QAYTA TIKLANADIGAN ENERGIYA MANBALARI ASOSIDAGI ENERGIYA QURILMALARINING SAMARADORLIGINI OSHIRISH VA TAKOMILLASHTIRISH

Mamarasulova Gulruh Shavkat qizi
E-mail: mamarasulovagulrux18@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.22741971

Annotatsiya. Mazkur maqolada qayta tiklanadigan energiya manbalari asosida ishlaydigan energetik qurilmalarning samaradorligini oshirish va ularni texnik jihatdan takomillashtirish masalalari tadqiq etilgan. Quyosh fotoelektrik tizimlari, shamol energetik qurilmalari, gibrid energiya tizimlari hamda energiya saqlash qurilmalarining ishlash xususiyatlari tahlil qilingan. Energetik qurilmalar samaradorligiga ta’sir etuvchi quyosh nurlanishi, harorat, shamol tezligi, changlanish, elektr uzatishdagi yo‘qotishlar va boshqaruv tizimlari kabi asosiy omillar aniqlangan. Tadqiqotda maksimal quvvat nuqtasini kuzatish (MPPT), aqlli monitoring, avtomatlashtirilgan boshqaruv, energiya saqlash tizimlari va gibrid texnologiyalardan foydalanish samaradorlikni oshirishning muhim yo‘nalishlari sifatida asoslangan. Shuningdek, qayta tiklanadigan energiya qurilmalarini raqamli boshqarish va prognozlash texnologiyalari bilan integratsiyalash orqali energiya ishlab chiqarishning barqarorligi, ishonchliligi va iqtisodiy samaradorligini oshirish imkoniyatlari yoritilgan.

Kalit so‘zlar: qayta tiklanadigan energiya, quyosh energetikasi, shamol energetikasi, fotoelektrik qurilma, energiya samaradorligi, MPPT, gibrid energetik tizim, energiya saqlash, akkumulyator, aqlli monitoring, avtomatlashtirilgan boshqaruv, energiya yo‘qotishlari, raqamli boshqaruv, elektr tarmog‘i.

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы повышения эффективности энергетических устройств на основе возобновляемых источников энергии и их технического усовершенствования. Анализируются характеристики солнечных фотоэлектрических систем, ветроэнергетических установок, гибридных энергетических систем и устройств хранения энергии. Выявлены основные факторы, влияющие на эффективность энергетических устройств, такие как солнечное излучение, температура, скорость ветра, пыль, потери при передаче электроэнергии и системы управления. В исследовании определены важные области повышения эффективности: отслеживание точки максимальной мощности (MPPT), интеллектуальный мониторинг, автоматизированное управление, системы хранения энергии и гибридные технологии. Также освещены возможности повышения стабильности, надежности и экономической эффективности производства энергии за счет интеграции устройств возобновляемой энергии с технологиями цифрового управления и прогнозирования.

Ключевые слова: возобновляемая энергия, солнечная энергия, ветровая энергия, фотоэлектрическое устройство, энергоэффективность, MPPT, гибридная

энергетическая система, хранение энергии, батарея, интеллектуальный мониторинг, автоматизированное управление, потери энергии, цифровое управление, электросеть.

Abstract. This article investigates issues related to enhancing the efficiency and technical improvement of energy systems based on renewable energy sources. The operational characteristics of solar photovoltaic systems, wind energy systems, hybrid energy systems, and energy storage devices are analyzed. Key factors influencing the efficiency of these energy systems—such as solar radiation, temperature, wind speed, dust accumulation, transmission losses, and control systems—are identified. The study establishes the use of Maximum Power Point Tracking (MPPT), smart monitoring, automated control, energy storage systems, and hybrid technologies as crucial avenues for improving efficiency. Furthermore, the article highlights opportunities to enhance the stability, reliability, and economic efficiency of energy generation by integrating renewable energy systems with digital control and forecasting technologies.

Key words: renewable energy, solar energy, wind energy, photovoltaic system, energy efficiency, MPPT, hybrid energy system, energy storage, battery, smart monitoring, automated control, energy losses, digital control, electrical grid.

Kirish. Bugungi kunda jahon energetika tizimida energiyaga bo‘lgan talabning muntazam ortib borishi, an’anaviy yoqilg‘i zaxiralarining cheklanganligi, atrof-muhitga antropogen ta’sirning kuchayishi hamda iqlim o‘zgarishi bilan bog‘liq muammolar qayta tiklanadigan energiya manbalaridan samarali foydalanish masalasini dolzarb ilmiy-amaliy yo‘nalishlardan biriga aylantirmoqda. Ayniqsa, quyosh, shamol, gidroenergetika, biomassa va geotermal energiya kabi ekologik jihatdan nisbatan toza manbalardan foydalanish energetika tizimining barqarorligini ta’minlash, uglerod chiqindilarini kamaytirish va energiya xavfsizligini mustahkamlashda muhim ahamiyat kasb etmoqda. Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanishning kengayishi, o‘z navbatida, ushbu manbalar asosida ishlaydigan energetik qurilmalarning texnik va energetik samaradorligini oshirishni talab etadi. Quyosh fotoelektrik panellari, shamol turbinalari, quyosh kollektorlaridan foydalanadigan qurilmalar hamda gibrid energetik tizimlarning samaradorligi tashqi muhit sharoitlari, qurilmaning texnik parametrlari, energiyani boshqarish tizimi, elektr tarmog‘idagi yo‘qotishlar va energiyani saqlash imkoniyatlari kabi ko‘plab omillarga bog‘liq. Shu sababli qayta tiklanadigan energiya qurilmalarining faqat o‘rnatilgan quvvatini oshirish emas, balki mavjud qurilmalardan maksimal darajada foydalanish, energiya ishlab chiqarishdagi yo‘qotishlarni kamaytirish va boshqaruv jarayonlarini optimallashtirish muhim vazifalardan hisoblanadi. Quyosh fotoelektrik qurilmalarida energiya samaradorligiga quyosh radiatsiyasining intensivligi, modul harorati, panelning orientatsiyasi va qiyalik burchagi, changlanish darajasi, soyalalanish, invertorning foydali ish koeffitsiyenti hamda elektr uzatish liniyalaridagi yo‘qotishlar sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Shamol energetik qurilmalarida esa shamol tezligi va yo‘nalishi, rotor diametri, parraklarning aerodinamik xususiyatlari, generator samaradorligi va boshqaruv algoritmlari asosiy omillar sifatida namoyon bo‘ladi. Mazkur omillarni real vaqt rejimida monitoring qilish va mos ravishda boshqarish energiya ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli darajada oshirish imkonini beradi. Zamonaviy raqamli texnologiyalarning rivojlanishi qayta tiklanadigan energiya qurilmalarini intellektual boshqarish uchun yangi imkoniyatlarni yaratmoqda. Xususan,

maksimal quvvat nuqtasini kuzatish (MPPT), avtomatlashtirilgan boshqaruv, sensorlar asosidagi monitoring, sun'iy intellekt va mashinaviy o'qitish algoritlari yordamida energiya ishlab chiqarishni prognozlash kabi texnologiyalar energetik qurilmalarning ishlash rejimini optimallashtirishda muhim vosita bo'lib xizmat qilmoqda. Bundan tashqari, akkumulyator va boshqa energiya saqlash tizimlarining qayta tiklanadigan energiya qurilmalariga integratsiyalashuvi ishlab chiqarish va iste'mol o'rtasidagi nomutanosiblikni kamaytirish hamda energiya ta'minoti barqarorligini oshirish imkonini beradi.

O'zbekiston sharoitida qayta tiklanadigan energiya manbalaridan, ayniqsa, quyosh energiyasidan foydalanish katta istiqbolga ega. Mamlakatning tabiiy-iqlim sharoiti, quyoshli kunlarning ko'pligi va ayrim hududlarda shamol energetik salohiyatining mavjudligi qayta tiklanadigan energiya qurilmalarini keng joriy etish uchun qulay shart-sharoit yaratadi. Shu bilan birga, ushbu qurilmalarning yuqori samaradorlik bilan ishlashi uchun mahalliy iqlim sharoitlari, changlanish, yuqori harorat, elektr tarmog'ining texnik holati va energiya iste'molining o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda texnik yechimlarni ishlab chiqish zarur. Shundan kelib chiqib, qayta tiklanadigan energiya manbalari asosidagi energetik qurilmalarning samaradorligini oshirish, ularning texnik parametrlarini optimallashtirish, energiya yo'qotishlarini kamaytirish, raqamli monitoring va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini joriy etish hamda energiya saqlash texnologiyalari bilan integratsiyalash masalalarini kompleks tadqiq etish dolzarb ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Mazkur tadqiqotda qayta tiklanadigan energiya qurilmalarining samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy omillarni aniqlash, ularni optimallashtirishning zamonaviy usullarini tahlil qilish va energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga qaratilgan texnik hamda tashkiliy yechimlarni asoslashga alohida e'tibor qaratiladi.

Adabiyotlar tahlili. Qayta tiklanadigan energiya manbalari asosida energiya ishlab chiqarish tizimlarining samaradorligini oshirish masalasi zamonaviy energetika sohasidagi muhim ilmiy yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Ushbu yo'nalishda olib borilgan tadqiqotlarda quyosh, shamol, gidroenergetika va boshqa qayta tiklanadigan manbalarning texnik imkoniyatlari, energiya qurilmalarining foydali ish koeffitsiyenti, energiya ishlab chiqarishdagi yo'qotishlar, boshqaruv tizimlarini optimallashtirish hamda energiyani saqlash texnologiyalariga alohida e'tibor qaratilgan.

Quyosh fotoelektrik tizimlarining samaradorligini tadqiq etishga bag'ishlangan ilmiy ishlarda fotoelektrik modullarning elektr energiyasi ishlab chiqarish ko'rsatkichlari asosan quyosh radiatsiyasi intensivligi, modul harorati, panelning joylashuvi, qiyalik burchagi, spektral tarkib va tashqi muhit sharoitlariga bog'liqligi ko'rsatilgan. Green va Emery tomonidan olib borilgan tadqiqotlar fotoelektrik texnologiyalarning rivojlanishi va quyosh elementlarining energetik samaradorligini oshirish imkoniyatlarini o'rganishga asos bo'lgan [1]. Keyingi tadqiqotlarda esa fotoelektrik modullarning harorat oshishi natijasida elektr samaradorligi pasayishi va shu sababli issiqlik boshqaruvi tizimlarini takomillashtirish zarurligi ta'kidlangan. Messenger va Ventre quyosh fotoelektrik tizimlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilish masalalarini kompleks ravishda o'rganib, fotoelektrik qurilmalarning samaradorligi nafaqat quyosh elementlarining texnik xususiyatlariga, balki tizimning boshqa komponentlari — invertor, kabel, akkumulyator va boshqaruv qurilmalarining samaradorligiga ham bog'liqligini ko'rsatgan [2]. Mazkur yondashuv fotoelektrik tizimni

alohida qurilma sifatida emas, balki yagona energetik tizim sifatida tadqiq etish zarurligini ko‘rsatadi.

Quyosh fotoelektrik qurilmalarining samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy adabiyotlarda maksimal quvvat nuqtasini kuzatish (Maximum Power Point Tracking — MPPT) texnologiyasi muhim yo‘nalish sifatida qaraladi. Esram va Chapman tomonidan MPPT algoritmlarining turli turlari tahlil qilinib, o‘zgaruvchan quyosh radiatsiyasi sharoitida fotoelektrik tizimdan maksimal quvvat olish uchun boshqaruv algoritmlaridan foydalanish zarurligi asoslangan [3]. Perturb and Observe (P&O), Incremental Conductance va boshqa algoritmlar fotoelektrik panellarning ish nuqtasini optimal holatda ushlab turishga xizmat qiladi. Biroq har bir algoritmning tezkorlik, aniqlik va hisoblash murakkabligi bo‘yicha o‘ziga xos afzallik va cheklovlari mavjud. Villalva, Gazoli va Filho tomonidan ishlab chiqilgan fotoelektrik tizimlarni modellashtirish yondashuvlarida quyosh panelining volt-amper va quvvat-kuchlanish xarakteristikalarini matematik modellashtirish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan [4]. Ushbu tadqiqotlar fotoelektrik qurilmalarning ish rejimini oldindan baholash, optimal parametrlarni aniqlash va turli tashqi sharoitlarda tizim samaradorligini prognozlash uchun muhim metodologik asos yaratadi. So‘nggi yillarda quyosh energetikasida sun’iy intellekt va mashinaviy o‘qitish usullaridan foydalanish bo‘yicha tadqiqotlar ham kengayib bormoqda. Bunday yondashuvlar yordamida quyosh radiatsiyasi, harorat, namlik, shamol tezligi va tarixiy energiya ishlab chiqarish ma’lumotlari asosida elektr energiyasi ishlab chiqarishni prognozlash imkoniyati paydo bo‘lmoqda. Prognozlashning aniqligi oshishi esa energiya tarmog‘ini boshqarish, energiya saqlash tizimlarini optimallashtirish va iste’mol yuklamalarini muvofiqlashtirish imkonini beradi.

Shamol energetikasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda asosiy e’tibor shamol oqimining kinetik energiyasini elektr energiyasiga aylantirish samaradorligini oshirishga qaratilgan. Burton va hammualliflar shamol turbinalarining aerodinamik, mexanik va elektr tizimlarini kompleks tahlil qilib, shamol tezligi, rotor diametri, parraklar geometriyasi va generator xususiyatlari turbina ishlab chiqaradigan quvvatga bevosita ta’sir qilishini ko‘rsatgan [5]. Shamol turbinalarining samaradorligini oshirishda aerodinamik optimallashtirish, parraklarning boshqariladigan qiyalik burchagi va zamonaviy generatorlardan foydalanish muhim ahamiyatga ega. Manwell, McGowan va Rogers tomonidan shamol energetikasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda shamol resurslarini baholash, turbina tanlash, energetik hisob-kitoblar va shamol elektr stansiyalarini loyihalash masalalari batafsil yoritilgan [6]. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, shamol turbinasining nominal quvvati uning real ishlab chiqaradigan yillik energiyasi bilan har doim ham bevosita bog‘liq emas. Bunda hududning shamol rejimi, shamol tezligining taqsimoti va turbina quvvat xarakteristikasi muhim ahamiyat kasb etadi.

Qayta tiklanadigan energiya tizimlarining asosiy muammolaridan biri ishlab chiqariladigan energiyaning o‘zgaruvchanligidir. Quyosh energetikasida ishlab chiqarish miqdori kunning vaqti, ob-havo va mavsumga bog‘liq bo‘lsa, shamol energetikasida energiya ishlab chiqarish shamol tezligining o‘zgaruvchanligi bilan belgilanadi. Shu sababli energiya saqlash tizimlarini qayta tiklanadigan energiya manbalari bilan integratsiyalash masalasi ko‘plab tadqiqotlarda alohida ilmiy yo‘nalish sifatida qaralmoqda. Luo va hammualliflar energiya saqlash texnologiyalarini tahlil qilib, akkumulyatorlar, nasosli gidroakkumulyatsiya, siqilgan havo, superkondensatorlar va boshqa texnologiyalarning

texnik xususiyatlarini taqqoslagan [7]. Tadqiqotlarda energiya saqlash tizimlarining qayta tiklanadigan energiya manbalariga integratsiyalashuvi elektr energiyasi ishlab chiqarishdagi o‘zgaruvchanlikni yumshatish, tarmoq barqarorligini oshirish va iste’molchilarga uzluksiz energiya yetkazib berishda muhim omil ekanligi qayd etilgan. Zamonaviy tadqiqotlarda gibrid qayta tiklanadigan energiya tizimlariga ham katta e’tibor qaratilmoqda. Quyosh va shamol energetik qurilmalarini birgalikda qo‘llash orqali alohida manbalarning o‘zgaruvchanligi qisman kompensatsiya qilinishi mumkin. Gibrid tizimlarda quyosh fotoelektrik panellari, shamol turbinalari, akkumulyatorlar va energiya boshqaruv tizimlarini yagona platformaga birlashtirish energiya ta’minotining ishonchliligini oshiradi. Bunday tizimlarning optimal ishlashi uchun energiya oqimlarini real vaqt rejimida monitoring qilish va boshqarish zarur. IRENA va IEA kabi xalqaro tashkilotlarning tahliliy hisobotlarida ham qayta tiklanadigan energiya manbalarining jahon energetika tizimidagi ulushi ortib borayotgani, biroq ularni elektr tarmoqlariga samarali integratsiyalash uchun energiya saqlash, tarmoq moslashuvchanligi, raqamli boshqaruv va zamonaviy infratuzilmaga ehtiyoj mavjudligi ta’kidlanadi. Bu holat qayta tiklanadigan energetika qurilmalarining samaradorligini faqat alohida qurilma darajasida emas, balki butun energetik tizim doirasida baholash zarurligini ko‘rsatadi.

Mahalliy tadqiqotlarda O‘zbekistonning quyosh energetik salohiyatidan foydalanish, fotoelektrik qurilmalarni hududiy sharoitga moslashtirish, kichik quvvatli quyosh elektr stansiyalarini joriy etish va elektr energiyasi ta’minotining samaradorligini oshirish masalalariga katta e’tibor qaratilmoqda. O‘zbekiston sharoitida quyosh radiatsiyasining yuqori darajasi katta energetik imkoniyat yaratishi bilan birga, yuqori harorat va changlanish kabi omillar fotoelektrik modullarning real ishlash samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shu sababli mahalliy iqlim sharoitlariga mos texnik xizmat ko‘rsatish, modullarni muntazam tozalash, sovitish va optimal joylashtirish masalalarini tadqiq etish muhim hisoblanadi. Umuman olganda, mavjud ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, qayta tiklanadigan energiya qurilmalarining samaradorligini oshirish ko‘p omilli va kompleks masala hisoblanadi. Tadqiqotchilar tomonidan fotoelektrik va shamol qurilmalarining konstruktiv parametrlarini optimallashtirish, MPPT algoritmlaridan foydalanish, energiya saqlash tizimlarini joriy etish, gibrid energetik tizimlarni shakllantirish, raqamli monitoring va prognozlash texnologiyalaridan foydalanish kabi yo‘nalishlar yetarlicha o‘rganilgan. Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarning ayrimlarida qurilmalarning texnik samaradorligi alohida o‘rganilib, energiya ishlab chiqarish, saqlash, uzatish va iste’mol qilish jarayonlari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlik yetarlicha kompleks baholanmagan. Ayniqsa, O‘zbekistonning yuqori quyosh radiatsiyasi, yuqori harorat, changlanish va hududiy elektr tarmog‘i sharoitlarini hisobga olgan holda qayta tiklanadigan energiya qurilmalarining samaradorligini oshirish bo‘yicha kompleks optimallashtirish modellarini ishlab chiqish dolzarb bo‘lib qolmoqda. Shu nuqtayi nazardan, mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi qayta tiklanadigan energiya qurilmalarining texnik samaradorligiga ta’sir etuvchi omillarni tizimli baholash, zamonaviy monitoring va boshqaruv texnologiyalarini integratsiyalash, energiya saqlash qurilmalaridan foydalanish hamda mahalliy sharoitga mos optimallashtirish yondashuvlarini ishlab chiqish bilan bog‘liq. Bu esa mavjud ilmiy tadqiqotlarni yanada rivojlantirib, qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish samaradorligini oshirishning amaliy mexanizmlarini shakllantirish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari va muhokamasi. Tadqiqot natijalari qayta tiklanadigan energiya manbalari asosidagi energetik qurilmalar samaradorligi bir nechta o‘zaro bog‘liq texnik, tabiiy va ekspluatatsion omillarga bevosita bog‘liqligini ko‘rsatdi. Tahlil jarayonida quyosh fotoelektrik qurilmalari, shamol energetik qurilmalari, gibrid tizimlar va energiya saqlash qurilmalarining samaradorligiga ta’sir etuvchi omillar kompleks ravishda baholandi. Shuningdek, energiya ishlab chiqarish jarayonini raqamli monitoring qilish, maksimal quvvat nuqtasini kuzatish va avtomatlashtirilgan boshqaruvdan foydalanish imkoniyatlari ham o‘rganildi. Tadqiqotda quyosh fotoelektrik qurilmalarining samaradorligi quyidagi asosiy ko‘rsatkichlar asosida baholandi: quyosh radiatsiyasi intensivligi, fotoelektrik modul harorati, ishlab chiqarilgan elektr energiyasi, modulning foydali ish koeffitsiyenti, invertor samaradorligi va elektr tarmog‘iga uzatiladigan energiya miqdori. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, quyosh radiatsiyasi intensivligining ortishi bilan fotoelektrik panel tomonidan ishlab chiqariladigan elektr quvvati ham ortadi. Biroq modul haroratining haddan tashqari oshishi fotoelektrik elementlarning elektr samaradorligining pasayishiga olib keladi.

Quyosh fotoelektrik tizimining samaradorligiga ta’sir etuvchi omillarni umumlashtirib, quyidagi natijaviy baholashni shakllantirish mumkin:

Ta’sir etuvchi omil	**Samaradorlik ka ta’siri**	**Takomillashtirish yo‘nalishi**
Quyosh radiatsiyasi	Yuqori	Optimal orientatsiya va qiyalik burchagini tanlash
Modul harorati	Salbiy	Sovitish va ventilyatsiya
Changlanish	Salbiy	Muntazam tozalash
Soyalanish	Yuqori salbiy	Panel joylashuvini optimallashtirish
MPPT boshqaruvi	Ijobiy	Zamonaviy MPPT algoritmlaridan foydalanish
Invertor samaradorligi	Yuqori	Yuqori samaradorlikdagi invertorlarni qo‘llash
Elektr uzatish yo‘qotishlari	Salbiy	Tarmoq parametrlarini optimallashtirish
Energiya saqlash tizimi	Ijobiy	Akkumulyator va aqlli boshqaruvni integratsiyalash

Tadqiqot davomida MPPT texnologiyasidan foydalanish qayta tiklanadigan energiya qurilmalarining samaradorligini oshirishning eng muhim texnik yechimlaridan biri ekanligi aniqlandi. Quyosh radiatsiyasi va modul harorati o‘zgarib turgan sharoitda fotoelektrik panelning optimal ish nuqtasi ham o‘zgaradi. MPPT algoritmi esa panelning kuchlanish va tok qiymatlarini doimiy ravishda kuzatib, maksimal quvvat olish imkonini beruvchi ish

nuqtasini aniqlaydi. Ayniqsa, Perturb and Observe hamda Incremental Conductance kabi algoritmlardan foydalanish fotoelektrik tizimning o‘zgaruvchan tashqi sharoitlarga moslashish imkoniyatini oshiradi. Bunda boshqaruv tizimining tezkorligi va aniqligi muhim ahamiyatga ega. Juda sekin ishlaydigan algoritm tashqi sharoitdagi tezkor o‘zgarishlarga javob berishda energiya yo‘qotishlarini yuzaga keltirishi mumkin. Shu sababli zamonaviy boshqaruv tizimlarida adaptiv va intellektual MPPT algoritmlaridan foydalanish istiqbolli yo‘nalish sifatida baholanadi. Tadqiqot natijalarining yana bir muhim jihati fotoelektrik modullarning harorat rejimi bilan bog‘liq. O‘zbekiston sharoitida yoz oylarida tashqi havo haroratining yuqori bo‘lishi natijasida panel sirtining harorati yanada oshishi mumkin. Bu esa fotoelektrik modullarning chiqish kuchlanishiga va natijada umumiy elektr quvvati ishlab chiqarishiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli panellarni o‘rnatishda ularning orqa qismida yetarli ventilyatsiya bo‘lishini ta’minlash, zarur hollarda passiv yoki faol sovitish usullaridan foydalanish maqsadga muvofiq. Bundan tashqari, changlanish ham fotoelektrik qurilmalar samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatuvchi omil sifatida aniqlandi. Panel yuzasida chang va boshqa zarrachalarning to‘planishi quyosh nurlarining fotoelektrik elementlarga tushish intensivligini kamaytiradi. Natijada panelning ishlab chiqaradigan quvvati pasayadi. Shu sababli quruq va changli hududlarda avtomatlashtirilgan yoki davriy tozalash tizimlarini joriy etish energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning amaliy usullaridan biri hisoblanadi.

Shamol energetik qurilmalarini tahlil qilish natijasida esa ishlab chiqariladigan energiya miqdori shamol tezligiga juda kuchli bog‘liqligi aniqlandi. Shamol tezligi ma’lum chegaradan past bo‘lganda turbina yetarli miqdorda elektr energiyasi ishlab chiqara olmaydi. Shamol tezligi oshishi bilan rotorning aylanish tezligi va ishlab chiqariladigan elektr quvvati ortadi. Biroq haddan tashqari yuqori shamol tezligida qurilmaning xavfsizligini ta’minlash maqsadida turbina boshqaruv tizimi quvvatni cheklashi yoki qurilmani vaqtincha to‘xtatishi mumkin. Shamol energetik qurilmalarining samaradorligini oshirish uchun parraklarning aerodinamik shaklini optimallashtirish, rotorning optimal aylanish tezligini ta’minlash, generator samaradorligini oshirish va shamol yo‘nalishiga mos avtomatik boshqaruv mexanizmlaridan foydalanish muhim hisoblanadi. Shu bilan birga, shamol resurslarini uzoq muddatli monitoring qilish turbinalarni joylashtirish uchun optimal hududlarni aniqlash imkonini beradi. Tadqiqot natijalari quyosh va shamol energiyasini birlashtiruvchi gibrid tizimlardan foydalanish energiya ta’minotining barqarorligini oshirishi mumkinligini ko‘rsatdi. Quyosh va shamol resurslarining vaqt bo‘yicha o‘zgarish xususiyatlari bir-birini qisman to‘ldirishi mumkin. Masalan, quyosh energiyasi kunduzgi vaqtda yuqori bo‘lsa, ayrim hududlarda shamol energiyasi kechki va tungi vaqtda nisbatan yuqori bo‘lishi mumkin. Shu sababli ushbu ikki manbani energiya saqlash tizimi bilan birgalikda boshqarish elektr energiyasi ta’minotining uzluksizligini oshirishga xizmat qiladi. Gibrid energetik tizimlarning samaradorligini oshirishda energiya boshqaruv tizimi alohida ahamiyatga ega. Bunday tizim ishlab chiqarilayotgan energiyani real vaqt rejimida kuzatib, uni iste’molchi, akkumulyator va elektr tarmog‘i o‘rtasida optimal taqsimlashi kerak. Energiya ishlab chiqarish iste’moldan yuqori bo‘lgan holatda ortiqcha energiyani akkumulyatorga yo‘naltirish, ishlab chiqarish yetarli bo‘lmaganda esa saqlangan energiyadan foydalanish tizimning umumiy samaradorligini oshiradi. Tadqiqotda energiya saqlash tizimlarining qayta tiklanadigan energiya qurilmalariga integratsiyasi ham muhim natija sifatida qayd etildi.

Akkumulyator tizimlari yordamida quyosh yoki shamol qurilmalarida ishlab chiqarilgan ortiqcha energiyani saqlab, talab yuqori bo‘lgan vaqtda undan foydalanish mumkin. Bu yondashuv qayta tiklanadigan energiya manbalarining o‘zgaruvchan tabiatini qisman kompensatsiya qilish imkonini beradi. Raqamli monitoring va avtomatlashtirilgan boshqaruv texnologiyalarining qo‘llanilishi ham tadqiqotning muhim natijalaridan biri bo‘ldi. Sensorlar orqali quyosh radiatsiyasi, harorat, kuchlanish, tok, shamol tezligi, akkumulyatorning zaryad darajasi va boshqa parametrlarni real vaqt rejimida kuzatish mumkin. Ushbu ma’lumotlarni markazlashgan monitoring platformasida tahlil qilish orqali qurilmaning texnik holatini baholash va nosozliklarni oldindan aniqlash imkoniyati paydo bo‘ladi. Quyidagi umumlashtirilgan model qayta tiklanadigan energiya qurilmalari samaradorligini oshirishda asosiy texnologik yo‘nalishlarning kutilayotgan ta’sirini ifodalaydi:

Takomillashtirish choralari	**Kutilayotgan natija**
MPPT tizimini takomillashtirish	Maksimal quvvatdan foydalanish darajasining oshishi
Panelni optimal burchakda joylashtirish	Quyosh energiyasidan foydalanishning yaxshilanishi
Muntazam tozalash	Changlanish sababli yo‘qotishlarning kamayishi
Sovitish/ventilyatsiya	Yuqori haroratning salbiy ta’sirini kamaytirish
Aqlli monitoring	Nosozliklarni erta aniqlash
Energiya saqlash tizimi	Energiya ta’minoti barqarorligining oshishi
Gibrid tizim	Manbalar o‘zgaruvchanligining kompensatsiyasi
AI asosidagi prognozlash	Ish rejimini oldindan optimallashtirish

Natijalar muhokamasi shuni ko‘rsatadiki, qayta tiklanadigan energiya qurilmasining samaradorligini faqat uning nominal quvvati yoki foydali ish koeffitsiyenti bilan baholash yetarli emas. Tizim samaradorligini baholashda energiya ishlab chiqarish hajmi, texnik mavjudlik koeffitsiyenti, energiya yo‘qotishlari, energiya saqlash samaradorligi, tarmoqqa uzatilgan energiya va ekspluatatsion xarajatlarni ham hisobga olish zarur. Shuningdek, energiya samaradorligini oshirishning iqtisodiy jihati ham muhimdir. Masalan, qo‘shimcha boshqaruv yoki sovitish tizimini o‘rnatish dastlabki investitsiyalarni talab qiladi, biroq uzoq muddat davomida ishlab chiqarilgan qo‘shimcha elektr energiyasi va kamaygan yo‘qotishlar ushbu xarajatlarni qoplashga yordam beradi. Shu sababli texnik samaradorlik bilan bir qatorda investitsiyaning qaytish muddati, ekspluatatsion xarajatlar va qurilmaning xizmat muddati ham baholanishi kerak.

Tadqiqot natijalariga asoslangan holda qayta tiklanadigan energiya qurilmalarini takomillashtirishning kompleks modeli quyidagi ketma-ketlikda shakllantirilishi mumkin: resurslarni monitoring qilish → energiya ishlab chiqarishni prognozlash → optimal ish rejimini aniqlash → MPPT va avtomatik boshqaruv → energiyani saqlash → iste’mol va tarmoq bilan muvofiqlashtirish → texnik holatni monitoring qilish. Ushbu yondashuv

alohida energetik qurilmalarni emas, balki butun energiya tizimini optimallashtirish imkonini beradi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari qayta tiklanadigan energiya manbalari asosidagi qurilmalar samaradorligini oshirish uchun texnik modernizatsiya, raqamli monitoring, intellektual boshqaruv, energiya saqlash va gibridlashtirish texnologiyalarini birgalikda qo‘llash eng maqbul yondashuvlardan biri ekanligini ko‘rsatdi. Ayniqsa, O‘zbekiston sharoitida yuqori quyosh radiatsiyasi bilan bir qatorda yuqori harorat va changlanish kabi omillarni hisobga olgan holda mahalliy sharoitga mos texnik xizmat ko‘rsatish va boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish muhim ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqot natijalari qayta tiklanadigan energiya manbalari asosida ishlaydigan energetik qurilmalar samaradorligini oshirish kompleks va tizimli yondashuvni talab etishini ko‘rsatdi. Quyosh fotoelektrik qurilmalari, shamol turbinalari, gibrid energetik tizimlar hamda energiya saqlash qurilmalarining samaradorligi tabiiy-iqlimiy sharoitlar, texnik parametrlar, boshqaruv algoritmlari, qurilmalarga texnik xizmat ko‘rsatish va elektr tarmog‘ining holati bilan chambarchas bog‘liq. Tadqiqot davomida quyosh fotoelektrik qurilmalarida quyosh radiatsiyasi, modul harorati, changlanish, soyalanish, panelning orientatsiyasi va qiyalik burchagi kabi omillar energiya ishlab chiqarish samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Shu sababli fotoelektrik qurilmalarni loyihalashda hududning tabiiy-iqlimiy xususiyatlarini hisobga olish, panellarni optimal burchakda joylashtirish, ularni muntazam tozalash va harorat rejimini nazorat qilish muhim hisoblanadi. Shuningdek, maksimal quvvat nuqtasini kuzatish (MPPT) texnologiyalaridan foydalanish fotoelektrik modullarning mavjud energiya salohiyatidan samarali foydalanish imkonini beradi. MPPT tizimlarini zamonaviy adaptiv va intellektual boshqaruv algoritmlari bilan takomillashtirish o‘zgaruvchan tashqi sharoitlarda qurilmaning optimal ish rejimini saqlashga xizmat qiladi. Shamol energetik qurilmalarida esa shamol tezligi, yo‘nalishi, parraklarning aerodinamik xususiyatlari, rotorning aylanish tezligi va generator samaradorligi asosiy omillar sifatida namoyon bo‘ladi. Ushbu parametrlarni monitoring qilish va avtomatik boshqarish shamol energetik qurilmalaridan olinadigan elektr energiyasi miqdorini oshirish imkonini beradi. Tadqiqot natijalari qayta tiklanadigan energiya manbalarining o‘zgaruvchan xususiyatlarini hisobga olgan holda gibrid energetik tizimlar va energiya saqlash qurilmalaridan foydalanish maqsadga muvofiqligini ko‘rsatdi. Quyosh va shamol energiyasini akkumulyator tizimlari bilan birgalikda boshqarish energiya ishlab chiqarish va iste’mol o‘rtasidagi nomutanosiblikni kamaytirib, energiya ta’minotining barqarorligini oshiradi. O‘zbekiston sharoitida qayta tiklanadigan energiya qurilmalarining samaradorligini oshirishda yuqori quyosh radiatsiyasidan samarali foydalanish bilan birga, yuqori harorat, changlanish va elektr tarmog‘idagi yo‘qotishlar kabi mahalliy omillarni ham hisobga olish zarur. Ayniqsa, quyosh fotoelektrik qurilmalarida avtomatik monitoring, optimal sovitish, muntazam tozalash, MPPT va energiya saqlash tizimlarini integratsiyalash muhim amaliy natijalarni berishi mumkin. Umuman olganda, qayta tiklanadigan energiya manbalari asosidagi energetik qurilmalarni takomillashtirishning eng samarali yo‘nalishlari sifatida texnik optimallashtirish, MPPT boshqaruvi, raqamli monitoring, avtomatlashtirilgan boshqaruv, energiya saqlash tizimlari, gibrid energetik qurilmalar va sun’iy intellekt asosidagi prognozlash texnologiyalarini kompleks qo‘llashni ko‘rsatish mumkin. Mazkur yondashuvlar qayta tiklanadigan energiya resurslaridan foydalanish koeffitsiyentini oshirish,

energiya yo‘qotishlarini kamaytirish, elektr ta’minoti ishonchliligini yaxshilash va energetik tizimlarning iqtisodiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Green M.A., Emery K., Hishikawa Y., Warta W., Dunlop E.D. Solar cell efficiency tables. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. – 2015.
2. Messenger R.A., Ventre J. *Photovoltaic Systems Engineering*. 3rd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2010.
3. Esram T., Chapman P.L. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. – 2007. – Vol. 22, No. 2. – P. 439–449.
4. Villalva M.G., Gazoli J.R., Filho E.R. Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2009. – Vol. 24, No. 5. – P. 1198–1208.
5. Burton T., Jenkins N., Sharpe D., Bossanyi E. *Wind Energy Handbook*. 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons, 2011.
6. Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons, 2009.
7. Luo X., Wang J., Dooner M., Clarke J. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*. – 2015. – Vol. 137. – P. 511–536.
8. IRENA. *Renewable Power Generation Costs in 2023*. – Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2024.
9. IEA. *Renewables 2024: Analysis and Forecast to 2030*. – Paris: International Energy Agency, 2024.
10. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
11. Kalogirou S.A. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. 2nd ed. – Academic Press, 2014.
12. Masters G.M. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. 2nd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
13. Boyle G. *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. 3rd ed. – Oxford: Oxford University Press, 2012.
14. Twidell J., Weir T. *Renewable Energy Resources*. 3rd ed. – London: Routledge, 2015.
15. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “O‘zbekiston Respublikasida yashil energetikani rivojlantirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qaror va farmonlari.
16. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish bo‘yicha tahliliy va statistik materiallar. – Toshkent.
17. O‘zbekiston Respublikasi Milliy statistika qo‘mitasi. Energetika va qayta tiklanuvchi energiya manbalari bo‘yicha statistik ma’lumotlar. – Toshkent.