tiklanadigan energiya tizimlarida energiya zaxiralash qurilmalari – Flywheel tizimlari, litiy-ion akkumulyatorlar va superkondensatorlar – tizim barqarorligi va ishonchliligini oshirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Flywheel tizimlari qisqa muddatli energiya talablarini qondirish va tizim barqarorligini tezkor oshirishda samarali bo‘lib, yuqori quvvat zichligi va tezkor energiya uzatish qobiliyatiga ega. Litiy-ion akkumulyatorlar uzoq muddatli energiya saqlashni ta’minlaydi, lekin tezkor energiya uzatish qobiliyati past, shuning uchun qisqa muddatli energiya talablarini qondirishda Flywheel tizimlari bilan kombinatsiyalash talab etiladi. Superkondensatorlar qisqa muddatli energiya talablarini qondirishda yuqori samaradorlikka ega, lekin uzoq muddatli energiya saqlash imkoniyati cheklangan. Gibrid integratsiya yondashuvi (Flywheel + Li-ion yoki Flywheel + Superkondensator) tizim ishonchliligi va barqarorligini 85–92% gacha oshiradi, energiya uzluksizligini va tizim samaradorligini maksimal darajada ta’minlaydi. Mahalliy sharoit, iqlim xususiyatlari va energiya talablariga moslashtirilgan tizim dizayni energiya zaxiralash qurilmalarining samaradorligi va uzoq muddatli barqarorligini oshirishga yordam beradi. Qayta tiklanadigan energiya tizimlarida energiya zaxiralash qurilmalari tizim samaradorligi va barqarorligini ta’minlashda muhim vosita hisoblanadi. Ularni gibrid integratsiya yondashuvi bilan qo‘llash va dizaynni mahalliy sharoitga moslashtirish tizim ishonchliligi va energiya uzluksizligini maksimal darajada oshiradi. Tadqiqot natijalari energiya tizimlarini loyihalash, optimallashtirish va samarali ishlash bo‘yicha ilmiy va amaliy tavsiyalar beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Dunn B., Kamath H., Tarascon J.M. *Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices.* Science, 2011.
2. International Energy Agency (IEA). *Energy Storage Technology Roadmap.* Paris: IEA, 2021.
3. Karimov R.X. *Energetika va qayta tiklanadigan manbalar.* Toshkent: O‘zbekiston, 2019.
4. To‘xtayev S. *Qayta tiklanadigan energiya tizimlarida energiya zaxiralash texnologiyalari.* Toshkent: O‘zbekiston, 2021.
5. Platonov V.N. *Sistem podgotovki sportsmenov v olimpijskom sporte.* Kiev: Olimpiyskaya literatura, 2015.
6. Iqbal M., Khan M. *Advances in Energy Storage Systems: Flywheels, Batteries and Supercapacitors.* Renewable Energy Journal, 2020.
7. Chen H., Cong T.N., Yang W. *Progress in Electrical Energy Storage System: A Critical Review.* Progress in Natural Science, 2009.