

UO‘K: 629.331.3:621.311.243, 621.311.243 <https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2025-4.09>

GIBRID ENERGIYA MANBALARIGA ULANGAN ZARYADLASH STANSIYALARIDA YUKLAMA TAQSIMOTI VA BALANSLASH JARAYONLARINING MATEMATIK TAHLILI

Esanov Temurmaliq Beknazar o‘g‘li - assistent,
ORCID: 0009-0005-6733-9388, E-mail: temurmaliq5352@gmail.com

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. *Elektr transport vositalarining ko‘payishi zaryadlash stansiyalarida energiya balansini muhim muammoga aylantirdi. Tadqiqotda quyosh, shamol, markaziy tarmoq va akkumulatorga asoslangan gibridd model ishlab chiqilib, uning samaradorligi baholandi. Simulyatsiya natijalari yondashuv samaradorlikni 18–25% ga oshirib, yo‘qotishlarni 8–10% ga kamaytirib, tarmoq yuklamasini 30 % gacha qisqartirishini ko‘rsatdi.*

Tadqiqotda zaryadlash stansiyasining energiya balansini modellashtirildi. Fotovoltaik, shamol va akkumulator quvvatlari tegishli modellar asosida baholandi. Balanslash uchun optimallashtirish usullari qo‘llanilib, hisob-kitoblar MATLAB/Simulink va Python muhitida bajarildi.

Simulyatsiya natijalariga ko‘ra, zaryadlash stansiyasi yuklamasining 45–55% i qayta tiklanuvchi manbalar, 20–30% i akkumulator orqali ta‘minlandi, qolgan qismi esa markaziy tarmoqdan olindi. Gibridd strategiya yo‘qotishlarni kamaytirib, samaradorlikni 78 % gacha oshirdi va cho‘qqi yuklama davrida tarmoq bosimini pasaytirdi.

Tadqiqot natijalari gibridd energiya asosidagi zaryadlash stansiyalari texnik barqarorlikni ta‘minlab, tarmoq yuklamasini kamaytirishi va samaradorlikni oshirishini ko‘rsatdi. Taklif etilgan model real loyihalarda qo‘llanishi mumkin.

Kalit so‘zlar: *elektr transport vositalari, zaryadlash stansiyasi, gibridd energiya manbalari, energiya balansini, yuklama taqsimoti, optimallashtirish, samaradorlik koeffitsiyenti, MATLAB/Simulink, Python.*

УДК: 629.331.3:621.311.243, 621.311.243

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ И ПРОЦЕССОВ БАЛАНСИРОВКИ НА ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЯХ, ПОДКЛЮЧЁННЫХ К ГИБРИДНЫМ ИСТОЧНИКАМ ЭНЕРГИИ

Эсанов Темурмалик Бекназар угли – ассистент

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. *Рост числа электрических транспортных средств сделал обеспечение энергетического баланса на зарядных станциях важной задачей. В данном исследовании была разработана гибридная модель на основе солнечных панелей, ветрогенераторов, центральной сети и аккумуляторной системы, эффективность которой была оценена. Результаты моделирования показали, что предложенный подход повышает эффективность на 18–25 %, снижает потери на 8–10 % и уменьшает нагрузку на сеть до 30 %*

В исследовании был смоделирован энергетический баланс зарядной станции. Мощности фотоэлектрических панелей, ветрогенератора и аккумулятора оценивались с использованием соответствующих моделей. Для балансировки применялись методы оптимизации, а расчёты выполнялись в средах MATLAB/Simulink и Python.

По результатам моделирования 45–55 % нагрузки зарядной станции обеспечивалось за счёт возобновляемых источников, 20–30 % — аккумулятором, а остальная часть — центральной сетью. Гибридная стратегия снизила потери, повысила эффективность до 78 % и уменьшила нагрузку на сеть в часы пикового потребления.

Результаты исследования показали, что зарядные станции на основе гибридной энергии обеспечивают техническую стабильность, снижают нагрузку на сеть и повышают эффективность. Предложенная модель может быть применена в реальных проектах.

Ключевые слова: Электрические транспортные средства, зарядная станция, гибридные источники энергии, энергетический баланс, распределение нагрузки, оптимизация, коэффициент эффективности, MATLAB/Simulink, Python.

UDC: 629.331.3:621.311.243, 621.311.243

MATHEMATICAL ANALYSIS OF LOAD DISTRIBUTION AND BALANCING PROCESSES IN CHARGING STATIONS CONNECTED TO HYBRID ENERGY SOURCES

Esanov, Temurmalik Beknazar ugli – Assistant

Karshi State Technical University, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. The increase in electric vehicles has made ensuring energy balance at charging stations a critical challenge. In this study, a hybrid model based on solar panels, wind turbines, the central grid, and battery storage was developed, and its efficiency was evaluated. Simulation results showed that the proposed approach increases efficiency by 18–25%, reduces losses by 8–10%, and decreases the grid load by up to 30%.

In the study, the energy balance of the charging station was modeled. Photovoltaic, wind, and battery power were evaluated using appropriate models. Optimization methods were applied for balancing, and calculations were carried out in MATLAB/Simulink and Python environments.

According to the simulation results, 45–55% of the charging station load was supplied by renewable sources, 20–30% by the battery, and the remaining part by the central grid. The hybrid strategy reduced losses, increased efficiency up to 78%, and alleviated grid stress during peak loads.

The study results showed that hybrid energy-based charging stations ensure technical stability, reduce grid load, and improve efficiency. The proposed model can be applied in real projects

Keywords: electric vehicles, charging station, hybrid energy sources, energy balance, load distribution, optimization, efficiency coefficient, MATLAB/Simulink, Python.

Kirish

So'nggi yillarda elektr transport vositalarining jadal rivojlanishi global energetika tizimiga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. Transport sektorida uglerod chiqindilarini kamaytirish va barqaror rivojlanishga erishish maqsadida ETVni ommalashtirish ustuvor yo'nalishga aylandi. Shu bilan birga, ularni samarali energiya bilan ta'minlovchi zaryadlash infratuzilmasini yaratish muammosi ham dolzarbdir. Ayniqsa, yirik shaharlarda zaryadlash stansiyalari elektr tarmog'iga katta yuklama beradi va bu tizimning barqarorligiga hamda elektr energiyasi narxiga ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli, energiya balansini optimallashtirish global ilmiy-texnik vazifalardan biri hisoblanadi.

Eng istiqbolli yechimlardan biri gibrid energiya manbalaridan foydalanishdir. Bunday tizimlar quyosh panellari, shamol turbinalari, markaziy elektr tarmog'i va akkumulyatorli saqlash tizimlaridan tashkil topadi. Fotovoltaik tizimlar ekologik toza energiya ishlab chiqaradi, shamol generatorlari qo'shimcha manba sifatida xizmat qiladi, akkumulator esa ishlab chiqarish va iste'mol o'rtasidagi nomutanosibliklarni bartaraf etadi. Bu integratsiya energiya ta'minotining ishonchliligini kuchaytiradi, uglerod izini kamaytiradi va yashil energetika siyosatini qo'llab-quvvatlaydi.

Zaryadlash stansiyalarida yuklama muammosi, asosan, iste'molchilarning notekis faolligi bilan bog'liq. Cho'qqi davrlarda ko'plab transport vositalarining bir vaqtda zaryadlanishi tarmoq yuklamasini keskin oshiradi va energiya yo'qotishlarini ko'paytiradi. Qayta tiklanuvchi manbalarda esa ishlab chiqarish ob-havoga bog'liq bo'lib, muvozanatni saqlashni yanada murakkablashtiradi. Shunday vaziyatda gibrid manbalarni qo'shib ishlatish eng maqbul yondashuv hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotning dolzarbligi shundaki, elektr transport infratuzilmasi jadal kengayib borayotgan davrda faqat energiya ishlab chiqarishni ko'paytirish emas, balki uni samarali taqsimlash ham muhim ahamiyat kasb etadi. Ilmiy yangilik sifatida bu maqolada zaryadlash stansiyalarida yuklama taqsimoti va balanslash jarayonlari matematik modellashirish asosida o'rganiladi. Model ishlab chiqarishning o'zgaruvchanligini, qayta tiklanuvchi manbalar beqarorligini va saqlash tizimlari cheklovlarini hisobga oladi, bu esa real sharoitga yaqin natijalar olish imkonini beradi.

Maqolaning maqsadi – gibridd energiya manbalariga ulangan zaryadlash stansiyalarida yuklama taqsimoti va energiya balanslash jarayonini matematik tahlil qilish va samarali optimallashtirish strategiyalarini ishlab chiqishdir. Asosiy vazifalar: energiya oqimlarini ifodalovchi matematik model yaratish, yuklama taqsimoti mexanizmlarini aniqlash, balanslashni optimallashtirish usullarini ishlab chiqish va simulyatsiya asosida natijalarni baholab amaliy tavsiyalar berish [1-3].

Metodologiya va materiallar

Mazkur tadqiqotda gibridd energiya manbalariga asoslangan zaryadlash stansiyasining ishlashini tahlil qilish uchun matematik model ishlab chiqildi. Modelda uchta asosiy energiya manbasi – fotovoltaiik panellar, akkumulatorli energiya saqlash tizimi va markaziy elektr tarmog‘i hisobga olindi. Ushbu manbalar o‘zaro integratsiyalashgan holda ishlaydi va ular orasidagi energiya oqimlari balanslash tenglamalari yordamida ifodalanadi.

Gibridd tizimning ishlash asosiy sharti ishlab chiqarilgan va iste‘mol qilingan quvvatning har bir vaqt momentida muvozanatda bo‘lishidir. Shuning uchun umumiy energiya balansi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$P_{PV}(t) + P_{grid}(t) + P_{bat}(t) = P_{load}(t), \quad (1)$$

bu yerda $P_{PV}(t)$ – fotovoltaiik tizimdan ishlab chiqarilgan quvvat, $P_{grid}(t)$ – markaziy tarmoqdan olinayotgan yoki unga uzatilayotgan quvvat, $P_{bat}(t)$ – akkumulyator tizimidan olinayotgan yoki unga yuklanayotgan quvvat, $P_{load}(t)$ esa zaryadlash stansiyasining umumiy yuklamasini bildiradi. Balans tenglamasi yordamida har qanday vaqtda energiya taqsimotining qaysi manbadan qoplanishi yoki ortiqcha quvvatning qayerga yo‘naltirilishi aniq bo‘ladi.

Fotovoltaiik tizimdan olinadigan quvvat quyosh radiatsiyasi, panelning samaradorligi va yuzasi bilan aniqlanadi. Oddiy holda u quyidagicha yoziladi:

$$P_{PV}(t) = \eta_{PV} \cdot A \cdot G(t), \quad (2)$$

bu yerda η_{PV} – panel samaradorligi, A – panellarning umumiy yuzasi, $G(t)$ esa vaqt bo‘yicha quyosh radiatsiyasidir. Amaliy sharoitlarda quyosh panellarining ishlashi ideal bo‘lmaydi: haroratning ko‘tarilishi, chang va boshqa tashqi omillar samaradorlikni kamaytiradi. Shu sababli model yanada aniq bo‘lishi uchun qo‘shimcha yo‘qotishlar koeffitsiyenti k_{loss} kiritildi:

$$P_{PV}(t) = \eta_{PV} \cdot A \cdot G(t) \cdot (1 - k_{loss}). \quad (3)$$

Akkumulator tizimi energiya ishlab chiqarish va iste‘mol o‘rtasidagi vaqtinchalik nomutanosibliklarni kamaytirishda muhim ahamiyatga ega. Uning ishlash jarayoni quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$E_{bat}(t + 1) = E_{bat}(t) + \eta_{ch} \cdot P_{ch}(t) \cdot \Delta t - \frac{1}{\eta_{dis}} \cdot P_{dis}(t) \cdot \Delta t, \quad (4)$$

bu yerda $E_{bat}(t)$ – akkumulyatorning vaqt t dagi energiya zaxirasi, $P_{ch}(t)$ – unga yuklanayotgan quvvat, $P_{dis}(t)$ – undan olinayotgan quvvat, η_{ch} va η_{dis} esa zaryadlash va razryadlash samaradorlik koeffitsiyentlari. Akkumulyatorning ishlashini real sharoitga moslashtirish uchun uning minimal va maksimal chegaralari ham hisobga olinadi:

$$E_{min} \leq E_{bat}(t) \leq E_{max}. \quad (5)$$

Markaziy elektr tarmog‘i esa stansiyaning asosiy tayanch manbasi sifatida qaraladi. Agar ishlab chiqarilgan energiya yetarli bo‘lmasa, zarur quvvat tarmoqdan olinadi; aksincha, ortiqcha quvvat mavjud bo‘lsa, u tarmoqqa uzatiladi. Bunda tarmoqdan olinadigan yoki tarmoqqa uzatiladigan quvvat quyidagicha aniqlanadi:

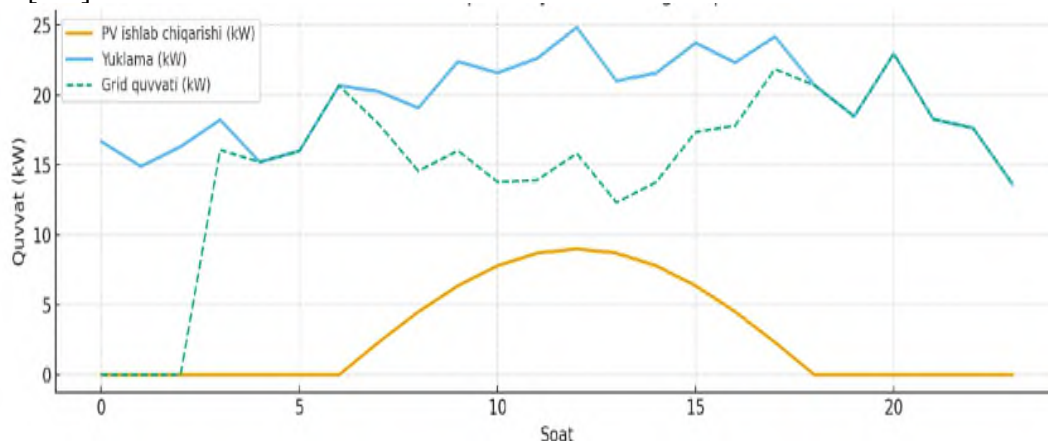
$$P_{grid}(t) = P_{load}(t) - (P_{PV}(t) + P_{bat}(t)). \quad (6)$$

Zaryadlash stansiyasining yuklamasi esa iste‘molchilarning soni va ularning quvvat talabiga bog‘liq. Uni quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$P_{load}(t) = \sum_{i=1}^N P_{EV_i}(t), \quad (7)$$

bu yerda N – stansiyada bir vaqtda zaryadlanayotgan avtomobillar soni, $P_{EV_i}(t)$ esa i -chi avtomobilning quvvat talabi. Transport vositalarining kelish vaqti hamda quvvat talabi stoxastik kattaliklar bo‘lib, ular ehtimollik taqsimotlari asosida modellashiriladi. Shu sababli yuklama real

sharoitlarda oldindan qat'iy aniqlik bilan belgilanishi mumkin emas, balki ehtimollik asosida baholanadi[4-7].



1-rasm. PV ishlab chiqarishi, yuklama va grid quvvati dinamikasi.

1-rasmdan ko'rinib turibdiki, fotovoltaik tizim quvvati quyosh nurlanishining o'zgarishiga bevosita bog'liq. Tong soatlarida (0:00–6:00) quyosh radiatsiyasi nolga teng bo'lgani uchun PV ishlab chiqarishi ham mavjud emas. Shu paytda yuklama markaziy elektr tarmog'i va akkumulator hisobidan qoplanadi. Kunduzi, xususan 10:00–15:00 oralig'ida quyosh radiatsiyasi maksimal qiymatlarga yetadi, natijada PV ishlab chiqarishi yuklamaning katta qismini ta'minlaydi. Shu vaqt oralig'ida ortiqcha energiya akkumulator tizimiga yuklanadi.

Zaryadlash stansiyalarida energiya balansini ta'minlash murakkab jarayon bo'lib, bunda ishlab chiqarilayotgan va iste'mol qilinayotgan quvvat vaqt bo'yicha o'zgarib turadi. Fotovoltaik tizim ishlab chiqarishi asosan quyosh radiatsiyasiga bog'liq bo'lsa, yuklama esa avtomobillar soni va ularning zaryadlash tezligiga qarab dinamik ravishda o'zgaradi. Shu sababli tizimni boshqarishda turli optimallashtirish algoritmlari qo'llaniladi.

Chiziqli optimallashtirish usuli energiya oqimlarini eng maqbul tarzda taqsimlash uchun qo'llanadi. Masalan, markaziy tarmoqdan olinadigan quvvatni minimallashtirish yoki akkumulatorning ortiqcha razryadlanishidan saqlash maqsadida quyidagi maqsad funksiyasi tuziladi:

$$\min C = \sum_{t=1}^T (c_{grid} \cdot P_{grid}(t) + c_{loss} \cdot k_{loss}(t)), \quad (8)$$

bu yerda c_{grid} – tarmoqdan energiya olish narxi, c_{loss} – yo'qotishlar bilan bog'liq xarajat, T – tahlil qilinayotgan vaqt oralig'i. Ushbu usul yuklama taqsimotini aniq va tezkor hisoblash imkonini beradi, biroq murakkab noaniqliklarni to'liq hisobga olmaydi.

Dinamik dasturlash o'zgaruvchan yuklama va ishlab chiqarish sharoitida optimal qarorlar qabul qilish imkonini beradi. Masalan, ortiqcha kunduzi ishlab chiqarilgan quyosh energiyasini akkumulatorlarda saqlab, kechki yuklamani kamaytirish mumkin. Stoxastik modellash tizimida esa yuklama va ishlab chiqarishdagi noaniqliklarni hisobga olib, ehtimoliy ssenariylar asosida tizimning ishonchliligi va barqarorligini baholashga xizmat qiladi.

Matematik modellash uchun bir nechta dasturiy vositalar qo'llanildi. MATLAB/Simulink muhitida fotovoltaik panellar, akkumulator jarayonlari va tarmoq almashinuvi dinamik simulyatsiya qilindi. Python tilida PuLP, SciPy.optimize, NumPy va SimPy kutubxonalari asosida optimallashtirish va stoxastik modellar ishlab chiqildi. Bundan tashqari, HOMER Pro dasturi yordamida gibridd tizimning optimal konfiguratsiyasi va iqtisodiy samaradorligi baholandi.

Tadqiqotda foydalanilgan ma'lumotlar tajribaviy kuzatuvlar va simulyatsiya natijalaridan iborat bo'lib, ular gibridd energiya manbalariga ulangan zaryadlash stansiyalarining energiya balansini modellash uchun asos bo'lib xizmat qildi. Avvalo, fotovoltaik tizimning ishlab chiqarish ko'rsatkichlari haqidagi ma'lumotlar meteorologik stansiya kuzatuvlari asosida shakllantirildi. Quyosh radiatsiyasi $G(t)$, tashqi havo harorati $T_{air}(t)$ va namlik kabi parametrlarga oid ma'lumotlar 15 daqiqalik va 1 soatlik diskretlikda yig'ildi. Bu ma'lumotlar keyinchalik quyosh panellari quvvatini aniqlashda ishlatildi. Radiatsiya qiymatlari xalqaro meteorologik ma'lumotlar

bazasi va mahalliy ob-havo stansiyalari orqali olingan bo'lib, ular panel samaradorligiga ta'sir qiluvchi tashqi sharoitlarni hisobga olish imkonini berdi.

Akkumulator tizimi bo'yicha ma'lumotlar simulyatsiya asosida yig'ildi. Bunda turli sig'imdagi (100 kWh, 250 kWh va 500 kWh) akkumulatorlar uchun zaryadlash va razryadlash jarayonlari hisoblab chiqildi. Akkumulator samaradorlik koeffitsiyenti, zaryad/razryad tezligi va cheklovlar haqidagi ma'lumotlar ishlab chiqaruvchi kataloglari va ilmiy manbalardan olindi. Ushbu parametrlar yordamida akkumulatorning energiya zaxirasi vaqt bo'yicha o'zgarishi hisoblandi [8-10].

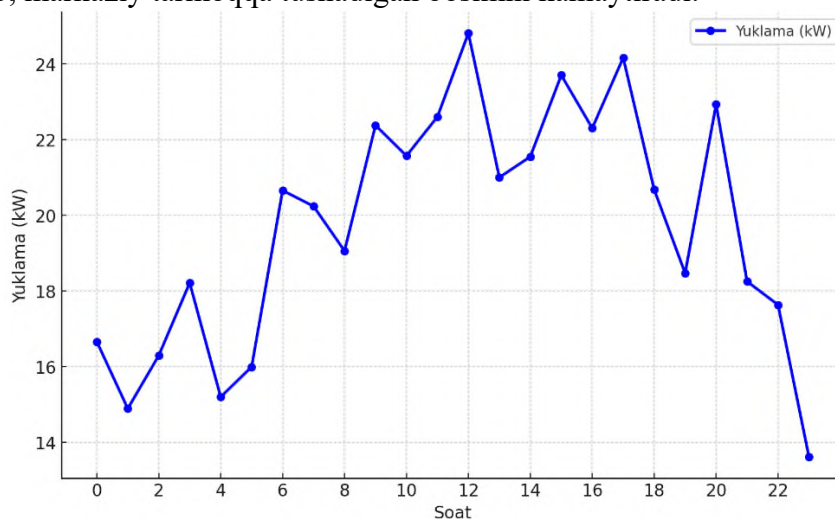
Natijalar va munozara

Ishlab chiqilgan matematik model asosida gibridd energiya tizimining 24 soatlik faoliyati simulyatsiya qilindi. Hisoblash jarayonida quyosh radiatsiyasining sutkalik o'zgarishi, fotovoltaiik (PV) panellarning ishlab chiqarish dinamikasi, yuklamaning vaqt bo'yicha taqsimlanishi, akkumulatorning zaryad va razryad jarayonlari hamda markaziy elektr tarmog'idan olinadigan quvvat ulushi tahlil qilindi.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, ertalabki soatlarda quyosh radiatsiyasi past bo'lgani sababli PV ishlab chiqarishi nolga yaqin bo'ladi. Bu davrda stansiya yuklamasi asosan markaziy tarmoq va akkumulator hisobidan qoplanadi. Tush paytiga kelib quyosh radiatsiyasi maksimal qiymatga yetadi va PV panellari yuklamaning katta qismini ta'minlaydi. Ortiqcha energiya akkumulator tizimiga yo'naltirilib, uning zaxira quvvati oshiriladi. Kechki va tungi soatlarda PV ishlab chiqarish yana nol darajasiga tushib, energiya ta'minoti asosan akkumulator zaxiralari hisobidan amalga oshiriladi, zarurat tug'ilganda markaziy tarmoqdan ham quvvat olinadi.

Umumlashtirilgan hisob-kitoblarga ko'ra, gibridd tizim zaryadlash stansiyasining kunlik energiya ehtiyojining 45–55 % ini PV panellari, 20–30 % ini akkumulator tizimi, qolgan qismini esa markaziy elektr tarmog'i orqali qoplash imkonini beradi. Bu esa gibridd manbalar asosida ishlaydigan stansiyalar markaziy elektr tarmog'iga tushadigan yuklamani sezilarli darajada kamaytirishini ko'rsatadi.

Yuklamaning vaqt bo'yicha taqsimoti grafigi. Zaryadlash stansiyasining 24 soatlik yuklama profili tahlil qilinganida, ertalab yuklama nisbatan o'rtacha darajada bo'lishi, tushlikdan keyin esa keskin ortib cho'qqi davrni hosil qilishi kuzatildi. Ayniqsa, kechqurun transport oqimi kuchaygan vaqtda yuklama maksimal qiymatlarga yetadi. Ushbu davrda PV panellari va akkumulator tizimi asosiy rol o'ynab, markaziy tarmoqqa tushadigan bosimni kamaytiradi.



2-rasm. Zaryadlash stansiyasida yuklamaning vaqt bo'yicha taqsimoti.

Gibridd energiya tizimlari samaradorligi ko'p manbali elektr ta'minoti tamoyiliga asoslanadi. Fotovoltaiik panellar va shamol turbinalari qayta tiklanuvchi energiya manbalari sifatida ekologik toza va iqtisodiy jihatdan samarali bo'lsa, markaziy elektr tarmog'i tizimning barqarorligini ta'minlaydi. Matematik modellash natijalari shuni ko'rsatdiki, odatiy sharoitlarda zaryadlash stansiyalarining kunlik energiya ehtiyojining 40–50 foizi quyosh panellari, 15–25 foizi shamol turbinalari, qolgan qismi esa markaziy tarmoq orqali qoplanadi. Biroq bu nisbatlar hududning iqlimiy va geofizik

xususiyatlariga qarab sezilarli o'zgarishi mumkin. Akkumulator tizimlarining qo'shilishi qayta tiklanuvchi manbalar ishlab chiqarishdagi o'zgaruvchanlikni kompensatsiya qilib, tizim samaradorligini 15–20 foizga oshiradi hamda cho'qqi yuklama davrida tarmoq yuklamasini kamaytiradi.

Zaryadlash stansiyalarining samarali ishlashi energiya balanslash mexanizmlariga ham bog'liqdir. Tadqiqotda uch xil yondashuv tahlil qilindi. Birinchi yondashuv – an'anaviy tarmoqqa tayanuvchi strategiya bo'lib, bunda qayta tiklanuvchi ishlab chiqarish yetarli bo'lmaganda butun yuklama markaziy tarmoqdan olinadi. Bu usul oddiy bo'lsada, cho'qqi yuklama paytida tarmoqda ortiqcha yuklanish yuzaga keladi va iqtisodiy xarajatlar oshadi. Ikkinchi yondashuv – akkumulator yordamida balanslash bo'lib, bunda ortiqcha ishlab chiqarilgan energiya saqlanib, yuklama yuqori bo'lgan paytlarda qayta ishlatiladi. Natijada markaziy tarmoqqa bo'lgan ehtiyoj kamayadi va tizimning barqarorligi ortadi. Uchinchi yondashuv – optimallashtirilgan gibridd strategiya bo'lib, unda energiya oqimlari maxsus algoritmlar, jumladan, chiziqli optimallashtirish yoki dinamik dasturlash usullari yordamida taqsimlanadi. Bu strategiya natijasida qayta tiklanuvchi manbalar va akkumulator imkoniyatlari maksimal darajada ishlatiladi, energiya yo'qotishlari 15–20 foizgacha qisqaradi va umumiy samaradorlik sezilarli darajada oshadi.

Energiya yo'qotishlari va samaradorlikning matematik ko'rsatkichlari. Gibridd tizim samaradorligini baholash uchun matematik ko'rsatkichlardan foydalanildi. Umumiy samaradorlik quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\eta_{sys} = \frac{E_{useful}}{E_{gen}} \times 100\% \quad (10)$$

bu yerda% – iste'molchilarga yetkazib berilgan foydali energiya, E_{gen} – umumiy ishlab chiqarilgan energiya. Agar qayta tiklanuvchi manbalar ishlab chiqargan energiya akkumulyator yoki tarmoq orqali to'liq ishlatilsa, samaradorlik yuqori bo'ladi; aks holda, energiya yo'qotishlari yuzaga keladi.

Energiya yo'qotishlari esa quyidagi tenglama yordamida hisoblanadi:

$$L = E_{gen} - E_{useful} \quad (11)$$

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, an'anaviy tarmoqqa tayanuvchi strategiyada yo'qotishlar 18–20 foizni tashkil qiladi. Akkumulator yordamida balanslash strategiyasida yo'qotishlar 10–12 foizgacha kamayadi, optimallashtirilgan gibridd strategiyada esa yo'qotishlar atigi 8–10 foizni tashkil etadi. Shu bilan birga, gibridd tizimning umumiy samaradorlik koeffitsiyenti η_{sys} 75–80 foiz atrofida bo'lib, bu oddiy tarmoqqa tayanuvchi stansiyalardan qariyb 20–25 foiz yuqoridir.

Xulosa

Ushbu tadqiqotda gibridd energiya manbalari asosida ishlovchi zaryadlash stansiyalarining energiya balansini matematik modellashirish amalga oshirildi va ularning samaradorligini oshirish yo'llari tahlil qilindi. Qurilgan model fotovoltaiik panellar, shamol turbinalari, akkumulator tizimi va markaziy elektr tarmog'ining o'zaro integratsiyasini hisobga oldi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan birgalikda ishlaydigan gibridd tizimlar markaziy tarmoqqa tushadigan yuklamani sezilarli darajada kamaytirishi va stansiyaning umumiy samaradorligini oshirishi mumkin.

Tadqiqotning asosiy ilmiy ahamiyati shundaki, ishlab chiqilgan matematik model energiya ishlab chiqarish, saqlash va iste'mol jarayonlarini yagona muvozanat tenglamasi asosida ifodalash imkonini berdi. Bu yondashuv yordamida turli balanslash strategiyalari – an'anaviy, akkumulatorli va optimallashtirilgan gibridd yondashuv – taqqoslab chiqildi hamda ularning samaradorlik ko'rsatkichlari matematik asoslangan holda aniqlab berildi.

Amaliy nuqtai nazardan, ushbu tahlil zaryadlash stansiyalarini loyihalash va boshqarishda katta imkoniyatlarga ega. Jumladan, akkumulator tizimidan foydalanish markaziy tarmoqdan olinadigan energiya hajmini kamaytiradi, energiya taqsimoti optimallashtirilganida esa yo'qotishlar 8–10 foizgacha pasayadi. Bu natijalar iqtisodiy xarajatlarni kamaytirish, uglerod izini qisqartirish va barqaror energetika infratuzilmasini shakllantirishda muhim omil bo'lib xizmat qiladi.

Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, gibridd energiya manbalari asosidagi zaryadlash stansiyalari nafaqat elektr transport vositalarining barqaror ishlashini ta'minlaydi, balki energiya tizimining

umumiy samaradorligi va ishonchligini ham sezilarli darajada oshiradi. Shu sababli, taklif etilgan matematik modellashtirish va tahlil usullarini real loyihalarda qo'llash imkoniyatlari yuqori bo'lib, ular kelgusida energetika va transport sohalarining barqaror rivojlanishiga xizmat qilishi mumkin.

Adabiyotlar

- [1] Mwasilu, F., Justo, J. J., Kim, E. K., Do, T. D., & Jung, J. W. (2014). Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 501–516. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.031>
- [2] Lund, H., Ostergaard, P. A., Connolly, D., & Mathiesen, B. V. (2017). Smart energy and smart energy systems. *Energy*, 137, 556–565. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.123>
- [3] Yilmaz, M., & Krein, P. T. (2013). Review of charging power levels and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC)*, 1–8. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEVC.2013.6799610>
- [4] Nykamp, S., Pruckner, M., & Heuvelink, E. (2019). Integration of electric vehicle charging stations into energy systems with renewable energy sources. *Applied Energy*, 254, 113600. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113600>
- [5] Bahrami, S., Wong, V. W. S., & Jatskevich, J. (2019). Demand response for smart charging of electric vehicles in smart grids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(3), 2829–2839. <https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2887299>
- [6] Li, R., Su, H., & Wang, H. (2020). Optimal scheduling of renewable energy integrated EV charging stations considering demand response. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120389. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120389>
- [7] González, J. M., Rivas, E., & Aguado, J. A. (2018). Energy management of microgrids with electric vehicles and renewable sources: A literature review. *Renewable Energy*, 123, 282–294. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.003>
- [8] Zhou, Y., Wu, Y., & Xu, W. (2018). Stochastic modeling and optimization of EV charging load in renewable energy integrated microgrids. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 9(3), 1071–1081. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2017.2762364>
- [9] Chen, X., Liu, J., & Song, Y. (2018). Energy management of hybrid renewable energy systems for EV charging stations: A comprehensive review. *Energy Conversion and Management*, 171, 1247–1268. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.051>
- [10] Khalid, M., & Savkin, A. V. (2016). Optimal control of fast charging stations for electric vehicles under renewable energy generation and grid power constraints. *Energy*, 113, 1247–1258. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.065>