BG Pulse Journal USA
ISSN:1947-2536 http://www.bgpulseusa.com/index.php/bg
BG PULSE JOURNAL

# QUYOSH FOTOELEKTRIK STANSIYALARINING ENERGIYA MONITORINGI TIZIMLARI VA IQTISODIY NAZORATINI TAHLIL QILISH

**Shahzod Safarov Shavkat o‘g‘li**
Energetika vazirligi huzuridagi Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti bosh mutaxassisi
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.21504771

**Annotatsiya**: Mazkur maqolada quyosh fotoelektrik stansiyalarida energiya monitoringi tizimlarining texnik va iqtisodiy samaradorligi tahlil qilingan. Monitoring tizimlari yordamida elektr energiyasi ishlab chiqarish, uskunalar holatini masofadan nazorat qilish, nosozliklarni erta aniqlash hamda elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, SCADA tizimi, IoT texnologiyalari va sun'iy intellekt asosidagi monitoring usullarining iqtisodiy afzalliklari baholangan. Hisob-kitob natijalariga ko'ra, zamonaviy monitoring tizimlarini joriy etish elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligini 5–12 % ga oshirish hamda ekspluatatsiya xarajatlarini 10–18 % gacha kamaytirishi mumkin.

**Kalit so‘zlar**: quyosh fotoelektrik stansiyasi, SCADA, monitoring, IoT, energiya samaradorligi, iqtisodiy tahlil, sun'iy intellekt.

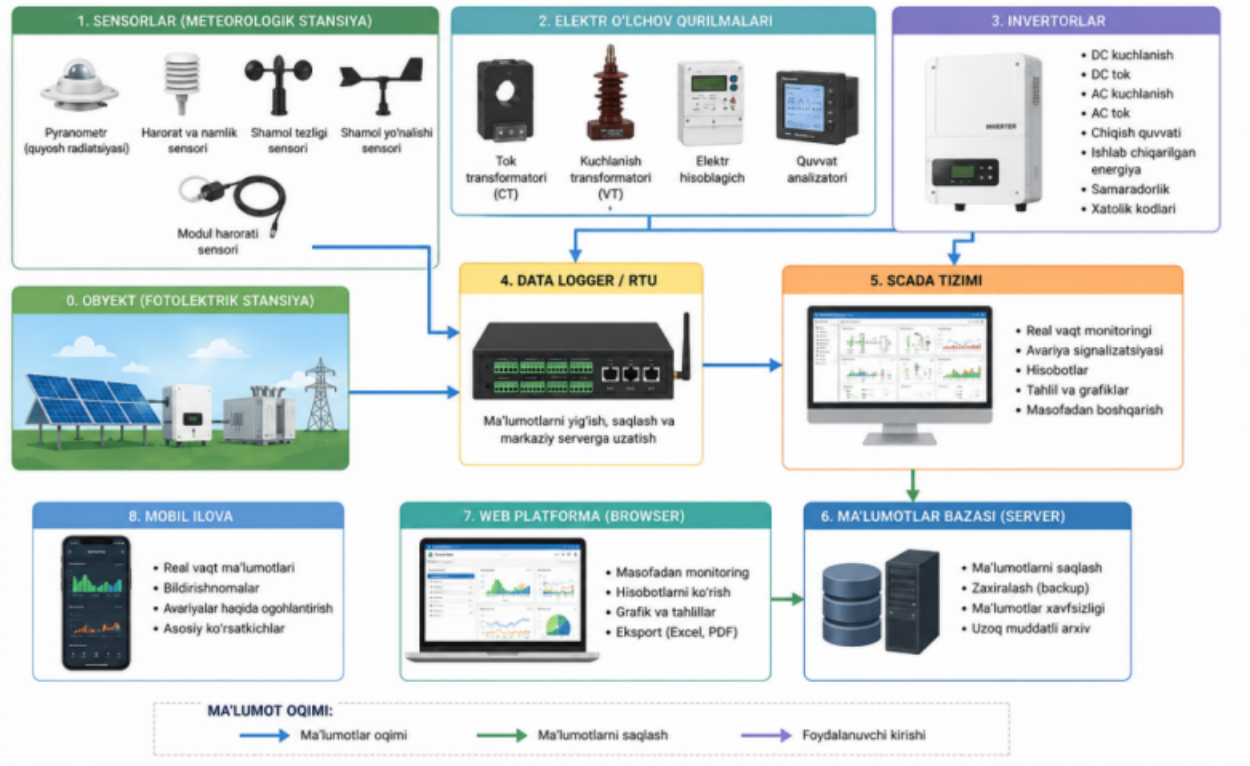
## Kirish

Bugungi kunda dunyoda qayta tiklanuvchi energiya manbalari ulushi jadal sur'atlarda ortib bormoqda. Xususan, quyosh fotoelektrik stansiyalari elektr energiyasi ishlab chiqarishning asosiy manbalaridan biriga aylanmoqda. Biroq elektr energiyasini maksimal samaradorlik bilan ishlab chiqarish uchun stansiyalarni doimiy monitoring qilish va iqtisodiy nazoratni tashkil etish muhim hisoblanadi.

Monitoring tizimlari quyosh modullari, invertorlar, transformatorlar, meteorologik stansiyalar va elektr uzatish uskunalaridan real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'ishga imkon beradi. Olingan ma'lumotlar asosida energiya ishlab chiqarish samaradorligi baholanadi, nosozliklar aniqlanadi va ekspluatatsiya xarajatlari optimallashtiriladi.

So‘nggi yillarda O‘zbekistonda “yashil” energetikani rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Bugungi kunda respublika bo‘ylab umumiy quvvati 5 582 MVt bo‘lgan 20 ta yirik “yashil” elektr stansiyasi, jumladan, 15 ta quyosh va 5 ta shamol elektr stansiyasi faoliyat yuritmoqda. Ushbu “yashil” elektr stansiyalari tomonidan 2022-yilda 434 mln kVt· soat, 2023-yilda 576,9 mln kVt· soat, 2024-yilda 4,9 mlrd kVt· soat elektr energiyasi ishlab chiqarilgan bo‘lsa, 2025-yilda ushbu ko‘rsatkich 10,5 mlrd kVt· soatga yetdi. 2026-yilning o‘tgan davrida esa 4 mlrd kVt· soat elektr energiyasi ishlab chiqarilib, o‘tgan yilning mos davriga nisbatan 29 foizlik o‘sish qayd etildi.

BG Pulse Journal USA
ISSN:1947-2536 http://www.bgpulseusa.com/index.php/bg
BG PULSE JOURNAL




*1-rasm Monitoring tizimining tarkibiy qismlari*

Quyosh fotoelektrik stansiyalarida monitoring tizimi bir nechta asosiy qurilma va dasturiy vositalardan tashkil topadi (1-rasm):

1. Sensorlar (meteorologik stansiya) — quyosh radiatsiyasi, havo harorati, modul harorati, shamol tezligi va yo‘nalishini o‘lchaydi.

2. Elektr o‘lchov qurilmalari — tok, kuchlanish, quvvat, elektr energiyasi va elektr tarmog‘i parametrlarini o‘lchaydi.

3. Invertorlar — quyosh panellaridan keladigan doimiy tokni o‘zgaruvchan tokka aylantiradi va o‘zining ishlash parametrlari haqida ma'lumot uzatadi.

4. Data Logger / RTU — sensorlar, invertorlar va elektr o‘lchov qurilmalaridan ma'lumotlarni yig‘ib, qayta ishlaydi va markaziy tizimga uzatadi.

5. SCADA tizimi — stansiyaning ishlashini real vaqt rejimida kuzatadi, nosozliklar haqida ogohlantiradi va ma'lumotlarni grafik hamda hisobot ko‘rinishida taqdim etadi.

6. Ma'lumotlar bazasi va server — monitoring ma'lumotlarini saqlaydi, zaxira nusxalarini yaratadi va uzoq muddatli tahlil qilish imkonini beradi.

7. Web platforma — kompyuter yoki brauzer orqali stansiyani masofadan monitoring qilish va hisobotlarni ko‘rish imkonini beradi.

8. Mobil ilova — stansiyaning asosiy ko‘rsatkichlarini smartfon orqali kuzatish va avariya xabarnomalarini olish imkonini beradi.

Fotoelektrik stansiyalarda monitoring tizimi — quyosh elektr stansiyasining ishlab chiqarish ko‘rsatkichlari, texnik holati, energiya samaradorligi va iqtisodiy natijalarini real vaqt rejimida kuzatish, tahlil qilish va boshqarish imkonini beruvchi apparat-dasturiy majmuadir.

International Electrotechnical Commission tomonidan ishlab chiqilgan IEC 61724-1 standarti PV tizimlarining ishlash ko‘rsatkichlarini monitoring qilish metodologiyasini belgilaydi. Mazkur

standart Performance Ratio, energiya hosildorligi va meteorologik parametrlarni baholashda muhim metodologik asos hisoblanadi.

IEC 62446-1 standarti esa fotoelektrik tizimlarni ishga tushirish, tekshirish va hujjatlashtirish talablarini belgilaydi.

Adabiyotlarda SCADA tizimlari fotoelektrik stansiyalarni real vaqt rejimida monitoring qilishning asosiy vositalaridan biri sifatida ko‘rsatiladi. SCADA tizimlari orqali invertorlar, meteorologik stansiyalar, elektr hisoblagichlar va boshqa qurilmalardan ma'lumotlar yig‘iladi.

IoT texnologiyalarining rivojlanishi esa monitoring tizimlarining markazlashmagan arxitekturadan bulutli va masofaviy platformalarga o‘tishini tezlashtirmoqda.

Sun’iy intellekt va Machine Learning texnologiyalari PV tizimlarida nosozliklarni oldindan prognozlash va elektr energiyasi ishlab chiqarishni bashorat qilishda qo‘llanilmoqda.

Tadqiqotda tizimli tahlil, statistik tahlil, texnik-iqtisodiy modellashtirish va investitsion baholash usullaridan foydalanildi. Tadqiqot modeli quyidagi ketma-ketlikka asoslangan:

Ma’lumotlarni yig‘ish → Texnik tahlil → Energiya yo‘qotishlarini aniqlash → Iqtisodiy baholash → Qaror qabul qilish

Asosiy texnik ko‘rsatkichlar:

1. Performance Ratio (PR)

$PR = (Yf / Yr) \times 100\%$

Yf — fotoelektrik stansiyaning yakuniy energiya hosildorligi;

Yr — quyosh radiatsiyasining reference hosildorligi.

2. Specific Yield

$Yf = EAC / PDC$

EAC — ishlab chiqarilgan o‘zgaruvchan tok energiyasi, kWh;

PDC — o‘rnatilgan fotoelektrik quvvat, kWp.

3. Capacity Factor

$CF = [Eactual / (Pinstalled \times 8760)] \times 100\%$

Eactual — amalda ishlab chiqarilgan elektr energiyasi, kWh;

Pinstalled — o‘rnatilgan stansiya quvvati, kW;

8760 — bir yildagi soatlar soni.

4. Availability

$A = (Tavailable / Ttotal) \times 100\%$

Tavailable — stansiyaning ishlashga tayyor bo‘lgan vaqti;

Ttotal — umumiy kuzatuv davri.

5. Yo‘qotilgan elektr energiyasi

$Eloss = Eexpected - Eactual$

Eloss — yo‘qotilgan elektr energiyasi;

Eexpected — kutilgan elektr energiyasi ishlab chiqarish hajmi;

Eactual — amalda ishlab chiqarilgan elektr energiyasi.

6. Yo‘qotilgan energiyaning iqtisodiy qiymati

$Closs = Eloss \times T$

Closs — yo‘qotilgan energiyaning iqtisodiy qiymati;

Eloss — yo‘qotilgan elektr energiyasi miqdori;

T — elektr energiyasining tarif yoki sotish narxi.

7. Investitsiyaning qoplanish muddati (Payback Period)

$PP = I / CF$

PP — investitsiyaning qoplanish muddati, yil;
I — boshlang‘ich investitsiya miqdori;
CF — yillik sof pul oqimi.
8. Sof joriy qiymat (NPV)
NPV = −I + Σ [CFt / (1 + r)^t]
I — boshlang‘ich investitsiya;
CFt — t-yildagi pul oqimi;
r — diskont stavkasi;
t — hisob-kitob yili;
n — investitsiya loyihasining amal qilish muddati.
9. Ichki daromadlilik normasi (IRR)
0 = −I + Σ [CFt / (1 + IRR)^t]
IRR — ichki daromadlilik normasi;
I — boshlang‘ich investitsiya;
CFt — t-yildagi pul oqimi.
10. Yillik iqtisodiy samaradorlik
E = S − C
E — sof iqtisodiy samara;
S — monitoring tizimi hisobiga olingan jami iqtisodiy foyda;
C — monitoring tizimini joriy etish va ekspluatatsiya qilish xarajatlari.
11. Qo‘shimcha ishlab chiqarilgan energiya
Eadditional = Eannual × R
Eadditional — monitoring natijasida qo‘shimcha ishlab chiqarilgan energiya;
Eannual — yillik elektr energiyasi ishlab chiqarish hajmi;
R — energiya yo‘qotishlarini kamaytirish darajasi.
12. Qo‘shimcha energiyadan olinadigan daromad
Senergy = Eadditional × T
Senergy — qo‘shimcha energiyadan olingan daromad;
Eadditional — qo‘shimcha ishlab chiqarilgan elektr energiyasi;
T — elektr energiyasining sotish tarifi.

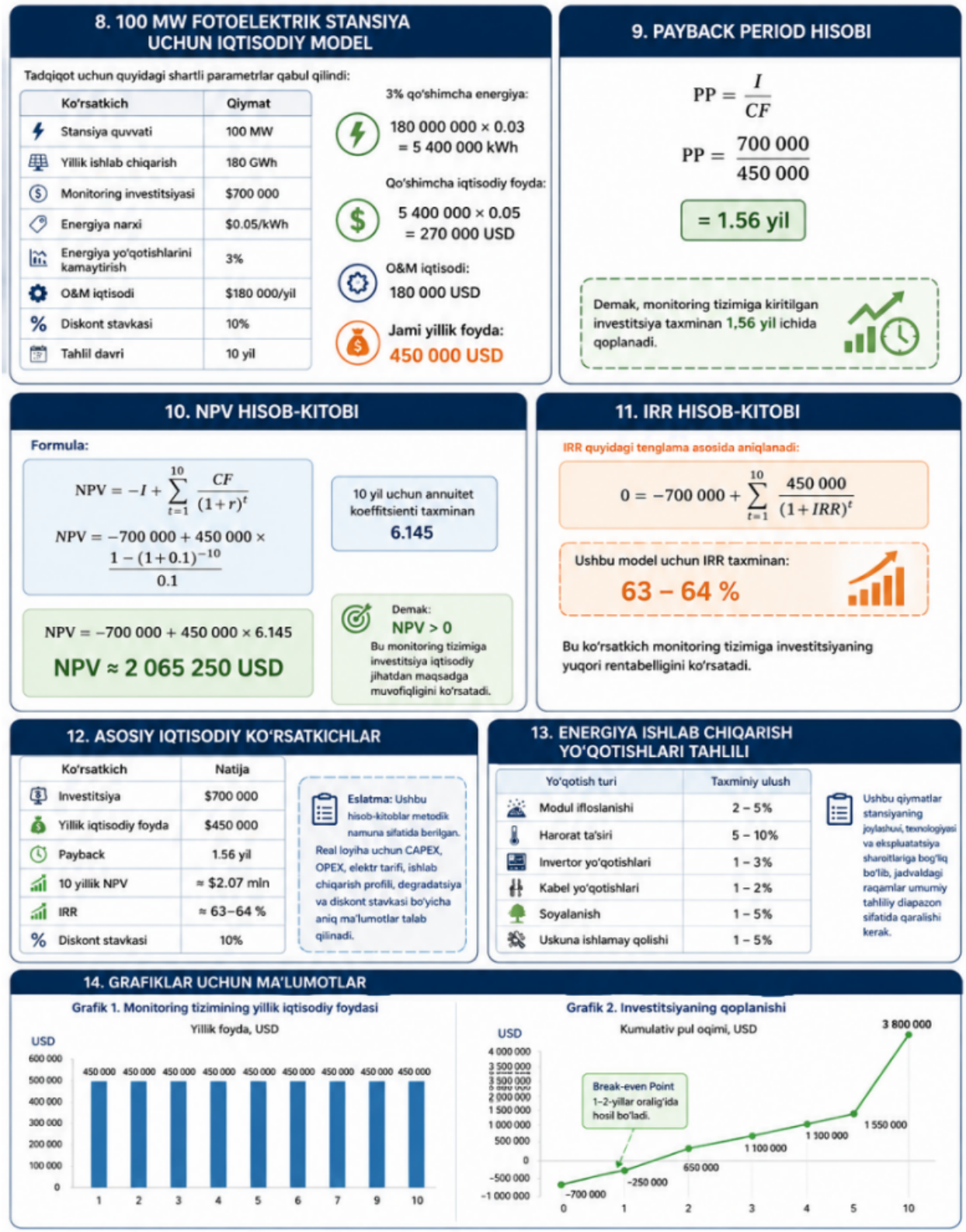
100 MW quvvatli namunaviy stansiya uchun amalga oshirilgan hisob-kitoblarda monitoring tizimiga kiritilgan $700 ming investitsiya yillik $450 ming miqdorida iqtisodiy samara berishi mumkinligi aniqlandi. Hisoblangan Payback Period 1,56 yilni, 10 yillik NPV taxminan $2,07 millionni va IRR taxminan 63–64 foizni tashkil etdi.(2-rasm).

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, fotoelektrik stansiyalarda energiya monitoringi tizimlari stansiyaning texnik holatini nazorat qilishdan tashqari, uning iqtisodiy samaradorligini oshirishda ham muhim vosita hisoblanadi.

SCADA, IoT, Data Logger, meteorologik monitoring va sun’iy intellekt texnologiyalarining integratsiyasi orqali stansiyaning ishlab chiqarish ko‘rsatkichlarini real vaqt rejimida kuzatish, nosozliklarni erta aniqlash va energiya yo‘qotishlarini kamaytirish mumkin.

O‘zbekiston sharoitida quyosh fotoelektrik stansiyalarida monitoring tizimlarini rivojlantirishda changlanish, yuqori harorat, modul ifloslanishi va tarmoqdagi o‘zgaruvchan yuklamalar alohida nazorat qilinishi lozim. Kelajakda SCADA va IoT tizimlarini sun’iy intellekt asosidagi diagnostika va iqtisodiy tahlil modullari bilan birlashtirish fotoelektrik stansiyalar samaradorligini oshirishning istiqbolli yo‘nalishi hisoblanadi.

BG Pulse Journal USA
ISSN:1947-2536 http://www.bgpulseusa.com/index.php/bg
BG PULSE JOURNAL




*2-rasm (100 MW quvvatli namunaviy stansiya uchun iqtisodiy model)*

Shu bilan birga, real loyiha uchun ushbu ko‘rsatkichlar stansiyaning joylashuvi, elektr energiyasi tarifi, quyosh radiatsiyasi, texnik xizmat xarajatlari, monitoring tizimi narxi va energiya yo‘qotishlari kabi omillarga bog‘liq bo‘ladi.

**Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati**

1. International Energy Agency. Renewables 2025.
2. International Renewable Energy Agency. Renewable Capacity Statistics.
3. International Electrotechnical Commission. IEC 61724-1: Photovoltaic system performance – Monitoring.
4. International Electrotechnical Commission. IEC 62446-1: Grid connected photovoltaic systems – Testing and commissioning.
5. International Organization for Standardization. ISO 50001: Energy Management Systems.
6. National Renewable Energy Laboratory. Best Practices in PV System Operations and Maintenance.
7. O'z DSt ISO 50001: Energiya menejmenti tizimlari.
8. O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi va tegishli me'yoriy-huquqiy hujjatlari.