TABIIY ATROF-MUHIT OMILLARINING QUYOSH PANELLARI SAMARADORLIGIGA TA'SIRI VA UNI OSHIRISH ISTIQBOLLARI

L. K. Jamolova
Buxoro davlat universiteti “Geliofizika, qayta tiklanuvchi energiya manbalari va elektronika” kafedrasi magistranti. O’zbekiston Buxoro.
Sharifov H.Sh.
Buxoro davlat texnika universiteti “Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish” kafedrasi assistenti. O’zbekiston Buxoro.
husensharipov1993@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.24034297

Annotatsiya. Maqolada quyosh nurlanishi, modul harorati, changlanish, namlik va shamol kabi tabiiy omillarning kristall kremniyli fotoelektr panellar samaradorligiga ta'siri adabiyotlar asosida tahlil qilinadi va panel elektr ko'rsatkichlarini o'lchash bo'yicha tajriba natijalari keltiriladi. Tajribada nurlanish R = 400 Vt/m² bo'lganda panel harorati, tok, kuchlanish va quvvat 5 daqiqa oralig'ida 8 marta qayd etildi. Kuchlanish 6,26 V da o'zgarmas qoldi, o'rtacha quvvat 5,76 Vt (standart og'ish 0,13 Vt) ni tashkil etdi. Harorat atigi 1,3 °C oralig'ida (60,04–61,36 °C) o'zgargani sababli, harorat va quvvat orasidagi bog'liqlik statistik jihatdan ishonarli emas (r = 0,31; n = 8). Maqolada samaradorlikni oshirish istiqbollari sifatida sovitish, gidrofob qoplamalar, rejali tozalash va tasvirga asoslangan monitoring yo'nalishlari muhokama qilinadi.
Kalit so'zlar: quyosh paneli, fotoelektr samaradorligi, harorat koeffitsiyenti, changlanish, modul harorati, tajribaviy o'lchash, qayta tiklanuvchi energiya.

Abstract. The article reviews how natural environmental factors (solar irradiance, module temperature, dust soiling, humidity and wind) affect crystalline-silicon photovoltaic panels and reports experimental electrical measurements. At an irradiance of 400 W/m², panel temperature, current, voltage and power were recorded eight times at 5-minute intervals. The voltage stayed constant at 6.26 V, and mean power was 5.76 W (SD 0.13 W). Because temperature varied by only 1.3 °C (60.04–61.36 °C), the temperature–power correlation is not statistically meaningful (r = 0.31; n = 8). Cooling, hydrophobic coatings, scheduled cleaning and image-based monitoring are discussed as ways to raise efficiency.
Keywords: solar panel, photovoltaic efficiency, temperature coefficient, soiling, module temperature, experimental measurement, renewable energy.

Аннотация. В статье рассматривается влияние природных факторов (интенсивности солнечного излучения, температуры модуля, запыленности, влажности и ветра) на кремниевые фотоэлектрические панели и приводятся результаты

экспериментальных измерений электрических параметров. При облученности 400 Вт/м² температура панели, ток, напряжение и мощность регистрировались восемь раз с интервалом 5 минут. Напряжение оставалось постоянным (6,26 В), средняя мощность составила 5,76 Вт (СКО 0,13 Вт). Поскольку температура изменилась лишь на 1,3 °C (60,04–61,36 °C), корреляция температуры и мощности статистически незначима (r = 0,31; n = 8). Обсуждаются охлаждение, гидрофобные покрытия, плановая очистка и мониторинг по изображениям как пути повышения эффективности.

Ключевые слова: солнечная панель, фотоэлектрическая ффективность, температурный коэффициент, запыленность, температура модуля, экспериментальные измерения, возобновляемая энергетика.

1. Kirish

Quyosh fotoelektr (PV) tizimlarining real sharoitdagi samaradorligi nominal ko'rsatkichlardan sezilarli farq qilishi mumkin, shu sababli ularning ishonchli ishlashini ta'minlash qayta tiklanuvchi energetikaning dolzarb vazifasidir [8, 9]. Panelning pasportdagi quvvati standart sinov sharoitida (STC: nurlanish 1000 Vt/m², modul harorati 25 °C) aniqlanadi. Ekspluatatsiyada esa nurlanish, harorat, changlanish, namlik va shamol kabi tabiiy omillar ishchi quvvatni o'zgartiradi [1, 2]. Harorat ta'siri eng ko'p o'rganilgan omillardan biri: kristall kremniyli modullarda harorat ko'tarilishi bilan kuchlanish va quvvat kamayadi, quvvatning harorat koeffitsiyenti odatda taxminan -0,4…-0,5 %/°C oralig'ida bo'ladi [3]. Chang va boshqa zarrachalarning sirtda to'planishi panel shishasiga yetib boradigan yorug'likni kamaytiradi; ta'sir darajasi iqlim, zarrachalar tarkibi, yog'ingarchilik va tozalash oralig'iga bog'liq [4, 6]. Shamol modulni sovitib, haroratdan kelib chiqadigan yo'qotishni qisman kamaytiradi, yuqori namlik esa uzoq muddatda modul materiallarining eskirishini tezlashtirishi mumkin [1, 2]. Ko'rib chiqilgan manbalarda bu omillar asosan alohida o'rganiladi; ularni bir vaqtda o'lchangan elektr ko'rsatkichlari bilan bog'lash va natijalarni o'lchash noaniqligi nuqtai nazaridan baholash esa kamroq yoritilgan. Shu bilan birga, panel sirti holatini tasvir asosida kuzatish usullari (jumladan, konvolyutsion neyron tarmoqlar) rivojlanmoqda, biroq tasvirdan olingan baho elektr samaradorligining to'g'ridan-to'g'ri o'lchovi emas [7].

Tadqiqot maqsadi — tabiiy atrof-muhit omillarining quyosh paneli samaradorligiga ta'sirini tahlil qilish, panel haroratini, tokini, kuchlanishini va quvvatini o'lchash natijalarini statistik baholash hamda samaradorlikni oshirish istiqbollarini asoslash.

Vazifalar: 1) omillar ta'sirini adabiyotlar asosida umumlashtirish; 2) R = 400 Vt/m² da T, I, U va P qiymatlarini o'lchash; 3) o'lchovlarni statistik qayta ishlash va harorat bilan bog'liqligini tekshirish; 4) natijalar asosida samaradorlikni oshirish yo'nalishlarini belgilash.

2. Materiallar va metodlar

Tajriba qurilmasi

O'lchashlar kristall kremniyli quyosh paneli ustida o'tkazildi.. Tok MAX471 sensori, ma'lumotlar yig'ish esa Arduino UNO mikrokontrolleri yordamida amalga oshirildi; kuchlanish alohida o'lchash kanali orqali qayd etildi [7]. Panel harorati T (°C) har bir o'lchash paytida yozib borildi. Sensor chiqishi mikrokontroller kirishiga mosligi va kalibrlash koeffitsiyenti modulning texnik hujjati bo'yicha tekshirilishi lozim.

O'lchash tartibi: O'lchashlar 2026-yil 9-aprelda 16:34 dan 17:09 gacha, 5 daqiqa oralig'ida, jami 8 marta bajarildi. Tajriba daftarida nurlanish R = 400 Vt/m² deb qayd etilgan. Har bir o'lchashda T, I va U qiymatlari yozildi, quvvat esa hisoblab topildi. Panel holati: [toza / changlangan — aniqlashtiring].

Hisoblash

Elektr quvvati o'lchangan tok va kuchlanishdan aniqlandi:

$$P = U \times I 1.1$$

Panelning foydali ish koeffitsiyenti nurlanish R va panel maydoni A ma'lum bo'lganda quyidagicha baholanadi:

$$\eta = \frac{P}{R \times A} 1.2$$

Harorat ta'sirining kutilgan miqdori quvvatning harorat koeffitsiyenti β (taxminan -0,4…-0,5 %/°C [3]) orqali baholandi:

$$\frac{\Delta P}{P} \approx \beta \Delta T 1.3$$

Har bir kattalik uchun o'rtacha qiymat, tanlanma standart og'ishi (n - 1 bo'yicha) va variatsiya koeffitsiyenti hisoblandi. Harorat va quvvat orasidagi bog'liqlik Pirson korrelyatsiya koeffitsiyenti r hamda chiziqli regressiya qiyaligi bilan baholandi. Hisoblashlar Python (NumPy) da bajarildi.

Natijalar: Nurlanish R = 400 Vt/m² bo'lganda sakkizta o'lchashda o'rtacha quvvat 5,76 Vt bo'lib, u 5,57 dan 5,94 Vt gacha o'zgardi (1-jadval).

1-jadval. Panelning elektr ko'rsatkichlari (09.04.2026, R = 400 Vt/m²)

№	Vaqt	T, °C	U, V	I, A	P, Vt
1	16:34	61,20	6,26	0,92*	5,76
2	16:39	60,65	6,26	0,90*	5,63
3	16:44	60,04	6,26	0,93	5,82
4	16:49	60,04	6,26	0,91	5,69
5	16:54	61,36	6,26	0,95	5,94
6	16:59	61,05	6,26	0,89	5,57
7	17:04	61,14	6,26	0,93	5,82
8	17:09	61,17	6,26	0,94	5,88

Tok P/U nisbatidan hisoblangan; qolgan qiymatlar daftardan olingan. Barcha satrlarda P = U·I ifodasi 0,01 Vt aniqlikda bajariladi.

Statistik ko'rsatkichlar (n = 8):

1. Quvvat: o'rtacha 5,76 Vt, standart og'ish 0,13 Vt (variatsiya koeffitsiyenti 2,2 %); eng katta va eng kichik qiymat farqi o'rtachaning 6,4 % ini tashkil etdi.

2. Tok: o'rtacha 0,92 A, standart og'ish 0,02 A.

3. Kuchlanish: barcha o'lchashlarda 6,26 V, ya'ni o'zgarmas.

4. Harorat: o'rtacha 60,8 °C, standart og'ish 0,5 °C, oralig'i 60,04–61,36 °C (ΔT = 1,32 °C).

5. Harorat va quvvat orasida r = 0,31 (r^2 = 0,10), regressiya qiyaligi +0,07 Vt/°C; n = 8 da bu bog'liqlik ishonarli emas.

Harorat 1,32 °C ga o'zgargan bo'lsa, β ≈ -0,4…-0,5 %/°C da quvvat taxminan 0,5–0,6 % (0,03–0,04 Vt) ga o'zgarishi kutilardi. Kuzatilgan tebranish esa o'rtachaning 6,4 % ini tashkil

etdi, ya'ni kutilgan harorat ta'siridan taxminan o'n baravar katta. Shuning uchun quvvat o'zgarishini harorat bilan izohlab bo'lmaydi; r = 0,31 ning musbat ishorasi ham tasodifiy tebranish bilan mos keladi. Tebranishning mumkin bo'lgan sabablari: kech soatlarda (16:34–17:09) nurlanishning o'zgarishi, o'lchash kanalining aniqligi va kvantlash qadami hamda ishchi nuqtaning yuklama tomonidan belgilanishi. Kuchlanish barcha o'lchashlarda 6,26 V bo'lganligi panel yuklama yoki zaryadlash kontrolleri belgilagan o'zgarmas kuchlanishda ishlaganini ko'rsatadi; bunda quvvat o'zgarishi faqat tok hisobiga yuz beradi va panelning maksimal quvvat nuqtasi kuzatilmaydi [7].

Natijalar sakkizta o'lchash, 35 daqiqalik davr va bitta panelga asoslangan. Harorat oralig'i juda tor bo'lgani uchun harorat koeffitsiyentini bu ma'lumotlardan baholash mumkin emas. Nurlanish doimiy o'lchanmagan, toza va changlangan panellar bir vaqtda solishtirilmagan, shamol tezligi va namlik qayd etilmagan. Shu sababli maqola o'lchash usulini va dastlabki ma'lumotlarni taqdim etadi, omillarning miqdoriy ta'sirini aniqlamaydi.

Adabiyotlar va o'lchash tajribasi quyidagi yo'nalishlarni ko'rsatadi:

1. **Haroratni boshqarish.** Modul orqasini shamollatish, radiatorlar, suv bilan sovitish va fotoelektr-termal (PVT) tizimlar issiqlik yo'qotishini kamaytirish uchun o'rganilmoqda [2, 3].
2. **Changlanishga qarshi choralar.** O'z-o'zini tozalovchi gidrofob va antistatik qoplamalar sirtga chang yopishishini kamaytiradi [5]; tozalash oralig'i hududning chang rejimiga qarab tanlanadi [4, 6].
3. **Monitoring.** Tok, kuchlanish va haroratni vaqt belgisi bilan yozish hamda panel tasvirini CNN yordamida tasniflash tozalash vaqtini asoslashga yordam beradi; biroq tasvirdan olingan baho elektr o'lchovlari bilan birga talqin qilinishi kerak [7].
4. **O'lchash sifati.** Keyingi tajribalarda nurlanish, shamol tezligi va namlikni bir vaqtda qayd etish, harorat oralig'ini kengaytirish va toza/changlangan panelni bir xil sharoitda solishtirish tavsiya etiladi.

Xulosa. Panel samaradorligiga nurlanish, harorat, changlanish, namlik va shamol birgalikda ta'sir qiladi; harorat koeffitsiyenti kristall kremniyli modullar uchun taxminan -0,4…-0,5 %/°C ni tashkil etadi [3]. R = 400 Vt/m² da o'rtacha quvvat 5,76 Vt (SD 0,13 Vt), kuchlanish 6,26 V, o'rtacha tok 0,92 A bo'ldi. Harorat 60,04–61,36 °C oralig'ida o'zgargani uchun uning quvvatga ta'siri aniqlanmadi (r = 0,31; n = 8); kutilgan ta'sir (0,5–0,6 %) kuzatilgan tebranishdan (6,4 %) ancha kichik. Samaradorlikni oshirish uchun haroratni boshqarish, changlanishga qarshi choralar va elektr hamda tasvir ma'lumotlariga asoslangan monitoringni birga qo'llash maqsadga muvofiq; buning uchun nurlanish va shamol tezligini ham o'lchaydigan kengaytirilgan tajribalar kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Mustafa R. J., Gomaa M. R., Al-Dhaifallah M., Rezk H. Environmental impacts on the performance of solar photovoltaic systems // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, No. 2. – Art. 608. https://doi.org/10.3390/su12020608
2. Fouad M. M., Shihata L. A., Morgan E. I. An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 80. – P. 1499–1511.

3. Skoplaki E., Palyvos J. A. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations // Solar Energy. – 2009. – Vol. 83, No. 5. – P. 614–624.
4. Ilse K., Figgis B. W., Naumann V., Hagendorf C., Bagdahn J. Fundamentals of soiling processes on photovoltaic modules // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 98. – P. 239–254.
5. Pan A., Lu H., Zhang L.-Z. Experimental investigation of dust deposition reduction on solar cell covering glass by different self-cleaning coatings // Energy. – 2019. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.223
6. Yakubu S., Samikannu R., Gawusu S., et al. A holistic review of the effects of dust buildup on solar photovoltaic panel efficiency // Solar Compass. – 2025. – Vol. 13. – Art. 100101.
7. Sharifov H. Sh., Jamolova L. K. Quyosh panellari samaradorligiga ta'sir etuvchi omillarni CNN (konvolyutsion neyron tarmoq) orqali baholash (qo'lyozma).
8. O'zbekiston Respublikasi Qonunchilik ma'lumotlari milliy bazasi. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to'g'risida (2023). https://lex.uz/uz/docs/-6385716
9. Ember. Global Electricity Review 2025. – Ember Climate, 2025.