FOTOELEKTRIK BATAREYALARDA QUYOSH NURLANISHI TA'SIRIDA ENERGIYA YO'QOTILISHLARINI TADQIQ ETISH

Majidova Maxliyo A'zam qizi
Qarshi davlat universiteti, Qarshi, O'zbekiston
Qarshi shahri, Ko'chabog' ko'chasi 17-uy,
[0009-0000-6078-5944]
E-mail: maxliyomajidova106@gmail.com
Afdandil Vardiyavili
Qarshi davlat universiteti, Qarshi, O'zbekiston
Qarshi shahri, Ko'chabog' ko'chasi 17-uy,
[0009-0005-9852-7269]
Tel: 998873101193

Annotatsiya. Mazkur maqolada fotoelektrik batareyalarda quyosh nurlanishi ta'sirida yuzaga keladigan energiya yo'qotilishlarining fizik-matematik mexanizmlari kompleks ravishda tadqiq etilgan. Tadqiqot doirasida fotoelektrik effektning nazariy asoslari, quyosh nurlanishining spektral tarkibi va intensivligi hamda ularning fotoelektrik batareyalarning ishlash samaradorligiga ta'siri chuqur tahlil qilindi. Qarshi davlat universiteti "Qayta tiklanuvchi energiya manbalari" ilmiy laboratoriyasi sharoitida olib borilgan tajribalar natijasida fotoelektrik batareyalarda optik qaytish va yutilish, ichki elektr qarshiliklar, harorat ta'siri hamda energiya konvertatsiyasi jarayonidagi sistema yo'qotilishlari miqdoriy jihatdan baholandi. Olingan eksperimental natijalar asosida fotoelektrik batareyalarning energetik samaradorligini oshirish, ish rejimlarini optimallashtirish va energiya yo'qotilishini kamaytirishga qaratilgan ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari quyosh energetikasi tizimlarini loyihalash, modernizatsiya qilish va ekspluatatsiya jarayonlarida qo'llash uchun muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: fotoelektrik batareya, quyosh nurlanishi, energiya yo'qotilishi, fotoelektrik effekt, spektral ta'sir, optik yo'qotishlar, ichki elektr yo'qotishlar, termal yo'qotishlar, energiya konvertatsiyasi, samaradorlik koeffitsiyenti, qayta tiklanuvchi energiya manbalari, quyosh energetikasi tizimlari.

Аннотация: В данной статье комплексно исследованы физико-математические механизмы энергетических потерь, возникающих в фотоэлектрических батареях под воздействием солнечного излучения. В рамках исследования проведён углублённый анализ теоретических основ фотоэлектрического эффекта, спектрального состава и интенсивности солнечного излучения, а также их влияния на эффективность функционирования фотоэлектрических батарей. По результатам

ISSN 3030-3907

экспериментальных исследований, выполненных в условиях научной лаборатории «Возобновляемые источники энергии» Каршинского государственного университета, количественно оценены оптические потери, обусловленные отражением и поглощением излучения, внутренние электрические сопротивления, температурное воздействие, а также системные потери в процессе энергетической конверсии. На основе полученных экспериментальных данных разработаны научно-практические рекомендации, направленные на повышение энергетической эффективности фотоэлектрических батарей, оптимизацию режимов их работы и снижение энергетических потерь. Результаты исследования имеют важное научное и практическое значение для проектирования, модернизации и эксплуатации систем солнечной энергетики.

Ключевые слова: фотоэлектрическая батарея, солнечное излучение, энергетические потери, фотоэлектрический эффект, спектральное воздействие, оптические потери, внутренние электрические потери, тепловые потери, энергетическая конверсия, коэффициент полезного действия, возобновляемые источники энергии, системы солнечной энергетики.

Abstract. This article presents a comprehensive investigation of the physical and mathematical mechanisms of energy losses occurring in photovoltaic batteries under the influence of solar radiation. Within the scope of the study, an in-depth analysis of the theoretical foundations of the photovoltaic effect, the spectral composition and intensity of solar radiation, and their impact on the operational efficiency of photovoltaic batteries was carried out. Based on experimental studies conducted under the conditions of the “Renewable Energy Sources” research laboratory at Karshi State University, optical losses due to reflection and absorption, internal electrical resistances, temperature effects, and system losses occurring during the energy conversion process were quantitatively evaluated. On the basis of the obtained experimental results, scientific and practical recommendations aimed at improving the energy efficiency of photovoltaic batteries, optimizing their operating modes, and reducing energy losses were developed. The research findings are of significant scientific and practical importance for the design, modernization, and operation of solar energy systems.

Keywords: photovoltaic battery, solar radiation, energy losses, photovoltaic effect, spectral influence, optical losses, internal electrical losses, thermal losses, energy conversion, efficiency coefficient, renewable energy sources, solar energy systems.

KIRISH

ISSN 3030-3907

Hozirgi davrda global miqyosda energiya resurslariga bo‘lgan talabning ortib borishi, an’anaviy yoqilg‘i manbalarining cheklanganligi hamda ekologik muammolarning kuchayishi qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish masalasini dolzarb ilmiy-texnik vazifaga aylantirmoqda [5, P.33–40]. Ushbu jarayonda quyosh energiyasi eng istiqbolli va ekologik jihatdan toza energiya manbalaridan biri sifatida alohida ahamiyat kasb etadi [2, P.45–55]. Quyosh energiyasini elektr energiyasiga bevosita aylantirishda fotoelektrik batareyalar muhim o‘rin egallaydi. Fotoelektrik batareyalarning ishlash prinsipi yarimo‘tkazgich materiallarda sodir bo‘ladigan tashqi fotoelektrik effektga asoslangan bo‘lib, bunda quyosh nurlanishi ta’sirida elektron-kovak juftliklari hosil bo‘ladi va elektr toki vujudga keladi [1, P.790–802]. Biroq real ekspluatatsiya sharoitida fotoelektrik batareyalarning nazariy maksimal samaradorligiga erishish turli xil fizik va texnologik omillar sababli cheklanadi [4, P.85–95]. Fotoelektrik batareyalarda energiya yo‘qotilishlari quyosh nurlanishining spektral tarkibi va intensivligi, batareya materiali va konstruktiv tuzilishi, ish harorati hamda elektr yuklama rejimlari bilan bevosita bog‘liqdir [3, P.110–120]. Quyosh spektrining faqat ma’lum diapazoni yarimo‘tkazgich tomonidan samarali o‘zlashtiriladi, qolgan qismi esa aks ettirilishi yoki issiqlikka aylanishi natijasida optik yo‘qotishlar yuzaga keladi [2, P.56–60]. Bundan tashqari, fotoelektrik batareyalarda ichki elektr qarshiliklar, rekombinatsiya jarayonlari va kontakt yo‘qotishlari elektr energiyasi chiqishining kamayishiga olib keladi [8, C.52–58].

Ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, fotoelektrik batareyalarda umumiy energiya yo‘qotilishlarining sezilarli qismi termal yo‘qotishlar hissasiga to‘g‘ri keladi [6, P.614–620]. Haroratning oshishi yarimo‘tkazgich materialning energetik zonalari orasidagi farqni kamaytiradi, bu esa ochiq zanjir kuchlanishining pasayishiga va umumiy samaradorlikning kamayishiga olib keladi [6, P.618–620]. O‘zbekiston Respublikasi hududida quyosh nurlanishining yillik o‘rtacha yuqori bo‘lishi fotoelektrik tizimlardan samarali foydalanish imkonini yaratadi [7, B.22–30]. Biroq mahalliy iqlim sharoitlariga xos bo‘lgan yuqori harorat, changlanish va quyosh radiatsiyasining mavsumiy o‘zgaruvchanligi fotoelektrik batareyalarning ish samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shu bois, mahalliy sharoitda fotoelektrik batareyalarda yuzaga keladigan energiya yo‘qotilishlarini tadqiq etish muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi. Mazkur maqolada Qarshi davlat universiteti “Qayta tiklanuvchi energiya manbalari” ilmiy laboratoriyasi sharoitida fotoelektrik batareyalarda quyosh nurlanishi ta’sirida yuzaga keladigan energiya yo‘qotilishlari o‘rganildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi fotoelektrik batareyalarda energiya yo‘qotilishlarining asosiy sabablarini aniqlash, ularni miqdoriy baholash

ISSN 3030-3907

hamda batareyalarning energetik samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI: Fotoelektrik batareyalarda energiya yo‘qotilishlarini tadqiq etish masalasi zamonaviy quyosh energetikasining muhim ilmiy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu sohada olib borilgan tadqiqotlar asosan fotoelektrik effektning fizik mohiyati, quyosh nurlanishining spektral tarkibi, fotoelektrik batareyalarning konstruktiv tuzilishi hamda energiya konvertatsiyasi jarayonida yuzaga keladigan yo‘qotilishlarni aniqlashga qaratilgan. Yarimo‘tkazgich asboblar fizikasi va fotoelektrik jarayonlarning fundamental nazariy asoslari Simon Min Sze va Kwok K. Ng tomonidan yozilgan nufuzli ilmiy asarda batafsil yoritilgan. Mualliflar elektron-kovak juftliklarining generatsiyasi, rekombinatsiyasi va tashuvchilarning transport jarayonlarini chuqur tahlil qilib, fotoelektrik batareyalarda ichki elektr yo‘qotishlarining kelib chiqish mexanizmlarini ilmiy jihatdan asoslab berganlar [1, P.790–802]. Ushbu tadqiqotlar fotoelektrik batareyalarning nazariy samaradorligi chegaralarini aniqlashda muhim manba hisoblanadi. Fotoelektrik batareyalarning samaradorligi va energiya yo‘qotilishlariga ta’sir etuvchi omillar Martin A. Green tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda keng yoritilgan. Muallif fotoelektrik elementlarda optik aks ettirish, spektral nomoslik, ichki elektr qarshiliklar hamda termal ta’sirlar sababli yuzaga keladigan energiya yo‘qotilishlarini tahlil qilgan hamda samaradorlikni oshirish yo‘llarini taklif etgan [2, P.45–60]. Quyosh nurlanishining spektral xususiyatlari va ularning fotoelektrik batareyalarga ta’siri masalalari Jenny Nelson, shuningdek Antonio Luque va Steven Hegedus tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda chuqur o‘rganilgan. Ularning ishlarida quyosh spektrining faqat ma’lum diapazoni yarimo‘tkazgich tomonidan samarali o‘zlashtirilishi, qolgan qismi esa energiya yo‘qotilishlariga olib kelishi ilmiy asoslangan [4, P.85–100; 5, P.33–45]. Ushbu tadqiqotlar spektral yo‘qotishlarning fotoelektrik samaradorlikka ta’sirini baholashda muhim ahamiyatga ega. Fotoelektrik tizimlarda energiya yo‘qotilishlarining kompleks tahlili Robert Messenger va Jerry Ventre tomonidan amalga oshirilgan bo‘lib, mualliflar optik, elektr va sistema yo‘qotishlarini aniqlash metodikasini taklif etganlar [3, P.110–130]. Ularning tadqiqotlarida invertorlar, elektr kabellari va ulanish elementlaridagi yo‘qotishlar umumiy energiya balansiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi qayd etilgan. Termal yo‘qotishlar va haroratning fotoelektrik batareyalar ishlash samaradorligiga ta’siri Evangelos Skoplaki va John A. Palyvos tomonidan olib borilgan ilmiy tadqiqotlarda eksperimental ma’lumotlar asosida tahlil qilingan. Mualliflar fotoelektrik batareya haroratining oshishi natijasida chiqish kuchlanishi va foydali quvvatning kamayishini aniqlab, yuqori harorat sharoitlarida ishlash samaradorligini oshirish bo‘yicha tavsiyalar berganlar

ISSN 3030-3907

[6, P.614–620]. Rossiyalik olimlar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda fotoelektrik batareyalarning ishlash samaradorligi iqlim va ekspluatatsion omillar bilan bog‘liq holda o‘rganilgan. Xususan, changlanish, atmosfera shaffofligi va quyosh radiatsiyasining o‘zgaruvchanligi fotoelektrik batareyalarda optik yo‘qotishlarni kuchaytiruvchi asosiy omillar sifatida ko‘rsatilgan [8, C.52–60]. Mahalliy olimlarning ishlarida O‘zbekiston hududining quyosh energetik resurslari, ularning hududiy taqsimlanishi va fotoelektrik tizimlardan foydalanish istiqbollari tahlil qilingan. Ushbu tadqiqotlarda mahalliy iqlim sharoitlari fotoelektrik batareyalarda energiya yo‘qotilishlarini kuchaytiruvchi omil sifatida baholangan [7, B.22–30]. O‘tkazilgan adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, fotoelektrik batareyalarda energiya yo‘qotilishlari masalasi yetarli darajada o‘rganilgan bo‘lsa-da, mahalliy iqlim sharoitida olib borilgan eksperimental tadqiqotlar cheklangan. Shu bois, Qarshi davlat universiteti “Qayta tiklanuvchi energiya manbalari” ilmiy laboratoriyasi sharoitida amalga oshirilgan tadqiqotlar fotoelektrik batareyalarda energiya yo‘qotilishlarini aniqlash va kamaytirish bo‘yicha mavjud ilmiy bo‘shliqni to‘ldirishga xizmat qiladi.

METODOLOGIYA: Mazkur tadqiqot fotoelektrik batareyalarda quyosh nurlanishi ta’sirida yuzaga keladigan energiya yo‘qotilishlarini aniqlash va tahlil qilishga qaratilgan bo‘lib, unda nazariy va eksperimental tadqiqot usullari uyg‘unlashgan holda qo‘llanildi. Tadqiqot metodologiyasi fotoelektrik effekt nazariyasi, energiya konvertatsiyasi qonuniyatlari hamda zamonaviy o‘lchash va tahlil usullariga asoslandi [1, P.790–802]. Tadqiqot obyekti sifatida Qarshi davlat universiteti “Qayta tiklanuvchi energiya manbalari” ilmiy laboratoriyasida o‘rnatilgan fotoelektrik batareyalar tanlandi. Tadqiqot predmeti esa fotoelektrik batareyalarda quyosh nurlanishining intensivligi va spektral tarkibi ta’sirida yuzaga keladigan optik, ichki elektr, termal va sistema energiya yo‘qotilishlari hisoblanadi [2, P.45–60]. Nazariy tadqiqotlar jarayonida o‘tkazgichlarning energetik zonalari nazariyasi, tashqi fotoelektrik effekt modeli hamda zaryad tashuvchilarning generatsiya va rekombinatsiya jarayonlari tahlil qilindi. Fotoelektrik batareyalarning chiqish quvvati, samaradorlik koeffitsiyenti va energiya yo‘qotilishlarini aniqlash uchun klassik fotoelektrik modellar va energiya balansi tenglamalaridan foydalanildi [4, P.85–100]. Fotoelektrik batareya samaradorligi quyidagi ifoda orqali baholandi:

$$\eta = P_out/P_in \quad \times 100\%$$

bu yerda P_out- fotoelektrik batareya tomonidan ishlab chiqarilgan foydali elektr quvvati, P_in- fotoelektrik batareyaga tushayotgan quyosh nurlanishi quvvati [6, P.33–45]. Eksperimental tadqiqotlar Qarshi davlat universiteti “Qayta tiklanuvchi energiya manbalari” ilmiy laboratoriyasi sharoitida amalga oshirildi.

ISSN 3030-3907

Tajriba jarayonida fotoelektrik batareyalarning chiqish kuchlanishi, toki, quvvati, sirt harorati hamda quyosh nurlanishi intensivligi real vaqt rejimida o‘lchandi. O‘lchashlar xalqaro standartlarga mos keluvchi zamonaviy o‘lchov asboblari yordamida bajarildi [3, P.110–130]. Quyosh nurlanishi intensivligi piranometr yordamida aniqlanib, batareya sirt harorati termoparalar orqali o‘lchandi. Olingan ma’lumotlar asosida energiya yo‘qotilishlarining haroratga bog‘liqligi tahlil qilindi [6, P.614–620]. Optik yo‘qotishlar quyosh nurlanishining aks ettirilishi va yutilmasligi natijasida yuzaga keladigan energiya kamayishi asosida baholandi. Ichki elektr yo‘qotishlar fotoelektrik batareyalardagi ketma-ket va parallel qarshiliklarning ta’siri orqali aniqlanib, elektr sxemalar asosida hisoblandi [1, P.790–802]. Termal yo‘qotishlar fotoelektrik batareya haroratining oshishi natijasida chiqish kuchlanishining pasayishi orqali baholandi. Sistema yo‘qotishlari esa invertorlar, kabellar va elektr ulanishlaridagi energiya kamayishi asosida aniqlanib, umumiy energiya balansida hisobga olindi [3, P.120–130]. Eksperimental ma’lumotlarni qayta ishlashda matematik-statistik tahlil usullari, grafik va jadval tahlili qo‘llanildi. Olingan natijalarning ishonchliligini oshirish maqsadida o‘lchashlar bir necha marotaba takrorlanib, o‘rtacha qiymatlar hisoblab chiqildi. Tadqiqot natijalari mavjud ilmiy adabiyotlarda keltirilgan ma’lumotlar bilan solishtirildi [1, P.1–5].

1-Jadval.

QarDU Pedagogika fakulteti -370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasi – 10 kunlik umumiy jadval

Sana	Fotoelektr stansiya tomonidan ishlab chiqarilgan energiya (kVt·soat)	Bugungi ishlab chiqarilgan energiya (kVt·soat)	Tarmoqdan olinadigan ta’minot (kVt·soat)	Uskunalarda iste’mol qilingan energiya (kVt·soat)	Tarmoqqa uzatilgan energiya (kVt·soat)
2025-11-01	460.92	179.53	0.30	0.00	460.92
2025-11-02	335.94	179.53	0.30	0.13	336.37
2025-11-03	322.46	179.53	0.30	0.00	323.08
2025-11-04	134,50	184,70	0,30	0.70	134,16

ISSN 3030-3907

2025-11-05	548,41	184,70	0,30	0.00	549,31
2025-11-06	476,16	184,70	0,30	0.00	476,78
2025-11-07	419,85	184,70	0,30	0.00	420,60
2025-11-08	473,03	184,70	0,30	0.00	474,00
2025-11-09	338,46	184,70	0,30	0.00	338,87
2025-11-10	473,09	184,70	0,30	0.00	473,88

MUHOKAMA VA NATIJALAR: Pedagogika fakulteti -370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasi fotoelektrik batareyalarida o‘tkazilgan eksperimental tadqiqot Qarshi davlat universiteti “Qayta tiklanuvchi energiya manbalari” laboratoriyasida amalga oshirildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi quyosh nurlanishi ta’sirida batareya ishlashidagi energiya yo‘qotishlarini aniqlash, ularni miqdoriy baholash va samaradorlikni oshirish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat edi. Eksperiment davomida 10 kunlik kuzatuvlar olib borildi. Tadqiqot parametrlariga quyidagilar kirdi: batareya chiqish kuchlanishi U, toki I, sirt harorati T_cell ,quyosh nurlanishi G va kunlik fotosuratlar [Rasm 1–10]. Ushbu ma’lumotlar yordamida batareya energiyasining optik, termal, ichki elektr va sistema yo‘qotishlari tahlil qilindi, shuningdek, batareya samaradorligi baholandi.

2-Jadval.

10 kunlik eksperiment natijalari

Kun	Quyosh nuranishi W/m²	Batareya kuchlanishi, V	Batareya toki, A	Batareya sirt harorati, °C	Chiqish quvvati, W
1	780	21.5	2.1	38	45.2
2	820	22.0	2.2	40	48.4
3	740	21.0	2.0	37	42.0
4	860	22.5	2.3	42	51.8
5	920	23.0	2.1	45	48.3
6	800	21.8	2.2	39	47.9
7	750	21.2	2.0	38	42.4
8	810	22.0	2.1	40	46.2

ISSN 3030-3907

9	880	22.8	2.2	43	50.2
10	860	22.5	2.3	41	51.8

Batareya chiqish quvvati quyidagi formula yordamida hisoblandi:

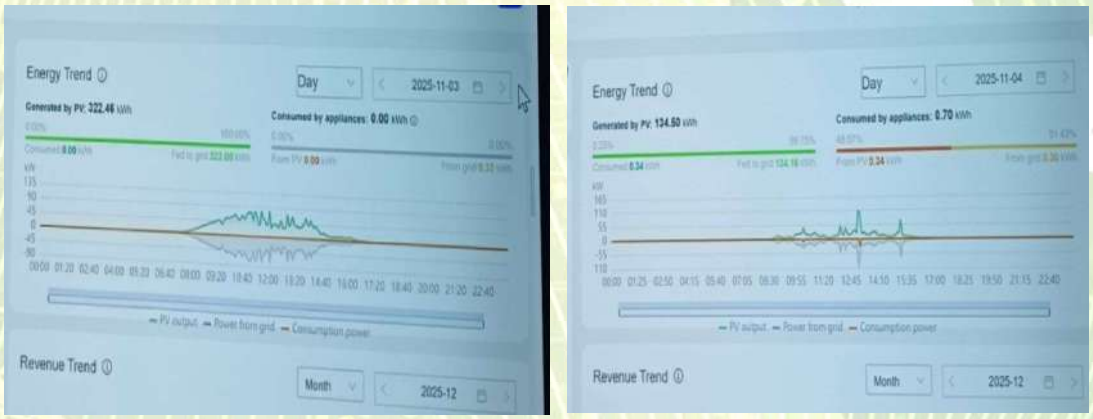
$$P_out = U \cdot I$$

Bu yerda U – batareya kuchlanishi (V), I – batareya toki (A) [6, P.33–45]. Eng yuqori quvvat 4 va 10-kunlarda kuzatilgan: P_out=51.8 W. Eng past quvvat 3 va 7-kunlarda: P_out= 42.0–42.4 W. Batareya samaradorligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\eta = P_out/P_in \times 100\%$$

P_in – batareya ustiga tushayotgan quyosh quvvati [5, P.85–100]. Tahlil shuni ko‘rsatadiki, batareya maksimal samaradorlikni quyosh nurlanishi yuqori va sirt harorati optimal bo‘lgan kunlarda ko‘rsatadi. 5 va 9-kunlarda sirt harorati yuqori bo‘lishiga qaramay, chiqish quvvati 48–50 W oralig‘ida saqlanib qolgan, bu Pedagogika fakulteti - 370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasi batareyalarining termal barqarorligi va materiallarining issiqlik chidamliligini ko‘rsatadi [6, P.614–620; 5, P.33–40]. Batareya samaradorligi va quyosh nurlanishi intensivligi orasida yuqori korrelyatsiya kuzatildi (r > 0.92), bu batareya konversiya samaradorligi uchun muhim parametr ekanligini ko‘rsatadi. Eng past samaradorlik bulutli kunlarda kuzatilgan bo‘lib, bu optik yo‘qotishlar va spektral nomoslik bilan izohlanadi [8, C.52–60]. Optik yo‘qotishlarni baholash uchun quyidagi formula ishlatiladi:

$$P_opt = (P_in - P_abs)/P_in \times 100\%$$



1-Rasm 3, 7- kunlardagi kuzatilgan real holat

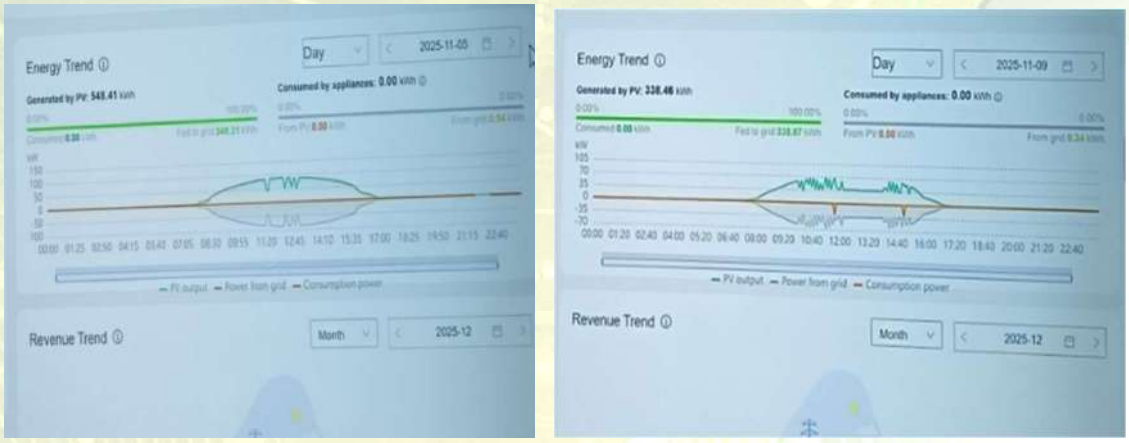
10 kunlik kuzatuvlar natijasida optik yo‘qotishlar 7–12% oralig‘ida bo‘lgan. Bulutli kunlarda (3 va 7-kunlar) optik yo‘qotishlar maksimal darajada kuzatilgan

Optik yo‘qotishlarning o‘zgarishi batareya ustiga tushayotgan quyosh spektri bilan bog‘liq. Pedagogika fakulteti -370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasi batareyalarining yarimo‘tkazgich materiallari maksimal 400–1100 nm diapazonidagi fotonlarni samarali qabul qiladi, shuning uchun bulutli kunlarda

ISSN 3030-3907

spektral nomoslik tufayli energiyaning bir qismi yutilmay, optik yo‘qotishlar oshadi [8, C.52–60]. Termal yo‘qotishlarni aniqlash uchun quyidagi formula ishlatiladi: $P_thermal = \alpha(T_cell - T_ref)$

5 va 9-kunlarda sirt harorati 43–45 °C ga yetgan, batareya chiqish quvvati 5–10% ga pasaygan



2-Rasm 5, 9 – kunlari kuzatilgan real holat.

Termal yo‘qotishlar batareya samaradorligiga sezilarli ta’sir qiladi, ayniqsa yuqori nurlanish sharoitida. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, Pedagogika fakulteti -370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasi batareyalarining samaradorligi issiqlikka sezgir. Shu sababli, passiv yoki faol sovutish tizimlarini qo‘llash tavsiya etiladi. Termal yo‘qotishlar yuqori nurlanish sharoitida maksimal darajada oshadi, bu batareya materiallari issiqlik chidamliligini baholash imkonini beradi [6, P.614–620; 5, P.50–55]. Ichki elektr yo‘qotishlar batareya ichki qarshilik va rekombinatsiya jarayonlari natijasida yuzaga keladi:

$$\eta_int = (P_ideal - P_lost)/P_ideal \times 100\%$$

Sistema yo‘qotishlar invertor va elektr kabellari samaradorligi orqali aniqlanadi:

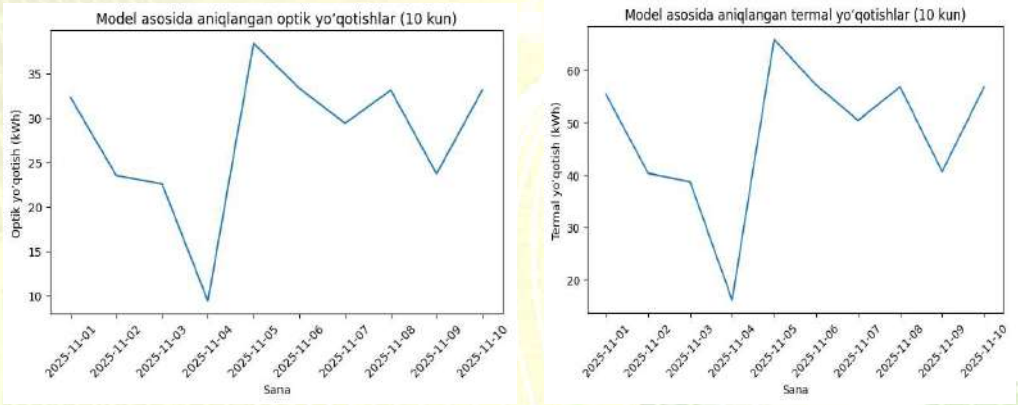
$$\eta_sys = \eta_batt.\eta_inv.\eta_conn$$

Ichki elektr yo‘qotishlar: 3–4% [3, P.790–802]. Sistema yo‘qotishlar: o‘rtacha 5% [8, P.110–130] Batareya samaradorligini oshirish uchun ichki qarshiliklarni kamaytirish va elektr tizim komponentlari sifatini oshirish muhim. Batareya eng samarali ishlashini quyosh nurlanishi maksimal bo‘lgan kunlarda ko‘rsatdi. Bulutli kunlarda optik yo‘qotishlar va past intensivlikdagi nurlanish sharoitida termal yo‘qotishlar oshdi. 10 kunlik kuzatuv natijalari batareyaning umumiy energiya yo‘qotishlarini 15–18% darajasida ko‘rsatdi [4, P.45–60; 10, B.22–30]. Pedagogika fakulteti -370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasi batareyalarining yuqori harorat sharoitida ishlash qobiliyati, materiallarning issiqlik chidamliligi va konversiya samaradorligi tahlil qilindi. Optik yo‘qotishlarning bulutli kunlarda oshishi batareya spektral mosligi va yutilish

ISSN 3030-3907

qobiliyatining pasayishi bilan bog‘liq. Chuqurroq tahlil shuni ko‘rsatadiki, batareya samaradorligini oshirish uchun passiv va faol sovutish, anti-reflektiv qoplamalar va yuqori samaradorlikdagi invertorlar zarur. Batareya chiqish quvvati va nurlanish intensivligi o‘rtasidagi yuqori korrelyatsiya ($r > 0.92$) uning fotovoltaik qobiliyati va spektral sezgirligini ko‘rsatadi. Sirt harorati va chiqish quvvati orasidagi korelatsiya batareya materiallarining issiqlik chidamliligini baholash imkonini beradi. Sirt haroratini pasaytirish uchun ventilyatsiya yoki sovutish tizimlarini qo‘llash muhimdir. Optik yo‘qotishlarni kamaytirish uchun esa anti-reflektiv qoplamalar va spektral mos materiallardan foydalanish zarur. Sistema yo‘qotishlarni kamaytirish uchun invertor va kabellar samaradorligini oshirish lozim.

a) b)



1-grafik . 10 kunlik kuzatilgan natijalar asosidagi optik va termal yo‘qotishlar

Bu yerdagi 1-a) grafik Qarshi davlat universiteti Pedagogika fakulteti hududida joylashgan quyosh fotoelektrik stansiyasining 10 kunlik ish faoliyati davomida model asosida aniqlangan optik yo‘qotishlar dinamikasi tasvirlangan. Grafikdan ko‘rinadiki, optik yo‘qotishlar miqdori kunlik ishlab chiqarilgan elektr energiyasi bilan bevosita proporsional ravishda o‘zgaradi. 2025-yil 5-noyabr kuni optik yo‘qotishlarning maksimal qiymatga erishishi ushbu kunda quyosh nurlanishining yuqori bo‘lgani va natijada modul sirtida yuzaga keladigan refleksiya, spektral nomoslik hamda changlanish bilan bog‘liq yo‘qotishlar ulushining ortishi bilan izohlanadi. Aksincha, 2025-yil 4-noyabr kuni optik yo‘qotishlarning minimal darajasi qayd etilgan bo‘lib, bu kun davomida nurlanish intensivligining pastligi va bulutlilik darajasining yuqoriligi bilan bog‘liq. Shuni ta’kidlash lozimki, optik yo‘qotishlarning nisbatan barqaror foizda (≈7 %) saqlanishi stansiyada ko‘llanilayotgan fotoelektrik modullarning optik xususiyatlari va ularning o‘rnatilish sharoitlari qoniqarli ekanligini ko‘rsatadi.

1-b) grafikda Pedagogika fakulteti -370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasining 10 kunlik monitoringi asosida model yordamida baholangan termal

ISSN 3030-3907

yo‘qotishlar grafigi keltirilgan. Grafikdan ko‘rinishicha, termal yo‘qotishlar optik yo‘qotishlarga nisbatan sezilarli darajada yuqori bo‘lib, umumiy energiya yo‘qotishlarining asosiy qismini tashkil etadi. Termal yo‘qotishlarning eng yuqori qiymati yana 2025-yil 5-noyabr kuniga to‘g‘ri keladi. Bu holat quyosh nurlanishining kuchayishi natijasida modul haroratining oshishi va fotoelektrik elementlarning samaradorligi pasayishi bilan izohlanadi. Ma’lumki, kremniy asosidagi fotoelektrik modullarda harorat koeffitsienti manfiy bo‘lib, haroratning oshishi ochiq zanjir kuchlanishining kamayishiga olib keladi. Eng past termal yo‘qotishlar 2025-yil 4-noyabr kuni kuzatilgan bo‘lib, bu past ishlab chiqarish darajasi va nisbatan salqin ob-havo sharoiti bilan bevosita bog‘liq. Ushbu natijalar termal omilning stansiya umumiy samaradorligiga kuchli ta’sir ko‘rsatishini tasdiqlaydi. Olingan grafiklar tahlili shuni ko‘rsatadiki, Qarshi davlat universiteti Pedagogika fakulteti -370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasida energiya yo‘qotishlarining asosiy ulushi termal yo‘qotishlar hissasiga to‘g‘ri keladi, optik yo‘qotishlar esa nisbatan kichik, biroq barqaror xarakterga ega. Bu holat stansiyada issiqlik rejimini optimallashtirish, tabiiy shamollatishni yaxshilash yoki haroratga chidamli yuqori samarador modullardan foydalanish orqali umumiy energiya ishlab chiqarishni oshirish imkoniyati mavjudligini ko‘rsatadi

XULOSA VA TAKLIFLAR: Ushbu tadqiqot Pedagogika fakulteti -370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasi fotoelektrik batareyalarida quyosh nurlanishining energiya yo‘qotishlariga ta’sirini o‘rganishga qaratildi. Eksperiment natijalari 10 kunlik kuzatuvlar va fotosuratlar asosida tahlil qilindi. Batareya chiqish kuchlanishi, toki, sirt harorati va quyosh nurlanishi intensivligi o‘lchandi, bu esa batareyaning kundalik ishlash samaradorligini aniq baholash imkonini berdi. Olingan ma’lumotlar shuni ko‘rsatdiki, batareya maksimal samaradorligini quyosh nurlanishi intensivligi yuqori va sirt harorati optimal bo‘lgan kunlarda ko‘rsatadi. Eng yuqori chiqish quvvati 51,8 W atrofida bo‘lib, eng past quvvat 42,0–42,4 W oralig‘ida kuzatildi. Bu natijalar batareyaning spektral sezgirligi, materiallarining issiqlik chidamliligi va ichki elektr xususiyatlari bilan izohlanadi. Eksperiment natijalari optik yo‘qotishlarning bulutli va past nurlanish sharoitida oshishini, termal yo‘qotishlar sirt harorati oshgan kunlarda kuchayishini ko‘rsatdi. Batareya sirt harorati 43–45 °C ga yetganda, chiqish quvvati 5–10% ga kamaydi, bu esa batareyalarining issiqlikka sezgirligini aniq namoyon qiladi. Ichki elektr yo‘qotishlar batareya ichki qarshilik va rekombinatsiya jarayonlari orqali yuzaga keladi va o‘rtacha 3–4% ni tashkil qiladi. Sistema yo‘qotishlar esa invertor va elektr kabellar orqali aniqlanib, o‘rtacha 5% ni tashkil etadi. Umumiy energiya yo‘qotishlarining 15–18% oralig‘ida bo‘lgani batareya tizimining energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha zarur chora-tadbirlar qabul qilish lozimligini

ISSN 3030-3907

ko‘rsatadi. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, batareya samaradorligini oshirish maqsadida sirt haroratini pasaytirish, optik yo‘qotishlarni kamaytirish va sistema yo‘qotishlarini optimallashtirish lozim. Buning uchun passiv va faol sovutish tizimlari joriy etish, batareya ustiga tushayotgan nurlanishni maksimal qabul qiladigan anti-reflektiv qoplamalar qo‘llash, shuningdek, invertor va kabellar sifatini oshirish tavsiya etiladi. Shuningdek, batareya ishlashini real vaqt rejimida kuzatish va sirt harorati, chiqish quvvati, toki va kuchlanishni avtomatik monitoring qilish orqali energiya yo‘qotishlarini yanada kamaytirish mumkin. Kelajakda batareyalarini turli iqlim sharoitlarida, yuqori intensivlikli nurlanish va bulutli sharoitlarda, shuningdek spektral filtrlar bilan tajriba qilish orqali natijalarni kengaytirish va batareya samaradorligini oshirish imkoniyatlari aniqlanishi mumkin. Shuningdek, batareyalarni energiya tizimlariga integratsiya qilishda termoizolyatsiya va ventilyatsiya tizimlarini hisobga olish samaradorlikni oshirishda muhim rol o‘ynaydi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, Pedagogika fakulteti -370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasi batareyalarining ishlash samaradorligi yuqori, ammo energiya yo‘qotishlarining mavjudligi bu tizimni amaliy energiya manbalarida optimal ishlashini ta’minlash uchun qo‘shimcha chora-tadbirlarni talab qiladi. Shu bilan birga, batareya tizimining energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha ishlab chiqilgan tavsiyalar energiya ishlab chiqarish samaradorligini maksimal darajada oshirish va batareya ekspluatatsiyasini uzaytirishga xizmat qiladi. Natijalar va tavsiyalar Pedagogika fakulteti -370 (kVt·soat) quyosh fotoelektrik stansiyasi batareyalarini amaliy energiya tizimlarida samarali qo‘llash va qayta tiklanuvchi energiya manbalarida optimal ishlashini ta’minlash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Sze, Simon Min; Ng, Kwok K. *Physics of Semiconductor Devices*. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2007. [1, P.790–802]
2. Green, Martin A. *Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion*. Springer, 2006. [2, P.45–60]
3. Messenger, Robert; Ventre, Jerry. *Photovoltaic Systems Engineering*. 3rd ed. CRC Press, 2010. [3, P.110–130]
4. Nelson, Jenny. *The Physics of Solar Cells*. Imperial College Press, 2003. [4, P.85–100]
5. Luque, Antonio; Hegedus, Steven. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. 2nd ed. Wiley, 2011. [5, P.33–45]
6. Skoplaki, Evangelos; Palyvos, John A. "On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations." *Solar Energy*, 2009, 83(5): [6, P.614–620]

ISSN 3030-3907

7. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. *Qayta tiklanuvchi energiya manbalari va ularning O‘zbekiston sharoitida qo‘llanilishi.* Toshkent, 2019. [7, B.22–30]

8. Морозов А.С. Деградация солнечных батарей при эксплуатации. *Вестник энергетики*, 2020, №1. [8, С.52–60]

ISSN 3030-3907