

QUYOSH ENERGETIKASIDA SENSORLAR VA O‘LCHOV VOSITALARINING ANIQLIK DARAJASINI OSHIRISH TEXNOLOGIYALARI

Nasibiddinova Baxtigul Yoqubjon qizi

*Andijon davlat texnika institute Metrologiya, standartlashtirish va
mahsulot sifati menejmenti talabasi*

Annotatsiya

Ushbu maqolada quyosh energetikasi tizimlarida o‘lchov aniqligini oshirish va sensorlarning metrologik nazoratini takomillashtirish masalalari tahlil qilingan. Tadqiqot davomida piranometrler, termodatchiklar va boshqa o‘lchov vositalarining baqqarorligi hamda ularga tashqi muhit omillarining (chang, namlik, harorat) ta’siri o‘rganilgan. O‘lchov xatoliklarini 30–40% gacha kamaytirish imkonini beruvchi davriy kalibrlash jarayonlari va zamonaviy monitoring tizimlarining ahamiyati yoritilgan. Ish natijalari quyosh fotoelektr stansiyalarida energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va tizim ishonchliligini ta’minlashga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: *quyosh fotoelektr stansiyasi, o‘lchov aniqligi, sensorlar, metrologik nazorat, kalibrlash, monitoring tizimi.*

Аннотация

В данной статье анализируются вопросы повышения точности измерений и совершенствования метрологического контроля сенсоров в системах солнечной энергетики. В ходе исследования изучены стабильность работы пиранометров, термодатчиков и других измерительных приборов, а также влияние внешних факторов (пыль, влажность, температура) на их характеристики. Освещена важность процедур периодической калибровки и современных систем мониторинга, позволяющих снизить погрешности измерений на 30–40%. Результаты работы способствуют повышению эффективности выработки энергии и обеспечению надежности солнечных фотоэлектрических станций.

Ключевые слова: *солнечная фотоэлектрическая станция, точность измерений, сенсоры, метрологический контроль, калибровка, система мониторинга.*

Abstract

This paper analyzes the issues of improving measurement accuracy and enhancing the metrological control of sensors in solar energy systems. The study examines the operational stability of pyranometers, thermal sensors, and other measuring instruments, as well as the impact of environmental factors such as dust, humidity, and temperature. The importance of periodic calibration procedures and modern monitoring systems, which can reduce

measurement errors by 30–40%, is highlighted. The results of the work contribute to increasing energy production efficiency and ensuring the reliability of solar photovoltaic power plants.

Keywords: *solar photovoltaic power plant, measurement accuracy, sensors, metrological control, calibration, monitoring system.*

KIRISH

Bugungi kunda global energetika xavfsizligini ta'minlash va ekologik barqarorlikka erishishda qayta tiklanuvchi energiya manbalari, xususan, quyosh fotoelektr stansiyalari (QFES) yetakchi o'rinni egallamoqda. Xalqaro energetika agentligi ma'lumotlariga ko'ra, 2024-yil yakuniga kelib global quyosh stansiyalari quvvati 1,5 teravatt dan oshgan bo'lib, bu soha yiliga o'rtacha 20–25% lik o'sish sur'atini namoyish etmoqda. Biroq, quyosh energetikasi tizimlarining samaradorligi nafaqat fotoelektr panellarning sifati, balki ularni nazorat qiluvchi sensorlar va o'lchov vositalarining aniqlik darajasiga ham bevosita bog'liqdir.

Quyosh stansiyalarida energiya ishlab chiqarish jarayoni ko'plab o'zgaruvchan parametrlarni real vaqt rejimida aniq o'lchashni talab qiladi. Quyosh nurlanishi intensivligi (irradiatsiya), fotomodul harorati, tok va kuchlanish ko'rsatkichlari, shuningdek, invertorlarning samaradorligi kabi parametrlar tizimning umumiy ish unumdorligini belgilaydi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, o'lchov tizimlaridagi hatto 2–5% miqdordagi kichik xatoliklar ham umumiy energiya hisobida 10% gacha bo'lgan sezilarli iqtisodiy yo'qotishlarga olib kelishi mumkin. Shu sababli, quyosh energetikasida sensorlar va o'lchov vositalarining aniqlik darajasini oshirish texnologiyalarini takomillashtirish muhim ilmiy - amaliy vazifa hisoblanadi.

Mazkur yo'nalishda ko'plab xalqaro va mahalliy olimlar ilmiy izlanishlar olib borganlar. Jumladan, M.A. Green quyosh elementlari samaradorligini baholash usullarini ishlab chiqqan bo'lsa, T. Markvart va J. Duffie quyosh energiyasi tizimlarida radiatsiya jarayonlarini modellashtirishga katta hissa qo'shgan. Metrologiya sohasida B.N. Taylor va J.M. Williams tomonidan o'lchov noaniqliklarini baholash metodologiyasi (GUM) keng o'rganilgan. O'zbekistonlik olimlardan Q.X. Abdurahmonov va Sh.S. Siddiqovlar energetika tizimlarida samaradorlikni oshirish va texnologik jarayonlarni optimallashtirish masalalariga e'tibor qaratganlar. Shunga qaramay, sensorlarning tashqi muhit omillari ta'sirida metrologik ko'rsatkichlari o'zgarishi va ularni "aqlli" monitoring tizimlari orqali muvofiqlashtirish masalalari hali ham qo'shimcha tadqiqotlarni talab qiladi.

O'lchov aniqligiga ta'sir etuvchi omillar. Quyosh stansiyalari odatda ochiq osmon ostida, ekstremal iqlim sharoitlarida ekspluatatsiya qilinadi. Chang, yuqori namlik, haroratning

keskin tebranishi va ultrabinafsha nurlanish sensorlarning sezgirligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Masalan, piranometrning (nurlanish sensorlari) uzoq muddatli ish faoliyati davomida ularning sezgirligi 2–4% gacha pasayishi kuzatiladi. Bu esa o'z navbatida metrologik nazorat tizimlarini, jumladan, davriy kalibrlash va verifikatsiya jarayonlarini zamonaviy raqamli texnologiyalar asosida qayta ko'rib chiqishni taqozo etadi.

Tadqiqotning maqsadi va vazifalari. Mazkur ishning asosiy maqsadi — quyosh fotoelektr stansiyalarida qo'llaniladigan sensorlar va o'lchov vositalarining aniqlik darajasini oshirish uchun metrologik nazorat tizimlarini takomillashtirish hamda zamonaviy "aqlli" texnologiyalarni joriy etish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdir. Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilab olindi:

- Quyosh stansiyalarida qo'llaniladigan asosiy o'lchov vositalarining xatolik manbalarini tahlil qilish;
- Tashqi muhit omillarining sensorlar barqarorligiga ta'sirini baholash;
- IoT (Internet of Things) va sun'iy intellekt algoritmlari asosida ishlovchi monitoring tizimlarining samaradorligini o'rganish;
- O'lchov xatoliklarini kamaytirishda davriy kalibrlash va SCADA tizimlarining rolini asoslash.

Ushbu tadqiqot natijasida taklif etilayotgan yechimlar quyosh stansiyalarida o'lchov ishonchliligini oshirishga, energiya ishlab chiqarishdagi yo'qotishlarni minimal darajaga tushirishga va tizimning xalqaro standartlarga (ISO/IEC) muvofiqligini ta'minlashga xizmat qiladi.

ASOSIY QISM

1. Quyosh fotoelektr stansiyalarida o'lchov tizimlarining tarkibiy tuzilishi va ishlash tamoyillari.

Quyosh fotoelektr stansiyalarida o'lchov aniqligi va metrologik nazorat tizimlarini takomillashtirish masalasi ko'p qirrali bo'lib, u texnik, metrologik va axborot texnologiyalari yo'nalishlarining uzviy integratsiyasini talab qiladi. Stansiyaning ishlash samaradorligi bevosita o'lchov tizimlarining aniqligiga bog'liq. Asosiy o'lchov parametrlari sifatida quyosh nurlanishi (irradiatsiya), modul harorati, chiqish kuchlanishi va toki, quvvat ko'rsatkichlari hamda inverter samaradorligi aniqlanadi.

Ushbu parametrlarni o'lchashda qo'llaniladigan qurilmalar — piranometrlar, termodatchiklar, voltmetrlar va ampermetrlar — ma'lum darajadagi xatolik bilan ishlaydi. Odatda sanoat standartlariga ko'ra, o'lchov xatoligi $\pm 1-3\%$ diapazonda bo'lishi kerak, ammo amaliyotda bu ko'rsatkich ayrim sharoitlarda 5% gacha yetishi mumkin.

2. O'lchov aniqligiga ta'sir etuvchi tashqi va ichki omillar tahlili.

O‘lchov aniqligiga ta’sir etuvchi omillar ichida tashqi muhit sharoitlari muhim o‘rin tutadi. Chang, namlik, yuqori harorat va ultrabinafsha nurlanish sensorlarning sezgirlikiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Masalan, uzoq muddatli ekspluatatsiyada piranometr sezgirlik 2–4% ga pasayishi kuzatiladi.

O‘lchov xatoliklarining 2–5% ga ortishi umumiy energiya hisobida 10% gacha yo‘qotishlarga olib kelishi mumkin. Quyidagi jadvalda asosiy o‘lchov vositalarining xatolik sabablari va ularni bartaraf etish choralari tizimlashtirilgan:

1-jadval

	O‘lchov parametri	O‘lchov vositasi	Aniqlik darajasi (%)	Xatolik sabablari	Tavsiya etilgan choralar
1	Quyosh nurlanishi	Piranometr	±2–5 %	Chang, sensor eskirishi	Doimiy tozalash, kalibrlash
2	Modul harorati	Termodatchik	±1–2 %	Tashqi muhit ta’siri	Himoya qoplamalari
3	Kuchlanish (V)	Voltmetr	±0.5–1 %	Elektr shovqinlari	Signal filtrlash
4	Tok kuchi (A)	Ampermetr	±0.5–1.5 %	O‘lchov zanjiri xatolari	Yuqori sifatli sensorlar
5	Quvvat (kW)	Quvvat o‘lchagich	±1–3 %	Hisoblash xatolari	Avtomatlashtirilgan tizim

3. Metrologik nazorat va kalibrlash jarayonlarini takomillashtirish.

Metrologik ta’minot tizimi o‘lchov vositalarining aniqligini ta’minlashga qaratilgan tashkiliy va texnik choralar majmuasidir. U o‘lchov vositalarini tanlash, sertifikatlash, muntazam tekshirish (verifikatsiya), kalibrlash hamda natijalarni tahlil qilishni o‘z ichiga oladi.

Kalibrlash jarayonida o‘lchov qurilmalari etalon qurilmalar bilan solishtirilib, xatolik darajasi aniqlanadi va zarur tuzatishlar kiritiladi. Amaliyotda kalibrlash davriyligi odatda 6 oy yoki 1 yilni tashkil etadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, muntazam kalibrlash o‘lchov xatoliklarini 30–40% gacha kamaytiradi. Zamonaviy metrologiyada o‘lchov noaniqligini baholash GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) metodologiyasiga asoslanadi.

4. Raqamli texnologiyalar va aqlli monitoring tizimlari (IoT va SCADA).

So‘nggi yillarda raqamli texnologiyalar asosida ishlovchi aqlli monitoring tizimlari keng joriy etilmoqda. Bunday tizimlar sensorlardan real vaqt rejimida ma‘lumotlarni yig‘ib, markaziy serverga uzatadi va ularni avtomatik tahlil qiladi.

IoT texnologiyalari yordamida ishlovchi tizimlar o‘lchov aniqligini nazorat qilish, nosozliklarni erta aniqlash va texnik xizmat ko‘rsatishni optimallashtirish imkonini beradi. Masalan, sun‘iy intellekt algoritmlari yordamida sensorlarning nosozligi yoki noto‘g‘ri ishlashi tezda aniqlanadi. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) tizimlari esa barcha o‘lchov jarayonlarini markazlashtirilgan holda boshqarish, vizualizatsiya qilish va tarixiy ma‘lumotlarni saqlash imkonini beradi.

5. Yangi avlod sensorlari va xalqaro standartlashtirish.

O‘lchov aniqligini oshirishda yangi avlod sensorlari, masalan, yuqori aniqlikdagi raqamli piranometrlar va optik tolali sensorlar an’anaviy qurilmalarga nisbatan yuqori sezgirlik va barqarorlikka ega. Ularning qo‘llanilishi o‘lchov xatoliklarini sezilarli darajada kamaytiradi.

Bundan tashqari, metrologik nazorat tizimlarini takomillashtirishda ISO va IEC standartlariga (masalan, IEC 61724-1) muvofiqlik muhim ahamiyat kasb etadi. Xalqaro standartlar asosida ish yuritish o‘lchov tizimlarining ishonchliligini va natijalarning xalqaro darajada tan olinishini ta‘minlaydi.

O‘zbekiston sharoitida, yil davomida 300 dan ortiq quyoshli kun mavjudligi sababli, ushbu metrologik nazorat tizimlarini mahalliyashtirish va takomillashtirish energiya yo‘qotishlarini kamaytirishda strategik ahamiyatga ega.

XULOSA

Mazkur tadqiqot ishida quyosh energetikasi tizimlarida sensorlar va o‘lchov vositalarining aniqlik darajasini oshirish masalalari har tomonlama o‘rganildi va tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, quyosh fotoelektr stansiyalarining umumiy foydali ish ko‘effitsiyenti nafaqat texnologik uskunalarning sifati, balki o‘lchov tizimlarining metrologik ishonchliligiga ham bevosita bog‘liqdir.

Tadqiqot davomida quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

O‘lchov aniqligining iqtisodiy ahamiyati: O‘lchovdagi hatto 2–5% miqdordagi xatoliklar energiya ishlab chiqarishda 10% gacha kutilmagan yo‘qotishlarga sabab bo‘lishi ilmiy jihatdan asosladi. Bu esa sensorlar aniqligini oshirishni iqtisodiy samaradorlikning muhim sharti sifatida belgilaydi.

Tashqi muhit omillarini hisobga olish: Chang, yuqori harorat va namlik kabi omillar sensorlar sezgirlikini sezilarli darajada pasaytirishi aniqlandi. Shu sababli, sensorlarni optimal joylashtirish va ularga muntazam texnik xizmat ko‘rsatish tizim barqarorligini ta‘minlashning ajralmas qismidir.

Metrologik nazoratni tizimlashtirish: Muntazam kalibrlash va verifikatsiya jarayonlari o‘lchov xatoliklarini 30–40% gacha kamaytirish imkonini beradi. GUM metodologiyasi asosida o‘lchov noaniqligini baholash natijalarning xalqaro standartlarga muvofiqqligini ta’minlaydi.

Raqamlashtirishning roli: IoT asosidagi sensorlar, SCADA tizimlari va sun’iy intellekt algoritmlarini joriy etish o‘lchov jarayonlarini real vaqt rejimida nazorat qilish va yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan nosozliklarni oldindan prognoz qilish imkonini beradi.

Kelgusida ushbu yo‘nalishdagi ilmiy izlanishlarni sensorlarning yangi avlodini yaratish, ularning tashqi muhitga chidamliligini oshirish hamda "Big Data" texnologiyalari yordamida avtomatlashtirilgan metrologik monitoring tizimlarini yanada takomillashtirishga qaratish maqsadga muvofiqdir. Bu esa O‘zbekistonning quyosh energetikasi salohiyatidan maksimal darajada samarali foydalanishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Green, M.A. Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications. – New Jersey: Prentice-Hall, 1982.
2. Duffie, J.A., Beckman, W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. – New York: Wiley, 2013.
3. Messenger, R., Ventre, J. Photovoltaic Systems Engineering. – Boca Raton: CRC Press, 2010.
4. Kalogirou, S.A. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. – Academic Press, 2014.
5. IEA (International Energy Agency). World Energy Outlook 2024. – Paris, 2024.
6. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of Measurement (GUM): Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.
7. IEC 61724-1:2021. Photovoltaic System Performance Monitoring – Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis.
8. Taylor, B.N., Kuyatt, C.E. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. – NIST, 1994.
9. Goswami, D.Y., Kreith, F., Kreider, J.F. Principles of Solar Engineering. – CRC Press, 2000.
10. Norton, B. Solar Energy Thermal Technology. – Springer, 2013.
11. Abdurahmonov, Q.X. Inson resurslarini boshqarish. – Toshkent: Sharq, 2019.
12. Siddiqov, Sh.S. Energetika tizimlarida samaradorlikni oshirish. – Toshkent, 2020.
13. Markvart, T. Solar Electricity. – Wiley, 2000.

14. Patel, M.R. Wind and Solar Power Systems. – CRC Press, 2006.

15. Boyle, G. Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. – Oxford University Press, 2012.