

UO'K: 621.311.243:004.8

AVTONOM FOTOELEKTRIK TIZIMLARDA NOSOZLIKLARNI SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA PROGNOZLASH

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 quyosh fotoelektrik tizimlarida yuzaga keladigan nosozliklarni sun'iy intellekt asosida prognozlash masalasi ko'rib chiqilgan. Fotoelektrik modullar, akkumulyator batareyalari, invertor va elektr ulanishlarida yuzaga keladigan nosozliklarni oldindan aniqlash tizimning ishonchliligi va energiya samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotda fotoelektrik tizimning asosiy ishchi parametrlarini monitoring qilish hamda ular asosida mashinali o'qitish algoritmlaridan foydalangan holda nosozliklarning yuzaga kelish ehtimolini prognozlash yondashuvi taklif etiladi. Taklif etilgan yondashuv nosozliklarni dastlabki bosqichda aniqlash, energiya yo'qotishlarini kamaytirish va avtonom fotoelektrik tizimlarning uzluksiz ishlashini ta'minlashga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: avtonom fotoelektrik tizim, quyosh energiyasi, sun'iy intellekt, mashinali o'qitish, nosozliklarni prognozlash, intellektual diagnostika, monitoring, ishonchlilik, energiya yo'qotishlari.

УДК: 621.311.243:004.8

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В АВТОНОМНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

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 прогнозирования неисправностей, возникающих в автономных солнечных фотоэлектрических системах, на основе технологий искусственного интеллекта. Предварительное выявление неисправностей фотоэлектрических модулей, аккумуляторных батарей, инверторов и электрических соединений имеет важное значение для повышения надежности и энергетической эффективности системы. В

исследовании предлагается подход, основанный на мониторинге основных рабочих параметров фотоэлектрической системы и использовании алгоритмов машинного обучения для прогнозирования вероятности возникновения неисправностей. Предложенный подход позволяет выявлять неисправности на ранней стадии, снижать потери энергии и обеспечивать непрерывную работу автономных фотоэлектрических систем.

Ключевые слова: автономная фотоэлектрическая система, солнечная энергия, искусственный интеллект, машинное обучение, прогнозирование неисправностей, интеллектуальная диагностика, мониторинг, надежность, энергетические потери.

UDC: 621.311.243:004.8

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED FAULT PREDICTION IN AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

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 prediction of faults occurring in autonomous solar photovoltaic systems using artificial intelligence technologies. Early identification of faults in photovoltaic modules, battery storage systems, inverters, and electrical connections is essential for improving system reliability and energy efficiency. The study proposes an approach based on monitoring the main operating parameters of a photovoltaic system and applying machine learning algorithms to predict the probability of fault occurrence. The proposed approach enables early fault detection, reduces energy losses, and supports the continuous and reliable operation of autonomous photovoltaic systems.

Keywords: autonomous photovoltaic system, solar energy, artificial intelligence, machine learning, fault prediction, intelligent diagnostics, monitoring, reliability, energy losses.

KIRISH

Bugungi kunda energiya xavfsizligini ta'minlash, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish hamda energetika tizimlarini raqamlashtirish jahon miqyosidagi ustuvor yo'nalishlardan biri hisoblanadi. O'zbekistonda ham quyosh va boshqa qayta tiklanuvchi energiya manbalarini keng joriy etish, energiya ishlab chiqarishning barqarorligini ta'minlash hamda zamonaviy raqamli texnologiyalarni

iqtisodiyot tarmoqlariga tatbiq etish davlat siyosatining muhim yo'nalishlari sifatida belgilangan [1]. O'zbekiston Respublikasida sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish va ularni iqtisodiyot hamda turli tarmoqlarga keng joriy etish bo'yicha huquqiy va tashkiliy asoslar izchil shakllantirilmoqda. Xususan, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 14-oktabrdagi PQ-358-son qarori bilan **“Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasi”** tasdiqlanib, sun'iy intellekt asosidagi yechimlarni ustuvor sohalarga tatbiq etish vazifalari belgilangan [2]. Ushbu yo'nalish energetika tizimlarida katta hajmdagi monitoring ma'lumotlarini qayta ishlash, texnik holatni baholash, nosozliklarni aniqlash va ularning yuzaga kelishini oldindan prognozlash imkoniyatlarini kengaytiradi. Quyosh fotoelektrik tizimlarining keng joriy etilishi ularning ishonchliligi va uzluksiz ishlashini ta'minlash masalasini dolzarb qilib qo'ymoqda. Fotoelektrik modullar, akkumulyatorlar, invertorlar, elektr ulanishlari hamda boshqaruv elementlarida yuzaga keladigan turli nosozliklar tizim unumdorligining pasayishi va energiya yo'qotishlarining ortishiga sabab bo'lishi mumkin. An'anaviy monitoring va diagnostika usullari ko'pincha nosozlik yuzaga kelgandan keyin uni aniqlashga asoslanadi, holbuki zamonaviy mashinali o'qitish va chuqur o'qitish usullari tizimning ishchi parametrlaridagi o'zgarishlarni tahlil qilish orqali nosozliklarning yuzaga kelish ehtimolini oldindan baholash imkonini beradi [3, 4]. Xalqaro tadqiqotlarda sun'iy intellekt asosidagi monitoring, diagnostika va prognozlash texnologiyalari fotoelektrik tizimlarning ishonchliligi va energiya samaradorligini oshirishning istiqbolli yo'nalishi sifatida e'tirof etilmoqda. Jumladan, neyron tarmoqlar, mashinali o'qitish va chuqur o'qitish algoritmlari fotoelektrik tizimlardagi murakkab va nolinear nosozlik belgilarini aniqlash hamda ularni tasniflash uchun samarali vosita hisoblanadi [4, 5]. Shu bilan birga, so'nggi ilmiy tadqiqotlarda prognozlash va texnik holatni boshqarishning integratsiyalashgan yondashuvlari tizimlarda profilaktik xizmat ko'rsatishni tashkil etish va kutilmagan to'xtashlarning oldini olish imkonini berishi qayd etilgan [6]. Shu munosabat bilan avtonom fotoelektrik tizimlarning kuchlanish, tok, quvvat, quyosh nurlanishi, harorat va energiya saqlash qurilmalarining holati kabi ishchi parametrlarini sun'iy intellekt algoritmlari yordamida tahlil qilish asosida nosozliklarni prognozlash ilmiy va amaliy jihatdan muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur tezisning maqsadi avtonom fotoelektrik tizimlarning monitoring parametrlarini tahlil qilish va sun'iy intellekt usullaridan foydalanish asosida nosozliklarning yuzaga kelishini oldindan prognozlashga qaratilgan yondashuvni asoslashdan iborat.

TADQIQOT METODLARI

Tadqiqotda avtonom fotoelektrik tizimlarda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan nosozliklarni oldindan prognozlash uchun sun'iy intellekt asosidagi ma'lumotlarga

yoʻnaltirilgan yondashuvdan foydalanildi. Ushbu yondashuv fotoelektrik tizimning real vaqt rejimida monitoring qilinadigan asosiy texnik parametrlarini yigʻish, dastlabki qayta ishlash, muhim belgilarni ajratib olish va mashinali oʻqitish algoritmlari yordamida tizimning texnik holatini prognozlash bosqichlarini oʻz ichiga oladi. Avtonom fotoelektrik tizimning texnik holatini baholash uchun fotoelektrik modul kuchlanishi va toki, ishlab chiqarilgan quvvat, quyosh nurlanishi, modul harorati, atrof-muhit harorati, akkumulyatorning kuchlanishi hamda zaryad holati kabi asosiy parametrlar monitoring qilinadi. Mazkur parametrlarning vaqt davomida oʻzgarishini tahlil qilish fotoelektrik tizimdagi meʼyoriy va anomal ish rejimlarini farqlash imkonini beradi [3, 4].

Tadqiqotning dastlabki bosqichida monitoring maʼlumotlari shovqinli va notoʻliq qiymatlardan tozalanadi hamda yagona vaqt oraligʻiga keltiriladi. Keyinchalik parametrlar normallashtirish usuli yordamida quyidagi ifoda asosida standartlashtiriladi:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

bu yerda (X) — kuzatilayotgan parametrning joriy qiymati, (X_{min}) va (X_{max}) esa mos ravishda mazkur parametrning minimal va maksimal qiymatlaridir. (1) formula monitoring maʼlumotlarini normallashtirish uchun qoʻllaniladi. Ushbu usul turli oʻlchov birliklariga ega boʻlgan parametrlarni yagona qiymatlar oraligʻiga keltirib, ularni sunʼiy intellekt modeli uchun tayyorlash imkonini beradi.

Nosozliklarni prognozlashda tizim parametrlarining vaqt qatori xususiyatlarini hisobga olish muhim ahamiyatga ega. Shu sababli tadqiqotda mashinali oʻqitish algoritmlaridan foydalanishga asoslangan konseptual model taklif etiladi. Model kirish maʼlumotlari sifatida fotoelektrik tizimning texnik va meteorologik parametrlarini qabul qiladi hamda ularning oʻzaro bogʻliqligini tahlil qilish asosida tizimning normal yoki nosozlik yuzaga kelish ehtimoli yuqori boʻlgan holatini aniqlaydi.

Nosozlik ehtimolini baholash quyidagi umumiy koʻrinishda ifodalanadi:

$$P_f = f(U, I, P, G, T, SOC, \dots) \quad (2)$$

bu yerda P_f — nosozlik yuzaga kelish ehtimoli; (U) — kuchlanish; (I) — elektr toki; (P) — chiqish quvvati; (G) — quyosh nurlanishi; (T) — harorat; (SOC) — akkumulyatorning zaryadlanganlik darajasi; $f(\cdot)$ — sunʼiy intellekt asosidagi prognozlash funksiyasidir. (2) formula avtonom fotoelektrik tizimning asosiy texnik va tashqi parametrlarini kompleks tahlil qilish orqali nosozlik yuzaga kelish ehtimolini sunʼiy intellekt modeli yordamida baholashni ifodalaydi.

Taklif etilayotgan yondashuvda sun'iy intellekt modeli tizim parametrlarining tarixiy qiymatlari asosida o'qitiladi. O'qitilgan model yangi monitoring ma'lumotlarini qabul qilib, me'yoriy ish rejimidan og'ishlarni aniqlaydi va kelgusida nosozlik yuzaga kelish ehtimolini baholaydi. Bunday yondashuv an'anaviy diagnostika usullaridan farqli ravishda faqat mavjud nosozlikni aniqlash bilan cheklanmasdan, uning rivojlanish ehtimolini oldindan prognozlashga imkon beradi [4–6].

Taklif qilinayotgan metodologiya quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

1-bosqich — ma'lumotlarni yig'ish. Fotoelektrik modul, akkumulyator, invertor va tashqi muhit parametrlaridan monitoring ma'lumotlarini shakllantirish.

2-bosqich — ma'lumotlarni qayta ishlash. Noto'liq, xato va anomal qiymatlarni aniqlash, ma'lumotlarni tozalash va normallashtirish.

3-bosqich — belgilarni tahlil qilish. Tizim parametrlarining o'zaro bog'liqligi va vaqt bo'yicha o'zgarishlarini aniqlash.

4-bosqich — sun'iy intellekt modelini shakllantirish. Tarixiy ma'lumotlar asosida normal va anomal ish holatlarini o'rganish.

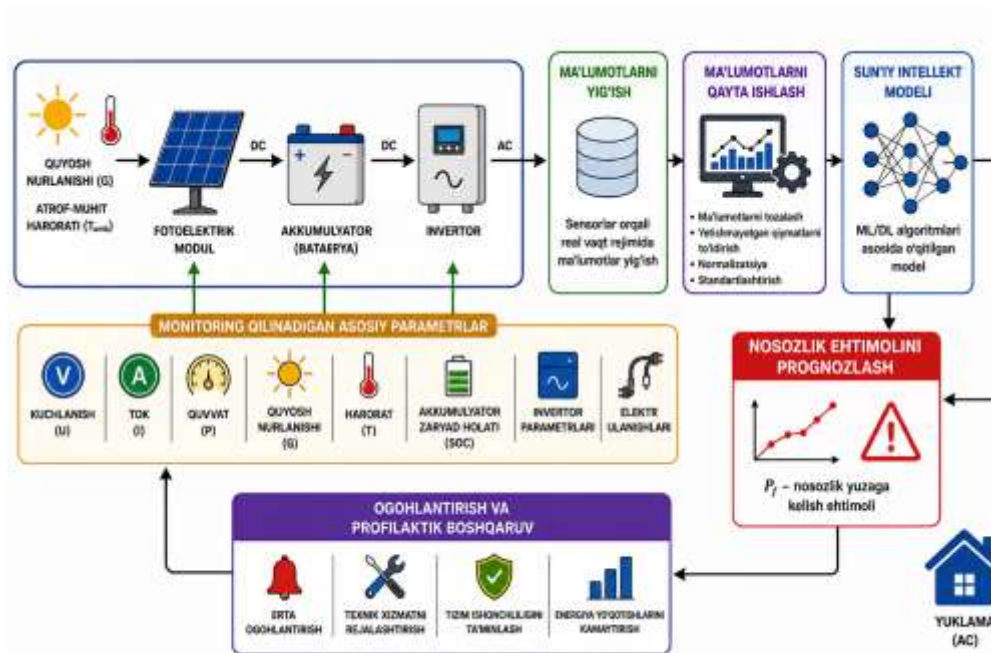
5-bosqich — nosozliklarni prognozlash. Joriy monitoring ma'lumotlari asosida kelajakdagi texnik holat va nosozlik yuzaga kelish ehtimolini baholash.

Taklif etilgan metodik yondashuv avtonom fotoelektrik tizimlarda nosozliklarni erta bosqichda aniqlash uchun monitoring va sun'iy intellekt texnologiyalarini yagona tizimga birlashtirishga asoslanadi. Bu esa texnik xizmat ko'rsatishni rejalashtirish, kutilmagan to'xtashlarning oldini olish hamda energiya yo'qotishlarini kamaytirish uchun muhim ilmiy-amaliy asos yaratadi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tadqiqot natijasida avtonom fotoelektrik tizimlarda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan nosozliklarni oldindan prognozlashga mo'ljallangan sun'iy intellekt asosidagi funksional yondashuv shakllantirildi. Taklif etilgan yondashuv fotoelektrik modul, akkumulyator batareyasi, invertor, elektr ulanishlari hamda tashqi muhitdan olinadigan monitoring ma'lumotlarini yagona axborot oqimiga birlashtirishga asoslanadi. Ushbu parametrlarni muntazam kuzatish fotoelektrik tizimning ish holatini baholash va me'yoriy rejimdan og'ishlarni aniqlash uchun zarur ma'lumotlar bazasini shakllantiradi. Fotoelektrik tizimlarni monitoring qilishda texnik va energetik ko'rsatkichlarni tizimli yig'ish xalqaro monitoring talablarining ham muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi [7].

1-rasm. Avtonom fotoelektrik tizimlarda nosozliklarni sun'iy intellekt asosida prognozlashning funksional modeli.



1-rasmda taklif etilgan yondashuvning funksional tuzilishi keltirilgan. Modelning asosiy afzalligi shundaki, unda nosozlikni aniqlash jarayoni faqat alohida bir qurilma parametriga asoslanmaydi. Bunda fotoelektrik modulning kuchlanishi, toki va quvvati, akkumulyatorning zaryadlanganlik holati, invertorning elektr parametrlari hamda quyosh nurlanishi va harorat kabi tashqi omillar o'zaro bog'liq holda tahlil qilinadi.

1-jadval. Nosozliklarni prognozlash uchun monitoring qilinadigan asosiy parametrlar

No	Tizim elementi	Kuzatiladigan parametr	Nosozlik belgisi	Prognozlashdagi ahamiyati
1	Fotoelektrik modul	Kuchlanish, tok, quvvat, harorat	Quvvatning me'yoriy qiymatdan pasayishi	Modul holatini baholash
2	Akkumulyator	Kuchlanish, SOC, harorat	Zaryad sig'iminin kamayishi	Akkumulyator nosozligini prognozlash
3	Invertor	Kirish/chiqish kuchlanishi, quvvat	Energiya konversiyasi buzilishi	Invertor holatini aniqlash
4	Elektr ulanishlari	Tok, kuchlanish, qarshilik	G'ayritabiiy elektr yo'qotishlari	Ulanish nosozliklarini aniqlash
5	Tashqi muhit	Quyosh nurlanishi, harorat	Ish rejimining keskin o'zgarishi	Tashqi omillarni hisobga olish

1-jadvalda monitoring qilinadigan asosiy parametrlar, ulardagi ehtimoliy o'zgarishlar va prognozlashdagi ahamiyati tizimlashtirilgan. Tahlil shuni ko'rsatadiki, bir xil elektr parametrining o'zgarishi turli sabablar bilan yuzaga kelishi mumkin. Masalan, fotoelektrik modul quvvatining kamayishi modulning degradatsiyasi yoki ifloslanishi bilan birga quyosh nurlanishining kamayishi, haroratning o'zgarishi yoki elektr ulanishlaridagi yo'qotishlar natijasida ham sodir bo'lishi mumkin. Shu sababli nosozlikni ishonchli prognozlash uchun bir nechta parametrlarni kompleks tahlil qilish talab etiladi. Sun'iy intellektga asoslangan yondashuvning muhim xususiyati aynan ko'p o'lchamli ma'lumotlar orasidagi murakkab bog'lanishlarni aniqlash imkoniyatidir. Xalqaro tadqiqotlarda mashinali o'qitish va chuqur o'qitish algoritmlari fotoelektrik tizimlardagi katta hajmdagi monitoring ma'lumotlarini qayta ishlash, anomaliyalarni aniqlash va nosozliklarni tasniflash uchun samarali vosita sifatida baholanmoqda [4, 5]. Xususan, sun'iy intellekt algoritmlari an'anaviy chegaraviy qiymatlarga asoslangan usullarga nisbatan parametrlar o'rtasidagi nolinear bog'lanishlarni aniqlash imkoniyatiga ega.

Taklif etilgan modelda nosozlikni prognozlash jarayoni quyidagi mantiqiy ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

Monitoring→Qayta ishlash→Belgi ajratish→AI modeli→Nosozlik prognozi

Ushbu yondashuvda sun'iy intellekt modeli joriy parametr qiymatini alohida baholash bilan cheklanmaydi, balki parametrlarning vaqt davomida shakllangan o'zgarish tendensiyasini ham hisobga oladi. Bu esa nosozlik sodir bo'lgandan keyingi diagnostikadan farqli ravishda uning yuzaga kelish ehtimolini oldindan baholash imkonini beradi. Fotoelektrik tizimlarning prognostikasi va texnik holatini boshqarishga bag'ishlangan zamonaviy tadqiqotlarda aynan monitoring, diagnostika, degradatsiyani baholash va prognozlashning o'zaro integratsiyasi istiqbolli yo'nalish sifatida qayd etilgan [6]. Muhokama natijasida an'anaviy va taklif etilgan sun'iy intellekt asosidagi yondashuvlar o'rtasida muhim farq mavjudligi aniqlanadi. An'anaviy usullarda, asosan, parametr belgilangan chegaradan chiqib ketgandan keyin nosozlik aniqlanadi. Taklif etilayotgan yondashuvda esa parametrlarning o'zgarish dinamikasi oldindan tahlil qilinib, normal ish holatidan chetlanish tendensiyasi aniqlanadi. Natijada texnik xizmat ko'rsatishni nosozlik yuzaga kelgandan keyin emas, balki xavf belgisi aniqlangan bosqichda rejalashtirish imkoniyati yaratiladi. Taklif etilgan metodning yana bir muhim jihati avtonom fotoelektrik tizimlar uchun akkumulyator holatini alohida hisobga olishidir. Avtonom tizimlarda energiya ishlab chiqarish va iste'mol qilish jarayonlari bevosita energiya saqlash qurilmasining texnik holatiga bog'liq. Shu sababli akkumulyatorning kuchlanishi, zaryadlanganlik darajasi va haroratidagi o'zgarishlarni sun'iy intellekt modeli tarkibiga kiritish tizimning umumiy ishonchliligini aniqroq baholash imkonini beradi. Shuningdek, fotoelektrik tizimlarda tashqi muhit omillarini hisobga olmasdan nosozliklarni prognozlash

modelining aniqligi pasayishi mumkin. Quyosh nurlanishi va harorat fotoelektrik modulning elektr ko'rsatkichlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli taklif etilgan modelda meteorologik parametrlar texnik parametrlar bilan birgalikda tahlil qilinadi. Bu yondashuv tashqi muhitning tabiiy o'zgarishi bilan texnik nosozlik natijasida yuzaga kelgan o'zgarishni farqlash imkoniyatini oshiradi [4, 6]. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, sun'iy intellekt asosidagi fotoelektrik tizimlar diagnostikasida CNN, LSTM, sun'iy neyron tarmoqlari, autoencoder va boshqa mashinali hamda chuqur o'qitish algoritmlaridan foydalanish istiqbolli hisoblanadi [5, 6]. Biroq mavjud tadqiqotlarda modelni tanlash ko'p jihatdan monitoring ma'lumotlarining turi, hajmi va vaqt bo'yicha tuzilishiga bog'liq. Shu sababli mazkur tadqiqotda muayyan bitta algoritmnı universal yechim sifatida belgilash emas, balki real monitoring ma'lumotlarining xususiyatiga mos sun'iy intellekt modelini tanlash metodologik jihatdan maqsadga muvofiq deb hisoblanadi. Umuman, olingan ilmiy natijalar avtonom fotoelektrik tizimlarda **“nosozlik sodir bo'ldi — aniqlash — bartaraf etish”** tamoyilidan **“monitoring — tahlil — prognozlash — erta ogohlantirish — profilaktik boshqaruv”** tamoyiliga o'tish imkoniyatini asoslaydi. Bunday yondashuv kutilmagan to'xtashlarni kamaytirish, texnik xizmat ko'rsatishni oldindan rejalashtirish, energiya yo'qotishlarini kamaytirish va natijada avtonom fotoelektrik tizimlarning ishonchliligini oshirish uchun ilmiy-amaliy asos yaratadi.

XULOSA

Tadqiqot natijasida avtonom fotoelektrik tizimlarda nosozliklarni sun'iy intellekt asosida prognozlashning monitoring ma'lumotlariga yo'naltirilgan funksional yondashuvi asoslandi.

Birinchidan, fotoelektrik modul, akkumulyator batareyasi, inverter, elektr ulanishlari va tashqi muhit parametrlarini kompleks monitoring qilish tizimning texnik holatini to'liqroq baholash va me'yoriy ish rejimidan chetlanishlarni aniqlash imkonini berishi aniqlandi.

Ikkinchidan, kuchlanish, tok, quvvat, harorat, quyosh nurlanishi va akkumulyatorning zaryadlanganlik darajasi kabi ko'p parametrlı ma'lumotlarni sun'iy intellekt asosida birgalikda tahlil qilish turli omillar ta'sirida yuzaga keladigan murakkab va nolinear bog'lanishlarni aniqlash uchun metodologik asos yaratadi.

Uchinchidan, taklif etilgan yondashuv an'anaviy “nosozlikni aniqlash va bartaraf etish” tamoyilidan “monitoring – tahlil – prognozlash – erta ogohlantirish – profilaktik boshqaruv” tamoyiliga o'tish imkonini beradi.

To'rtinchidan, tashqi muhit omillarini texnik parametrlar bilan birgalikda tahlil qilish quyosh nurlanishi va haroratning tabiiy o'zgarishlari natijasida yuzaga keladigan holatlar bilan haqiqiy texnik nosozlik belgilarini farqlash imkoniyatini oshiradi.

Beshinchidan, sun'iy intellekt asosida nosozliklarni oldindan prognozlash texnik xizmat ko'rsatishni maqbullashtirish, kutilmagan to'xtashlarning oldini olish, energiya

yo'qotishlarini kamaytirish va avtonom fotoelektrik tizimlarning ishonchligini oshirish uchun istiqbolli ilmiy-amaliy yo'nalish hisoblanadi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda taklif etilgan yondashuvni real avtonom fotoelektrik tizimlardan olingan uzoq muddatli monitoring ma'lumotlari asosida sinovdan o'tkazish, turli mashinali va chuqur o'qitish algoritmlarining prognozlash samaradorligini qiyosiy baholash hamda eng maqbul modelni aniqlash maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

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

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

[3] Berghout, T., Benbouzid, M., Bentrchia, T., Ma, X., Djurović, S., & Mouss, L.-H. (2021). Machine learning-based condition monitoring for PV systems: State of the art and future prospects. *Energies*, 14(19), 6316. doi:10.3390/en14196316

[4] Islam, M., Rashel, M. R., Ahmed, M. T., Islam, A. K. M. K., & Tlemçani, M. (2023). Artificial intelligence in photovoltaic fault identification and diagnosis: A systematic review. *Energies*, 16(21), 7417. doi:10.3390/en16217417

[5] El-Banby, G. M., Moawad, N. M., Abouzalm, B. A., Abouzaid, W. F., & Ramadan, E. A. (2023). Photovoltaic system fault detection techniques: A review. *Neural Computing and Applications*, 35, 24829–24842. doi:10.1007/s00521-023-09041-7

[6] Chang, Z., & Han, T. (2024). Prognostics and health management of photovoltaic systems based on deep learning: A state-of-the-art review and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 205, 114861. doi:10.1016/j.rser.2024.114861

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