

UO'K: 621.311.243:004.8

**AVTONOM FOTOELEKTRIK TIZIMLAR ISHONCHLILIGINI
INTELLEKTUAL OPTIMALLASHTIRISH**

Majidova Maxliyo A'zam qizi¹ – assistent ORCID: 0009-0000-6078-5944,

E-mail: maxliyomajidova106@gmail.com Tel.: +998 87 310 11 93

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu tezisdav avtonom fotoelektrik tizimlar ishonchliligini sun'iy intellekt asosida intellektual optimallashtirish masalasi ko'rib chiqiladi. Fotoelektrik modul, akkumulyator batareyasi, invertor va elektr yuklamalarining ish rejimlarini kompleks tahlil qilish asosida tizimning optimal boshqaruv holatini aniqlash yondashuvi taklif etiladi. Sun'iy intellekt algoritmlaridan foydalanish energiya ishlab chiqarish, energiyani saqlash va iste'mol qilish jarayonlarini muvofiqlashtirish, texnik holatning o'zgarishiga moslashish hamda tizimning uzluksiz ishlash ehtimolini oshirish imkonini beradi. Taklif etilgan yondashuv energiya yo'qotishlarini kamaytirish va avtonom fotoelektrik tizimlarning ishonchli ishlashini ta'minlashga qaratilgan.

Kalit so'zlar: avtonom fotoelektrik tizim, sun'iy intellekt, intellektual optimallashtirish, ishonchlilik, adaptiv boshqaruv, energiya samaradorligi, akkumulyator, invertor, energiya yo'qotishlari.

УДК: 621.311.243:004.8

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ НАДЕЖНОСТИ
АВТОНОМНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Мажидова Махлиё Азам кизи¹ – ассистент,

ORCID: 0009-0000-6078-5944

E-mail: maxliyomajidova106@gmail.com

Тел.: +998 87 310 11 93

¹ *Каршинский государственный технический университет, г. Карши,
Узбекистан*

Аннотация: В данной работе рассматривается задача интеллектуальной оптимизации надежности автономных фотоэлектрических систем на основе технологий искусственного интеллекта. Предлагается подход к определению оптимального режима управления системой на основе комплексного анализа режимов работы фотоэлектрических модулей, аккумуляторных батарей, инверторов и электрических нагрузок. Использование алгоритмов искусственного интеллекта позволяет согласовывать процессы производства, накопления и потребления энергии, адаптироваться к изменениям технического состояния системы и повышать вероятность ее непрерывной работы. Предложенный подход направлен на снижение энергетических потерь и обеспечение надежной работы автономных фотоэлектрических систем.

Ключевые слова: автономная фотоэлектрическая система, искусственный интеллект, интеллектуальная оптимизация, надежность, адаптивное управление, энергетическая эффективность, аккумуляторная батарея, инвертор, энергетические потери.

UDC: 621.311.243:004.8

**INTELLIGENT OPTIMIZATION OF AUTONOMOUS
PHOTOVOLTAIC SYSTEM RELIABILITY**

Majidova Maxliyo Azam qizi¹ – Assistant,

ORCID: 0009-0000-6078-5944

E-mail: maxliyomajidova106@gmail.com

Tel.: +998 87 310 11 93

¹ Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract: This thesis examines the intelligent optimization of autonomous photovoltaic system reliability based on artificial intelligence technologies. An approach is proposed for determining optimal system operating and control conditions through the integrated analysis of photovoltaic modules, battery storage, inverters, and electrical loads. Artificial intelligence algorithms can coordinate energy generation, storage, and consumption processes, adapt to changes in the system's technical condition, and increase the probability of continuous operation. The proposed approach aims to reduce energy losses and ensure the reliable operation of autonomous photovoltaic systems.

Keywords: autonomous photovoltaic system, artificial intelligence, intelligent optimization, reliability, adaptive control, energy efficiency, battery storage, inverter, energy losses.

KIRISH

Bugungi kunda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish, energiya ta'minotining barqarorligini oshirish va energetika tizimlariga raqamli hamda sun'iy intellekt texnologiyalarini joriy etish muhim ilmiy-amaliy yo'nalishlardan biri hisoblanadi. O'zbekistonda quyosh energetikasini rivojlantirish, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini keng joriy etish va energiya tejovchi texnologiyalarni tatbiq etish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida belgilangan [1]. Avtonom fotoelektrik tizimlar elektr tarmoqlaridan uzoqda joylashgan iste'molchilarni energiya bilan ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Bunday tizimlarda energiya ishlab chiqarish, saqlash va iste'mol qilish jarayonlari o'zaro bog'liq bo'lib, fotoelektrik modullar, akkumulyator batareyalari, inverterlar va elektr yuklamalarining ish rejimlarini optimal boshqarish tizimning umumiy ishonchligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Quyosh nurlanishining o'zgaruvchanligi, yuklamaning vaqt bo'yicha o'zgarishi va energiya saqlash qurilmalarining texnik holati avtonom tizimlarda boshqaruv jarayonini murakkablashtiradi. Shu sababli avtonom fotoelektrik tizimlarni faqat oldindan belgilangan boshqaruv algoritmlari asosida boshqarish barcha ish sharoitlarida yuqori samaradorlikni ta'minlay olmaydi. Zamonaviy tadqiqotlarda

sun'iy intellekt, mashinali o'qitish va intellektual optimallashtirish usullari murakkab energetik tizimlarning holatini baholash, energiya oqimlarini optimallashtirish va optimal boshqaruv qarorlarini shakllantirishda istiqbolli vosita sifatida qaralmoqda [2, 3]. Sun'iy intellektning fotoelektrik tizimlarga integratsiyasi energiya ishlab chiqarishni prognozlash, maksimal quvvat nuqtasini kuzatish, energiyani saqlash tizimlarini boshqarish, nosozliklarni aniqlash va energiya oqimlarini optimallashtirish imkoniyatlarini kengaytiradi [3, 4]. Ayniqsa, fotoelektrik energiya ishlab chiqarish va akkumulyatorning texnik holati haqidagi real vaqt monitoring ma'lumotlarini tahlil qilish asosida adaptiv boshqaruv qarorlarini qabul qilish tizimning o'zgaruvchan ish sharoitlariga moslashuvchanligini oshirishi mumkin. O'zbekiston Respublikasida sun'iy intellekt texnologiyalarini iqtisodiyot va tarmoqlarga keng joriy etish davlat miqyosidagi ustuvor vazifalardan biri sifatida belgilangan. Sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish va amaliy sohalarda qo'llashga qaratilgan strategik yondashuv energetika tizimlarida ham intellektual monitoring, prognozlash va boshqaruv usullarini rivojlantirish uchun muhim sharoit yaratadi [5]. Xalqaro tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, sun'iy intellekt asosidagi usullar fotoelektrik tizimlarning turli bosqichlarida, jumladan, quvvatni prognozlash, maksimal quvvat nuqtasini kuzatish, energiyani boshqarish, texnik holatni monitoring qilish va optimallashtirish masalalarida keng qo'llanilmoqda [2–4]. Shu bilan birga, energiya saqlash tizimlari bilan integratsiyalashgan fotoelektrik qurilmalarda optimallashtirish ishlab chiqarilgan energiya, akkumulyator holati va iste'molchi yuklamasi o'rtasidagi muvozanatni ta'minlash bilan bevosita bog'liqdir [6]. Mazkur muammoning ilmiy ahamiyati shundaki, avtonom fotoelektrik tizimlarda ishonchlilikni oshirish faqat alohida qurilmaning samaradorligini yaxshilash orqali emas, balki butun tizimning ish holatini kompleks baholash va optimal boshqaruv qarorlarini shakllantirish orqali ta'minlanadi. Bunda sun'iy intellekt modeli monitoring ma'lumotlari asosida tizim holatini tahlil qiladi va energiya ishlab chiqarish, saqlash hamda iste'mol qilish jarayonlarini o'zaro muvofiqlashtirishga xizmat qiladi. Shu munosabat bilan mazkur tadqiqotning maqsadi avtonom

fotoelektrik tizimlarning asosiy texnik va energetik parametrlarini sun'iy intellekt asosida tahlil qilish hamda optimal boshqaruv qarorlarini shakllantirish orqali tizim ishonchliligini intellektual optimallashtirish yondashuvini asoslashdan iborat.

TADQIQOT METODLARI

Tadqiqotda avtonom fotoelektrik tizimlar ishonchliligini intellektual optimallashtirish uchun tizimning texnik, energetik va ekspluatatsion parametrlarini kompleks tahlil qilishga asoslangan yondashuv taklif etildi. Ushbu yondashuv fotoelektrik modulda energiya ishlab chiqarish, akkumulyator batareyasida energiyani saqlash, invertorda energiyani o'zgartirish va iste'molchi yuklamasini ta'minlash jarayonlarini o'zaro bog'liq holda boshqarishni nazarda tutadi. Avtonom fotoelektrik tizimning umumiy holatini baholashda asosiy kirish parametrlari sifatida quyosh nurlanishi (G), atrof-muhit va modul harorati (T), fotoelektrik tizim ishlab chiqarayotgan quvvat (P_{PV}), akkumulyatorning zaryadlanganlik darajasi (SOC), yuklama quvvati (P_L) hamda invertorning foydali ish koeffitsienti (η_{inv}) qabul qilinadi. Mazkur parametrlarning o'zaro bog'liqligi avtonom tizimning energiya balansi va texnik holatini shakllantiradi [2–4].

Avtonom fotoelektrik tizimda energiya balansining soddalashtirilgan matematik ifodasi quyidagicha beriladi:

$$P_{PV} + P_{bat} = P_L + P_{loss} \quad (1)$$

bu yerda (P_{PV}) — fotoelektrik modul tomonidan ishlab chiqarilayotgan quvvat; (P_{bat}) — akkumulyator batareyasidan olinayotgan yoki unga uzatilayotgan quvvat; (P_L) — iste'molchi yuklamasining quvvati; (P_{loss}) — tizimdagi umumiy energiya yo'qotishlaridir.

Taklif etilgan yondashuvda sun'iy intellekt modeli real vaqt monitoring ma'lumotlarini tahlil qilish asosida tizimning optimal ish holatini aniqlaydi. Bunda optimallashtirishning asosiy maqsadi energiya ta'minotining uzluksizligini saqlash, akkumulyatorning me'yoriy ish rejimini ta'minlash, ortiqcha energiya yo'qotishlarini kamaytirish va tizim elementlarining ortiqcha yuklanish ehtimolini cheklashdan iborat.

Tizimning umumiy ishonchlilik ko'rsatkichini optimallashtirish masalasi

shartli ravishda quyidagi maqsad funksiyasi orqali ifodalanadi:

$$J = \omega_1 R + \omega_2 \eta - \omega L \quad (2)$$

bu yerda (J) — optimallashtirish mezon; (R) — tizimning ishonchlik ko'rsatkichi; (η) — tizimning energiya samaradorligi; (L) — energiya yo'qotishlari; (ω_1), (ω_2) va (ω_3) — mos ko'rsatkichlarning ustuvorlik darajasini ifodalovchi vazn koeffitsientlaridir.

Mazkur maqsad funksiyasida tizimning ishonchliligi va energiya samaradorligini oshirish hamda energiya yo'qotishlarini kamaytirish bir vaqtning o'zida hisobga olinadi. Vazn koeffitsientlari avtonom fotoelektrik tizimning ekspluatatsion sharoitlari va iste'molchi talablariga qarab tanlanishi mumkin.

Sun'iy intellekt asosidagi optimallashtirish jarayoni quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

Monitoring ma'lumotlari → Tizim holatini baholash → Sun'iy intellekt tahlili → Optimal boshqaruv qarori → Adaptiv boshqaruv

1-jadval. Avtonom fotoelektrik tizimlarda intellektual optimallashtirishning asosiy parametrlari

No	Parametr	Belgilanishi	Intellektual optimallashtirishdagi vazifasi
1	Quyosh nurlanishi	(G)	Fotoelektrik energiya ishlab chiqarish imkoniyatini baholash
2	Modul harorati	(T)	PV modul ish rejimi va quvvat samaradorligiga ta'sirni hisobga olish
3	PV quvvati	(P_{PV})	Ishlab chiqarilayotgan energiya miqdorini baholash

4	Akkumulyator holati	(SOC)	Zaryadlash va razryadlash rejimini optimallashtirish
5	Yuklama quvvati	(P_L)	Energiya iste'molini boshqarish va ustuvorliklarni belgilash
6	Invertor samaradorligi	(η_{inv})	Energiya konversiyasi jarayonidagi yo'qotishlarni baholash

Dastlabki bosqichda fotoelektrik tizimning asosiy parametrlaridan real vaqt monitoring ma'lumotlari yig'iladi. Keyingi bosqichda ushbu ma'lumotlar asosida tizimning joriy energetik va texnik holati baholanadi. Sun'iy intellekt modeli parametrlar o'rtasidagi o'zaro bog'liqliklarni tahlil qilib, mavjud ish sharoitiga mos optimal boshqaruv qarorini shakllantiradi. Ushbu qaror akkumulyatorning zaryadlanish va razryadlanish rejimi, energiya oqimlarini taqsimlash yoki yuklamalarni boshqarishga yo'naltirilishi mumkin.

Taklif etilgan metodologiyada optimallashtirish jarayoni statik emas, balki adaptiv xususiyatga ega. Ya'ni quyosh nurlanishi, yuklama yoki akkumulyator holatining o'zgarishi natijasida sun'iy intellekt modeli tizimning boshqaruv strategiyasini yangi sharoitga moslashtiradi. Shu jihat bilan mazkur yondashuv oldindan belgilangan qoidalarga asoslangan boshqaruv usullaridan farq qiladi [2, 3].

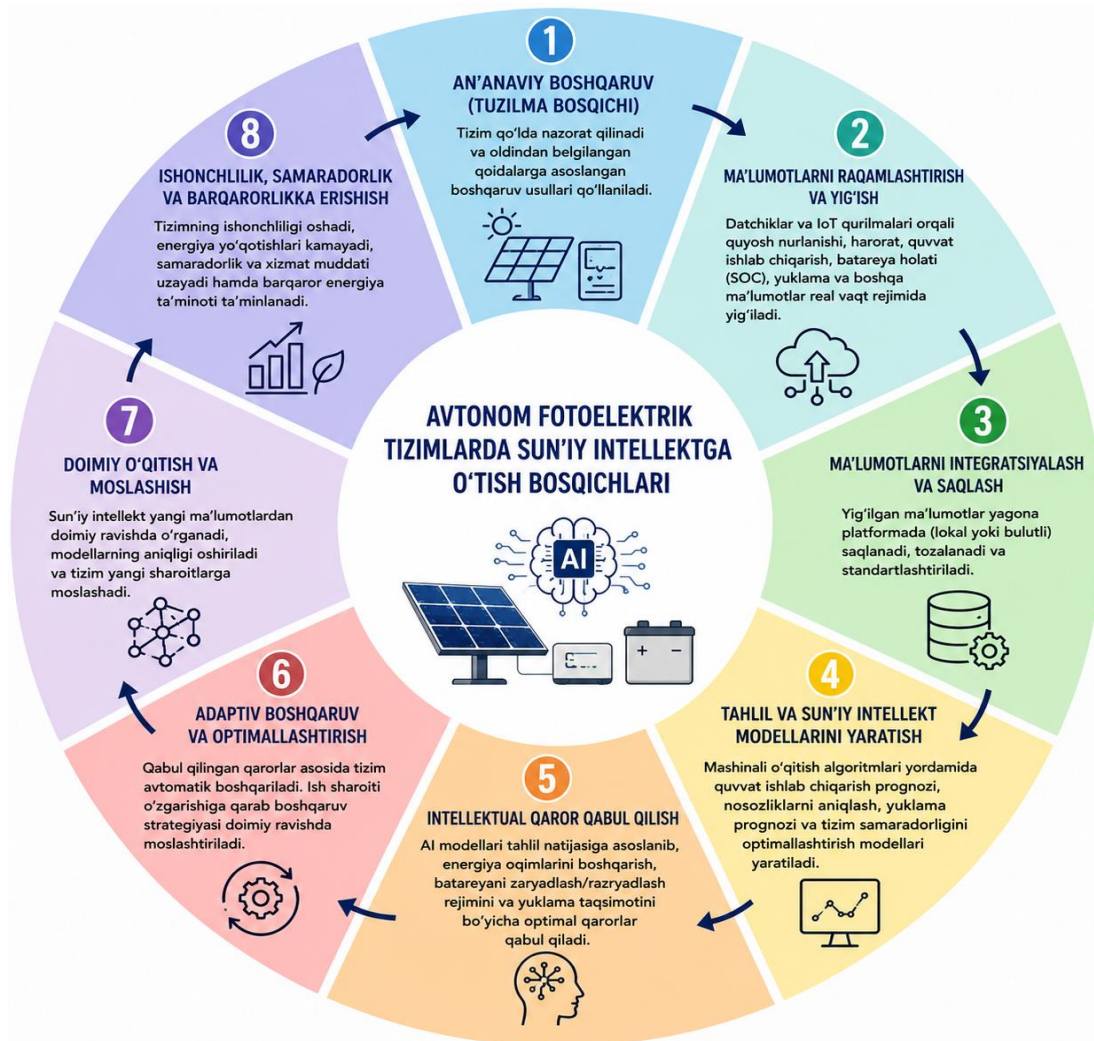
Natijada avtonom fotoelektrik tizimlarning texnik va energetik ko'rsatkichlarini kompleks tahlil qilish asosida tizimning optimal ish holatini shakllantirish uchun intellektual optimallashtirish modeli taklif etiladi. Ushbu yondashuv tizimning uzluksiz ishlashini ta'minlash, energiya resurslaridan oqilona foydalanish va texnik elementlarning ish rejimlarini muvofiqlashtirish orqali ishonchlilikni oshirishga qaratilgan.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tadqiqot natijasida avtonom fotoelektrik tizimlar ishonchliligini oshirishning sun'iy intellekt asosidagi intellektual optimallashtirish yondashuvi shakllantirildi. Taklif etilgan yondashuvning asosiy xususiyati fotoelektrik tizim elementlarini alohida boshqarishdan voz kechib, fotoelektrik energiya ishlab chiqarish, energiyani akkumulyatorda saqlash, iste'mol qilish va boshqarish jarayonlarini yagona o'zaro bog'liq tizim sifatida ko'rib chiqishdan iborat.

1-jadvalda keltirilgan parametrlar tahlili shuni ko'rsatadiki, avtonom fotoelektrik tizimning ish holati bir vaqtning o'zida bir nechta o'zgaruvchilarga bog'liq. Quyosh nurlanishi (G) fotoelektrik modul ishlab chiqarayotgan quvvatga ta'sir qilsa, yuklama quvvati (P_L) energiyaga bo'lgan joriy talabni belgilaydi. Akkumulyatorning (SOC) ko'rsatkichi esa mavjud energiya zaxirasi va zaryadlash hamda razryadlash strategiyasini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Shu sababli mazkur parametrlarni alohida chegaraviy qiymatlar asosida boshqarish murakkab va dinamik ish sharoitlarida yetarli bo'lmasligi mumkin. Xalqaro tadqiqotlarda sun'iy intellekt usullarining fotoelektrik tizimlarda qo'llanilishi, ayniqsa, ko'p parametrlil va nolinear jarayonlarni tahlil qilish, quvvat ishlab chiqarishni prognozlash, maksimal quvvat nuqtasini kuzatish, nosozliklarni aniqlash va boshqaruv qarorlarini shakllantirish yo'nalishlarida rivojlanayotgani qayd etilgan [2–4]. Sun'iy intellekt usullari katta hajmdagi monitoring ma'lumotlaridan tizim holati bilan bog'liq yashirin qonuniyatlarni aniqlash imkonini beradi. Fotoelektrik tizimlarda bunday yondashuvni amaliyotga joriy etish uchun monitoring ma'lumotlarining sifati va tizimlilik asosiy shartlardan biri hisoblanadi. IEC 61724-1:2021 xalqaro standarti fotoelektrik tizimlarning ishlashini monitoring qilish uchun terminologiya, uskunalar va monitoring usullariga oid asosiy talablarni belgilaydi. Shu sababli taklif etilgan intellektual optimallashtirish modelining dastlabki bosqichi sifatida fotoelektrik tizimdan muntazam va standartlashtirilgan ma'lumotlarni yig'ish muhim metodologik asos bo'lib xizmat qiladi [7].

1-rasm. Avtonom fotoelektrik tizimlarda sun'iy intellektga o'tish bosqichlari



1-rasmda avtonom fotoelektrik tizimlarni an'anaviy boshqaruvdan sun'iy intellekt asosidagi intellektual boshqaruvga o'tkazishning ketma-ket bosqichlari konseptual ravishda ifodalangan. Mazkur modelning dastlabki bosqichida tizim an'anaviy monitoring va oldindan belgilangan qoidalarga asoslangan boshqaruv rejimida ishlaydi. Keyingi bosqichda fotoelektrik tizimdan quyosh nurlanishi, harorat, quvvat, akkumulyator holati va yuklama kabi ma'lumotlar yig'ilib, raqamli ko'rinishga keltiriladi.

Uchinchi bosqichda yig'ilgan ma'lumotlar yagona axborot muhitida integratsiyalanadi va dastlabki qayta ishlashdan o'tkaziladi. Bu bosqich monitoring ma'lumotlaridagi bo'shliq, shovqin va turli o'lchov birliklari bilan bog'liq

muammolarni kamaytirish uchun muhimdir. Keyingi bosqichda mashinali o'qitish va sun'iy intellekt algoritmlari yordamida ishlab chiqarilgan quvvat, energiya zaxirasi, yuklama va tizimning texnik holati o'rtasidagi bog'lanishlar tahlil qilinadi.

Beshinchi bosqich intellektual qaror qabul qilish bosqichi hisoblanadi. Ushbu bosqichda sun'iy intellekt modeli monitoring va tahlil natijalari asosida energiya oqimlarini boshqarish, akkumulyatorni zaryadlash yoki razryadlash rejimini tanlash hamda yuklamalar uchun ustuvorliklarni belgilash bo'yicha optimal qarorni shakllantiradi. Qayta tiklanuvchi energiya tizimlarida sun'iy intellektning prognozlash, optimal dispetcherlik va adaptiv boshqaruv vazifalarida qo'llanilishi aynan energiya ishlab chiqarishning o'zgaruvchanligi va tizim cheklovlarini birgalikda hisobga olish imkonini kengaytiradi [2, 6].

Oltinchi bosqichda qabul qilingan qaror adaptiv boshqaruv mexanizmi orqali tizimga tatbiq etiladi. Ushbu jarayonda boshqaruv strategiyasi doimiy bo'lmaydi, balki quyosh nurlanishi, yuklama va akkumulyator holatining o'zgarishiga mos ravishda yangilanadi. Shu jihatdan sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv oldindan belgilangan qoidalarga asoslangan an'anaviy boshqaruvdan farq qiladi.

Yettinchi bosqichda tizimning yangi ish natijalari yana monitoring ma'lumotlari sifatida qabul qilinadi va sun'iy intellekt modeli uchun qayta aloqa hosil qiladi. Natijada boshqaruv tizimi vaqt davomida yangi ma'lumotlar va o'zgarayotgan ekspluatatsion sharoitlarga moslashish imkoniyatiga ega bo'ladi. Fotoelektrik tizimlarning monitoringi, diagnostikasi va prognostikasi bo'yicha zamonaviy tadqiqotlarda aynan ma'lumotlarga asoslangan uzluksiz tahlil va sog'liq holatini boshqarish istiqbolli yo'nalish sifatida baholanmoqda [3, 4].

Diagrammaning sakkizinchi bosqichi taklif etilgan intellektual optimallashtirish jarayonining yakuniy natijasini — tizimning ishonchliligi, energiya samaradorligi va barqarorligini oshirishni ifodalaydi. Bunda maqsad faqat fotoelektrik moduldan maksimal energiya olish emas, balki ishlab chiqarilgan energiyani oqilona taqsimlash, akkumulyatorning ruxsat etilgan ish diapazonini

saqlash, energiya yo'qotishlarini kamaytirish va tizim elementlarining ortiqcha yuklanish xavfini cheklashdan iborat.

Taklif etilgan aylana modelining asosiy ilmiy jihati uning yopiq qayta aloqa tamoyiliga asoslanganidadir. Ya'ni tizim "monitoring → tahlil → qaror → boshqaruv" zanjirini bir marta bajarib to'xtamaydi. Boshqaruv natijasida hosil bo'lgan yangi holat yana monitoring qilinadi va keyingi qarorlar uchun ma'lumotlar bazasini to'ldiradi. Shu sababli modelni avtonom fotoelektrik tizimning doimiy o'zgarib turuvchi tashqi va ichki sharoitlariga moslasha oladigan intellektual boshqaruv konturi sifatida baholash mumkin.

Muhokama natijalari shuni ko'rsatadiki, avtonom fotoelektrik tizimlarda sun'iy intellektga o'tish faqat mavjud boshqaruv dasturiga AI algoritmini qo'shish bilan cheklanmaydi. Bu jarayon monitoring infratuzilmasini shakllantirish, ma'lumotlarni raqamlashtirish, ularni integratsiyalash, sun'iy intellekt modelini o'qitish, optimal qaror qabul qilish va adaptiv qayta aloqa tizimini yaratishni talab qiladi. Zamonaviy ilmiy adabiyotlarda ham PV tizimlarida AI texnologiyalarining amaliy samaradorligi ma'lumotlar sifati, sensorlar konfiguratsiyasi, modelning murakkabligi va real ekspluatatsiya sharoitlariga mosligi bilan chambarchas bog'liqligi ta'kidlanadi [2–4].

Shunday qilib, tadqiqot natijasida avtonom fotoelektrik tizimlarning ishonchliligini oshirish uchun sun'iy intellektga o'tishning sakkiz bosqichli konseptual modeli asoslandi. Ushbu model an'anaviy boshqaruvdan boshlab monitoring ma'lumotlarini raqamlashtirish, ma'lumotlarni integratsiyalash, AI modellarini yaratish, intellektual qaror qabul qilish, adaptiv boshqaruv va doimiy o'qitish orqali yuqori ishonchlilik hamda energiya samaradorligiga erishishni nazarda tutadi. Taklif etilgan yondashuv keyingi bosqichda real monitoring ma'lumotlari asosida sun'iy intellekt algoritmlarini tanlash va ularning amaliy samaradorligini qiyosiy baholash uchun metodologik asos bo'lib xizmat qiladi.

XULOSA

Mazkur tadqiqotda avtonom fotoelektrik tizimlarning ishonchliligini oshirish uchun sun'iy intellekt asosidagi intellektual optimallashtirish yondashuvi

ishlab chiqildi va uning konseptual modeli asoslandi.

Birinchidan, avtonom fotoelektrik tizimning ishonchli ishlashi fotoelektrik energiya ishlab chiqarish, akkumulyatorda energiyani saqlash va iste'molchi yuklamasini ta'minlash jarayonlarini o'zaro bog'liq holda boshqarishga bevosita bog'liq ekanligi asoslandi. Shu sababli tizimning alohida parametrlarini mustaqil boshqarish o'rniga, (G) , (T) , (P_{PV}) , (SOC) , (P_L) va (η_{inv}) kabi asosiy ko'rsatkichlarni kompleks tahlil qilish maqsadga muvofiqdir.

Ikkinchidan, tizim ishonchliligi, energiya samaradorligi, energiya yo'qotishlari va akkumulyatorning ish holatini yagona mezonda birlashtiruvchi optimallashtirish maqsad funksiyasi taklif etildi. Ushbu yondashuv boshqaruv jarayonini faqat energiya ishlab chiqarishni maksimal darajada oshirishga emas, balki tizimning barqaror va uzluksiz ishlashini ta'minlashga yo'naltiradi.

Uchinchidan, avtonom fotoelektrik tizimni an'anaviy boshqaruvdan sun'iy intellekt asosidagi intellektual boshqaruvga o'tkazishning konseptual bosqichlari shakllantirildi. Ushbu jarayon monitoring ma'lumotlarini yig'ish, ularni raqamlashtirish va qayta ishlash, tizim holatini baholash, sun'iy intellekt asosida tahlil qilish, optimal qaror qabul qilish hamda adaptiv boshqaruvni amalga oshirishni o'z ichiga oladi.

To'rtinchidan, taklif etilgan modelning asosiy afzalligi yopiq qayta aloqa tamoyiliga asoslanganligidadir. Ya'ni boshqaruv natijasida tizimning yangi holati qayta monitoring qilinadi va olingan ma'lumotlar keyingi boshqaruv qarorlarini shakllantirishda qo'llaniladi. Bu esa tizimning quyosh nurlanishi, harorat, yuklama va akkumulyator holatidagi o'zgarishlarga moslashish imkoniyatini oshiradi.

Beshinchidan, intellektual optimallashtirish yondashuvi avtonom fotoelektrik tizimlarda energiya oqimlarini maqbul taqsimlash, akkumulyatorning me'yoriy ish diapazonini saqlash, energiya yo'qotishlarini kamaytirish va tizim elementlarining ortiqcha yuklanish xavfini cheklash orqali ishonchlilikni oshirish uchun ilmiy-amaliy asos yaratadi.

Umuman olganda, tadqiqot natijasida **“monitoring – ma'lumotlarni tahlil qilish – sun'iy intellekt asosida prognozlash – optimal qaror – adaptiv**

boshqaruv – qayta aloqa” tamoyiliga asoslangan intellektual optimallashtirish modeli taklif etildi. Mazkur yondashuv kelgusida real monitoring ma'lumotlari asosida turli sun'iy intellekt algoritmlarini sinovdan o'tkazish, ularning samaradorligini qiyosiy baholash va avtonom fotoelektrik tizimlar uchun eng maqbul boshqaruv modelini shakllantirishga metodologik asos bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. (2023, 16-fevral). *2023-yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejavchi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to'g'risida* (PQ–57-son qaror).

[2] Li, Y., Ding, Y., He, S., Hu, F., Duan, J., Wen, G., Geng, H., Wu, Z., Gooi, H. B., Zhao, Y., Zhang, C., Mei, S., & Zeng, Z. (2024). Artificial intelligence-based methods for renewable power system operation. *Nature Reviews Electrical Engineering*, 1, 163–179. <https://doi.org/10.1038/s44287-024-00018-9>

[3] Kumar, A., Dubey, A. K., Segovia Ramírez, I., Muñoz del Río, A., & others. (2024). Artificial intelligence techniques for the photovoltaic system: A systematic review and analysis for evaluation and benchmarking. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 31, 4429–4453. <https://doi.org/10.1007/s11831-024-10125-3>

[4] Hu, J., Lim, B.-H., Tian, X., Wang, K., Xu, D., Zhang, F., & Zhang, Y. (2024). A comprehensive review of artificial intelligence applications in the photovoltaic systems. *CAAI Artificial Intelligence Research*, 3, 9150031. <https://doi.org/10.26599/AIR.2024.9150031>

[5] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. (2024, 14-oktabr). *Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida* (PQ–358-son qaror).

[6] Wang, S., Yue, Y., Cai, S., Li, X., Chen, C., Zhao, H., & Li, T. (2024). A comprehensive survey of the application of swarm intelligent optimization algorithm in photovoltaic energy storage systems. *Scientific Reports*, 14, Article <https://conferns.com/>

17958. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68964-w>

[7] International Electrotechnical Commission. (2021). *IEC 61724-1:2021: Photovoltaic system performance—Part 1: Monitoring*. International Electrotechnical Commission.