

QUYOSH VA SHAMOL GIBRID ENERGIYA TIZIMLARI: TEXNOLOGIK TUZILISHI, TARMOQ INTEGRATSIIYASI VA ILMIIY YONDASHUVLARNING TAHLILI

Qahharov Mahmudjon Mamadjonovich

Namangan davlat texnika universiteti fizika-matematika fanlari nomzodi, Energetika fakulteti dotsenti

Omonboyev Rahmonjon Ravshan O'g'li

Namangan davlat texnika universiteti doktoranti

Email: rahmonjonomonboyev2@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15769098>

Annotatsiya: Ushbu maqolada quyosh va shamol energiyasi asosida ishlab chiqilgan gibrid elektr energiya tizimlarining texnologik tuzilmasi, boshqaruv strategiyalari va ularni mikrogrid, smart grid va elektr transport vositalari bilan integratsiya qilish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Energiya ishlab chiqarish, uzatish, saqlash va boshqaruv komponentlarining vazifalari chuqur o'rganilgan. Shuningdek, iqtisodiy va ekologik tahlillar asosida gibrid tizimlarning istiqbollari va afzalliklari aniqlab berilgan. Maqola tahliliy yondashuvga asoslangan bo'lib, zamonaviy ilmiy manbalar bilan mustahkamlangan.

Kalit so'zlar: Quyosh energiyasi, shamol energiyasi, gibrid tizim, energiya boshqaruvi, mikrogrid, smart grid, V2G

ГИБРИДНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ И ВЕТРОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ, ИНТЕГРАЦИИ СЕТЕЙ И НАУЧНЫХ ПОДХОДОВ

Аннотация: В данной статье рассматриваются технологическая структура гибридных энергетических систем на основе солнечной и ветровой энергии, стратегии управления и возможности интеграции с микро- и умными сетями, а также с электротранспортом. Подробно анализируются процессы генерации, передачи, хранения и управления энергией. Также представлены экономические и экологические преимущества данных систем. Работа носит аналитический характер и опирается на современные научные источники.

Ключевые слова: Солнечная энергия, ветровая энергия, гибридная система, управление энергией, mikrogrid, smart grid, V2G

SOLAR AND WIND HYBRID ENERGY SYSTEMS: ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL STRUCTURE, GRID INTEGRATION AND SCIENTIFIC APPROACHES

Abstract: This article analyzes the technological structure of hybrid power systems based on solar and wind energy, control strategies, and the potential for integration with microgrids, smart grids, and electric vehicles. The study provides a detailed examination of energy generation, transmission, storage, and control components. Economic and environmental aspects of hybrid systems are also evaluated. The article follows an analytical approach and is supported by up-to-date scientific references.

Keywords: Solar energy, wind energy, hybrid system, energy management, mikrogrid, smart grid, V2G

KIRISH

XXI asrda insoniyat duch kelayotgan eng dolzarb muammolardan biri — bu energetika inqirozidir. Global isish, iqlim o'zgarishi, havo va suv ifloslanishi, hamda fosil yoqilg'ilar zaxiralarining cheklanganligi elektr energiyasini ishlab chiqarishning an'anaviy shakllarini qayta ko'rib chiqishni talab qilmoqda. Shu bois, butun dunyo bo'ylab energetika sohasida muqobil, ekologik toza, qayta tiklanuvchi energiya manbalariga o'tish tendensiyasi kuchaymoqda [1].

Quyosh va shamol energiyasi — mavjud bo'lgan eng keng tarqalgan va qulay qayta tiklanuvchi manbalardan bo'lib, ularning salohiyati insoniyatning uzoq muddatli energiya ehtiyojlarini qondirishga yetarli hisoblanadi. Quyosh energiyasi Yerga yetib kelayotgan 1 soatlik nurlanish orqali butun insoniyatning 1 yillik elektr talabini qondira oladi. Shamol energiyasi esa atmosferadagi bosim va harorat farqlari natijasida tabiiy ravishda hosil bo'lib, elektr ishlab chiqarish uchun ekologik toza resursdir [2].

Ammo ushbu manbalar o'z tabiatiga ko'ra intermittent, ya'ni vaqtinchalik va beqaror hisoblanadi. Masalan, quyoshli kunlarda fotovoltaik panellar yuqori samaradorlikda ishlaydi, ammo bulutli havoda yoki tun bo'yi ishlab chiqara olmaydi. Xuddi shunday, shamol generatorlari faqat yetarli shamol tezligi mavjud bo'lgandagina samarali ishlaydi. Bu esa ularga asoslangan elektr ta'minoti tizimining barqaror va doimiy bo'lishiga to'sqinlik qiladi [3].

Shu muammoning yechimi sifatida so'nggi yillarda gibridd energiya tizimlari jadal rivojlanmoqda. Ayniqsa, quyosh va shamol energiyasini birlashtirgan tizimlar (Wind-Solar Hybrid Systems) eng samarali va barqaror aralash tizimlardan biri sifatida e'tirof etilmoqda. Bu yondashuvda har ikkala manba bir-birini to'ldiradi: quyosh energiyasi odatda kunduz kunlari va yoz faslida yuqori samaradorlikka ega bo'lsa, shamol energiyasi asosan kechasi va qish faslida kuchayadi. Bu tabiiy muvozanat esa tizimda yil bo'yi va kun davomida energiya ishlab chiqarishning uzluksizligini ta'minlaydi [4].

ASOSIY QISM

Quyosh-shamol gibridd tizimlarining yana bir afzalligi — bu mustaqil elektr ta'minotini tashkil etish imkoniyati, ya'ni off-grid (tarmoqqa ulanmagan) hududlarda ham elektr energiyasi bilan ta'minlash mumkin bo'ladi. Ayniqsa, uzoq qishloq joylarda, tog'li hududlarda yoki orollarda bunday tizimlar muhim rol o'ynaydi [5].

Bundan tashqari, bunday tizimlar milliy elektr tarmog'i bilan integratsiya qilinib, smart grid va mikrogrid muhitida yuqori darajada boshqariladigan va optimallashtirilgan elektr energiyasi ta'minotini tashkil etish imkonini beradi. Ayniqsa, elektr transport vositalari, ikki tomonlama energiya oqimlari (Vehicle-to-Grid – V2G), aqlli boshqaruv tizimlari (SCADA, AMI), va energiya saqlash texnologiyalarini kiritish orqali tizimning umumiy samaradorligi yanada ortadi [6].

Shu bilan birga, gibridd tizimlarni loyihalashda bir qator muhim omillar — quyosh va shamol resurslarining geografik taqsimoti, texnologik komponentlarning uyg'unligi, energiyani saqlash hajmi, uzatish yo'qotishlari, iqtisodiy samaradorlik, ekologik ta'sir, va boshqaruv algoritmlari e'tiborga olinishi lozim.

Quyosh va Shamol Gibridd Tizimlarining Texnologik Asosi

2.1 Asosiy komponentlar va ularning funksiyalari

Quyosh-shamol gibridd tizimining texnologik asosi komponentlarning uyg'un ishlashi va ularning o'zaro moslashuvchanligiga bog'liq. Har bir komponent o'ziga xos funktsiyani bajaradi va umumiy tizim samaradorligiga hissa qo'shadi.

Fotovoltaik panellar (PV): PV panellar quyosh nurlaridan elektr energiyasini hosil qiladi. Ular odatda silisli asosida yaratilgan yarimo'tkazgich modullardan iborat bo'lib, quyosh fotonlarini yutish orqali elektr tokini ishlab chiqaradi. Quyosh nurlanishi, havo harorati, panellarning burchagi va ifloslanishi samaradorlikka ta'sir qiladi. Zamonaviy panellar 15–22% samaradorlikka ega bo'lib, 1 kVt quvvatli tizim 4–5 kVt·soat energiya ishlab chiqarishi mumkin [1].

Shamol turbinasi: Shamol turbinasi havoning kinetik energiyasini mexanik harakatga, so'ngra elektr energiyasiga aylantiradi. Ular gorizontall yoki vertikal o'qlar asosida quriladi. Gorizontall turdagi turbinalar keng tarqalgan bo'lib, katta quvvatlar uchun ishlatiladi. Turbinaning quvvati shamol tezligining uchinchi darajasiga proporsional: $P \propto v^3$. Shu bois shamol energiyasi yuqori potentsialga ega, ammo uni barqaror qilish muhim [2].

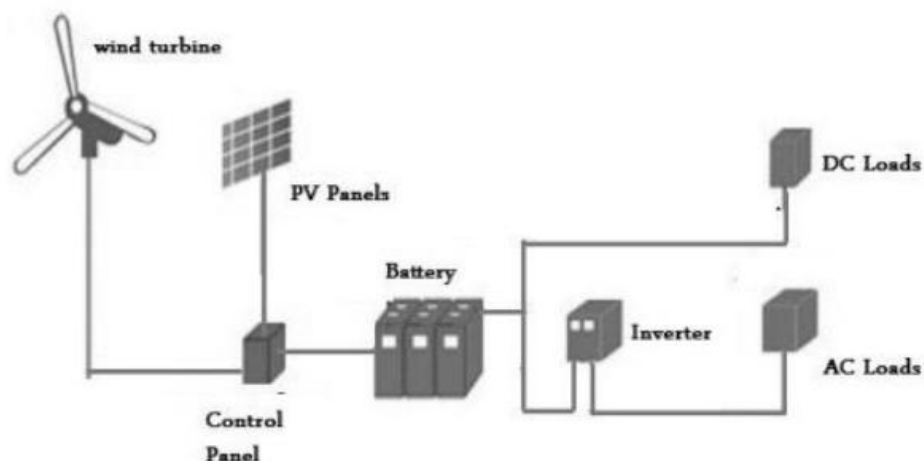
Energiya saqlash tizimlari (ESS): Energiya saqlash tizimlari, ayniqsa batareyalar, tizimdagi uzluksizlik va ishonchlilikni ta'minlaydi. Shamol va quyosh energiyasining o'zgaruvchan tabiati ESS'larni zarur qiladi. Lityum-ion, nikel-kadmiy, qo'rg'oshin-kislotali batareyalar keng qo'llaniladi. Saqlash tizimi yordamida ishlab chiqarilgan ortiqcha energiya saqlanadi va tunda yoki past resurs paytida iste'molga beriladi [3].

Konvertatsiya qurilmalari: DC/DC konvertorlar va inverterlar manbadan kelayotgan tokni zarur kuchlanish va shaklga o'zgartiradi. Masalan, PV panellardan kelayotgan 12–48 V DC tok inverter orqali 220/230 V AC tokka aylantiriladi. Inverterlar oddiy (pure sine wave) va aqlli (grid-tied) turlarda bo'ladi. Bular yuqori samaradorlik ($\geq 95\%$) bilan ishlashi kerak, aks holda energiya yo'qotishlar ortadi [4].

Boshqaruv tizimi: Boshqaruv bloklari tizimni real vaqt rejimida muvozanatli boshqarish uchun zarur. Tizimga kirayotgan va chiqayotgan quvvat, batareya holati (SoC), yuklanish va tarmoq bilan aloqalar doimiy nazorat qilinadi. Zamonaviy tizimlarda mikrokontrollerlar, SCADA tizimlari yoki sun'iy intellekt asosli algoritmlar (fuzzy logic, neural network) qo'llaniladi [5].

2.2 Gibrid tizimning blok sxemasi

Gibrid tizimning texnologik tuzilmasini aks ettiruvchi umumiy blok sxemada quyidagi bosqichlar mavjud: Ikkita manbadan (PV va shamol) olingan elektr tok alohida kuchaytiriladi (DC/DC konvertorlar), Tok batareyada saqlanishi yoki bevosita inverter orqali AC yuklamaga berilishi mumkin, Inverter tarmoqqa ulanadigan holatda ham ishlaydi (grid-tied), Boshqaruv bloki barcha jarayonlarni muvozanatlab turadi.



1-rasm. Quyosh-shamol gibrid energiya tizimining blok-sxemasi

Bu sxema oddiy ofis, uy yoki kichik ob'ektlar uchun samarali ishlashi mumkin. Loyihalashtirishda quyosh va shamol resurslari, yuk talabi, tizim miqyosi va moliyaviy imkoniyatlar hisobga olinadi [6].

2.3 Tizim turlari: off-grid va grid-connected

Off-grid tizimlar

Off-grid tizimlar, ya'ni mustaqil ishlaydigan tizimlar, elektr tarmog'iga ulanmagan hududlar uchun juda muhimdir. Ayniqsa tog'li, orollik yoki infratuzilmasiz joylarda energiya mustaqilligini ta'minlaydi. Bu tizimda batareyalar markaziy rol o'ynaydi, energiya zaxirasi yetarli bo'lmasa, dizel generatorlar ham qo'shilishi mumkin [7].

Afzalliklari: Mustaqil ishlaydi, Elektr tarmog'idan bog'liq emas, Moslashtirilgan yechimlar.

Kamchiliklari: Katta energiya saqlash talab qiladi, Ob-havoga juda bog'liq.

Grid-connected tizimlar

Tarmoq bilan bog'langan tizimlar (grid-tied systems) milliy elektr tarmog'i bilan o'zaro almashinuv asosida ishlaydi. Bu tizimlarda energiya ortig'i tarmoqqa uzatiladi (net metering), kamchilik yuzaga kelsa, tarmoqdan olinadi. Integratsiyalashgan tizimlar optimallashtirish, monitoring, hisob-kitoblar (billing) va tarmoq xavfsizligi bilan ishlaydi [8].

Afzalliklari: Batareyaga bog'liqlik kamayadi, Ortiqcha energiyadan iqtisodiy foyda olinadi, Tarmoq barqarorligiga hissa qo'shadi.

2.4 Texnologik yondashuvlar va zamonaviy usullar

Zamonaviy gibrid tizimlarda energiya oqimini samarali boshqarish uchun turli texnologik usullar joriy etilgan: MPPT (Maximum Power Point Tracking): Har bir manbadan maksimal energiya olish uchun ishlatiladi. MPPT algoritmlari quyosh nurlanishi va PV kuchlanishiga qarab panellarni optimal ishlash nuqtasida ushlab turadi [9].

SoC nazorati (State of Charge): Batareyalarning zaryad va razryad jarayonlarini muvofiqlashtirishga xizmat qiladi. U batareya umrini uzaytiradi va uzluksizlikni ta'minlaydi [3]. Aqlli boshqaruv: Fuzzy logic, sun'iy neyron tarmoq, real vaqtli optimallashtirish algoritmlari yordamida yuklar va manbalar o'rtasida avtomatik balanslash amalga oshiriladi [5].

Ko'p kirishli konvertorlar (Multi-input converters): Bir nechta manbani bitta konvertatsiya tizimiga ulash orqali samaradorlik oshiriladi. Bu usulda apparat murakkabligi kamayadi [10]. IoT va SCADA tizimlari: Uzoqdan monitoring va boshqaruv imkonini beradi. Masofadan ishlaydigan tizimlar ayniqsa katta ob'ektlarda muhim ahamiyatga ega.

3. Mikrogrid, Smart Grid va EV Tizimlari bilan Integratsiya

3.1 Mikrogrid: Mahalliy mustaqil energiya tizimi: Mikrogrid — bu cheklangan hududni (masalan, mahalla, kampus, ishlab chiqarish ob'ekti) elektr energiyasi bilan mustaqil ta'minlay oladigan kichik energiya tarmog'idir. Mikrogridlar asosan qayta tiklanuvchi manbalar, energiya saqlash tizimlari va aqlli boshqaruv texnologiyalaridan iborat bo'ladi [1].

Quyosh-shamol gibrid tizimlari aynan mikrogridlar uchun ideal hisoblanadi, chunki: Ular tarmoqdan mustaqil ishlay oladi (islanding), Qayta tiklanuvchi manbalarni optimallashtirilgan tarzda birlashtiradi, Avtomatik boshqaruv orqali yuk balansini ushlab turadi.

Mikrogridlar of-grid hududlar uchun asosiy yechim bo'lishi mumkin, ayniqsa markazlashmagan elektr ta'minoti tizimlari rivojlanayotgan mamlakatlarda bu muhim ahamiyatga ega [2].

3.2 Smart Grid: Aqlli energiya tarmoqlari: Smart grid — bu raqamli texnologiyalar, aloqa tizimlari va boshqaruv tizimlari orqali optimallashtirilgan elektr tarmog'idir.

Unda: Energiya oqimi real vaqt rejimida nazorat qilinadi, Iste'molchi bilan ishlab chiqaruvchi o'rtasidagi aloqalar ikki tomonlama bo'ladi, IoT, SCADA, AI va boshqa texnologiyalar orqali samaradorlik oshiriladi [3].

Quyosh-shamol gibrid tizimlar smart grid'ga integratsiyalashgan holatda: Energiya oqimini boshqaradi, Zaxiralarni samarali ishlatadi, Ortiqcha energiyani tarmoqqa uzatadi (net metering), Iste'molni optimallashtiradi (demand-side management).

Masalan, smart grid tizimida har bir iste'molchi "aqli hisoblagich" orqali tarmoqqa ulanishi, iste'molini tahlil qilishi va hatto energiyani sotishi mumkin [4].

3.3 Elektr transport vositalari va V2G tizimlari: Elektr transport vositalari energiya iste'molchisi bo'lishi bilan birga, energiya manbasi sifatida ham ishlatilishi mumkin. V2G (Vehicle-to-Grid) texnologiyasi yordamida elektr transport vositalar o'z batareyasidagi energiyani kerakli vaqtda tarmoqqa qaytarib bera oladi.

Bu yondashuv quyidagi afzalliklarni beradi: Pik yuk davrida qo'shimcha energiya bilan tarmoqni ta'minlaydi, Energiya zaxirasi sifatida ishlaydi, Tizim yuklanishini pasaytiradi va samaradorlikni oshiradi [5].

Quyosh-shamol gibrid tizimlar bilan integratsiya holatida Elektr transport vositalar mobil energiya tashuvchi (portable storage) sifatida ishlashi mumkin. Elektr transport vositalar kunduzgi quyosh energiyasidan zaryad olib, kechasi esa tarmoqqa energiya berishi mumkin.

3.4 Integratsiya yondashuvlari: Bunday tizimlarni birlashtirish murakkab, ammo ijobiy samara beradi. Quyidagi integratsion yondashuvlar keng qo'llaniladi: Hierarchical Control (ko'p darajali boshqaruv) — yuqori, o'rta va pastki darajadagi boshqaruv elementlari yordamida resurslar muvozanatlashadi; Distributed Energy Management Systems (DEMS) — har bir manba yoki iste'molchi alohida boshqariladi; Cloud-based monitoring — uzoqdan boshqarish, tahlil va prediktiv xizmatlar uchun ma'lumotlar uzatish; Blockchain va raqamli energiya kreditlari — tarmoq orqali energiya savdosini avtomatlashtirish imkonini beradi [6].

Bularning barchasi hozirda ilmiy tadqiqotlar va sinov loyihalari asosida takomillashtirilmoqda.

4. Energiya Uzatish Strategiyalari, Iqtisodiy va Ekologik Tahlil

4.1 Energiya uzatish va konversiya strategiyalari: Quyosh-shamol gibrid tizimlarida energiya uzatish murakkab va ko'p bosqichli jarayondir. PV panellar va shamol turbinalaridan olingan energiya turli kuchlanish va tok shaklida bo'lib, uni birlashtirib, kerakli formatga o'zgartirish talab etiladi.

Uzatish zanjiri:

1. DC/DC konvertatsiya — PV panellardan kelayotgan o'zgaruvchan kuchlanishni barqarorlashtiradi.

2. AC/DC yoki DC/AC konvertatsiya — Shamoldan kelayotgan AC tokni to'g'rilaydi yoki energiyani tarmoqqa uzatish uchun kerakli AC shakliga keltiradi.

3. Batareyadan yuklamaga yoki tarmoqqa uzatish — Batareya zaryad holatiga qarab energiya oqimi boshqariladi.

Bunday tizimlarda energiyani minimal yo'qotish bilan uzatish juda muhim. Odatda, uzatish samaradorligi 85–95% oralig'ida bo'ladi. Biroq past sifatli konvertorlar va noto'g'ri boshqaruv algoritmlari bu ko'rsatkichni pasaytirishi mumkin [1].

Tahliliy xulosa: energiya uzatishning muvaffaqiyati komponentlar sifati, real vaqtli boshqaruv, va samarali algoritmlarga bog'liq.

4.2 Iqtisodiy tahlil: Gibrid tizimlarning iqtisodiy samaradorligi ularning boshlang'ich investitsiyasi, ishlash muddati, texnik xizmat ko'rsatish, energiya ishlab chiqarish xarajati (Levelized Cost of Energy – LCOE) orqali baholanadi.

Asosiy iqtisodiy ko'rsatkichlar: Boshlang'ich sarmoya (CAPEX): PV panel, shamol turbina, inverter, batareya, montaj, nazorat bloklari. Joriy xarajatlar (OPEX): xizmat ko'rsatish, qismlarni almashtirish, monitoring. Qoplash muddati: odatda 5–10 yil orasida, grantlar yoki soliq imtiyozlari hisobga olinsa, tezroq. LCOE: 0.08–0.15 \$/kWh atrofida bo'lishi mumkin — bu ayrim rivojlanayotgan davlatlarda hattoki tarmoqdan elektr xarajatidan ham past bo'ladi [2].

Masalan, 5 kVt gibrid tizim uchun quyidagicha taxminiy hisob chiqarish mumkin: Boshlang'ich sarmoya: \$7,000, Yillik ishlab chiqarish: 8,000 kWh, 10 yilda ishlab chiqariladigan umumiy energiya: 80,000 kWh, LCOE $\approx$ \$0.087/kWh.

Xulosa: uzoq muddatda gibrid tizimlar iqtisodiy jihatdan tarmoq energiyasidan ustun bo'lishi mumkin, ayniqsa elektr narxlari yuqori bo'lgan hududlarda [3].

4.3 Ekologik tahlil: Gibrid tizimlarning asosiy afzalliklaridan biri — nol karbon chiqarilishi. PV panellar va shamol turbinalar elektr ishlab chiqarishda yoqilg'i yoqmaydi, demak ular: Havo ifloslanishini kamaytiradi, Issiqxona gazlari (CO₂, NO_x) chiqishini kamaytiradi, Ekologik xavfsiz energiya manbai sifatida qaraladi.

Masalan, 1 kVt·soat elektr energiyasini ishlab chiqarishda: An'anaviy ko'mir stansiyasi $\approx$ 0.9 kg CO₂ chiqaradi, Gibrid quyosh-shamol tizimi $\approx$ 0 kg CO₂ chiqaradi [4].

Shu bilan birga, komponentlar (PV panel, batareya, inverter) ishlab chiqarishida ma'lum miqdorda ekologik yuk mavjud. Ammo butun xizmat muddati (25–30 yil) hisobida bu yuk juda past bo'lib, kompensatsiya qilinadi.

Tahlil natijasi: quyosh-shamol gibrid tizimlar uzoq muddatda ekologik barqarorlikni ta'minlashda muhim vositadir. Ayniqsa, karbon chiqindilari kvotalari, “green certificate” va ESG baholash tizimlari doirasida afzallik beradi [5].

XULOSA VA TAVSIYALAR

Quyosh-shamol gibrid energiya tizimlari hozirgi zamonaviy energetika sohasida barqaror, iqtisodiy samarali va ekologik toza elektr energiyasi ta'minoti uchun muhim alternativ hisoblanadi. Ushbu maqolada ikki asosiy qayta tiklanuvchi energiya manbasining — quyosh va shamol — texnologik integratsiyasi, tizim strukturalari, boshqaruv yondashuvlari, smart grid va mikrogrid muhitidagi o'rni tahlil qilindi.

Tahlillar shuni ko'rsatdiki:

Gibrid tizimlar orqali energiya ishlab chiqarish uzluksizligi va barqarorligi ta'minlanadi;

Off-grid hududlarda energiya mustaqilligi oshadi, bu ijtimoiy-iktisodiy rivojlanishga hissa qo'shadi;

Smart grid integratsiyasi orqali tizim samaradorligi, monitoring va energiya bozoriga kirish imkoniyatlari kengayadi;

EV va V2G texnologiyalari bilan integratsiya energiya oqimlarining ikki tomonlama boshqaruvini ta'minlaydi;

Uzoq muddatda gibrid tizimlar iqtisodiy jihatdan foydali, ekologik jihatdan esa barqaror hisoblanadi.

Tavsiyalar:

1. Gibrid tizimlarni loyihalashda energiya resurslarining geografik tahlili asosida optimallashtirish kerak.

2. Energiya saqlash texnologiyalariga ustuvorlik berilishi lozim, ayniqsa lityum-ion batareyalar.

3. MPPT, SoC va aqlli boshqaruv tizimlari tizim samaradorligini oshirishda hal qiluvchi rol o'ynaydi.

4. Smart grid va mikrogrid texnologiyalarini bosqichma-bosqich joriy qilish, ayniqsa tarmoqli hududlarda foydali.

5. Hukumatlar tomonidan grant, soliq imtiyozlari va tarif siyosati orqali bu tizimlarni qo'llab-quvvatlash tavsiya etiladi.

Quyosh va shamol gibrid tizimlari kelajak energetikasi uchun poydevor vazifasini o'taydi. Ular orqali insoniyat energiya mustaqilligi, yashil kelajak va barqaror iqtisodiy rivojlanish sari katta qadam tashlamoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rekha M., et al. "Wind-Solar Hybrid System for Domestic Utility", E3S Web of Conferences, 2023.
2. Shah A., et al. "Planning of Hybrid Renewable Energy Systems", Springer, 2022.
3. Sawle Y., et al. "Optimal planning of hybrid renewable energy system using HOMER", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018.
4. Rezk H., et al. "Optimal sizing of hybrid PV/wind/battery energy storage system", Renewable Energy, 2020.
5. Khan M.J., et al. "Review on wind-solar hybrid systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017.
6. Silva C., et al. "Smart grid integration of renewable energy and electric vehicles", Renewable Energy Focus, 2019.
7. Dileep G., "Smart Grid technology: Challenges and developments", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020.
8. Moghaddam I.N., et al. "Electric vehicles and smart grid: Integration challenges", Energy Reports, 2018.
9. Mishra S., et al. "MPPT algorithms in renewable hybrid energy systems", Energy Conversion and Management, 2021.
10. Lin B., et al. "Multi-input DC-DC converters for renewable energy systems", IEEE Transactions on Power Electronics, 2020.