Abilfayziyev Shokir Narmuratovich (Termiz davlat Muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti "Aniq va tabiiy fanlar" kafedrasi mudiri; E-mail: abilfayziyev@inbox.ru),
Normurodov Sharofiddin Muxiddinovich (Termiz davlat Muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti "Aniq va tabiiy fanlar" kafedrasi o'qituvchisi; E-mail: sharofiddinnormurodov53@gmail.com)

QUYOSH PANELLARI YUZASINI IFLOSLANISHDAN SAQLASH METODLARINI TADQIQ ETISH

Annotatsiya. *Maqolada fotoelektrik batareyalar (FEB) sirtida ifloslanishning paydo bo'lishi va chang zarralarining cho'kish mexanizmlari batafsil tahlil qilingan. Tadqiqotda FEB sirtining oldindan qayta ishlanish darajasi, chang zarralarining o'lchami hamda turli fasllarda kuzatiladigan iqlim sharoitlari va quyosh nurlari tushish burchaklarining ifloslanish jarayoniga ta'siri o'rganilgan. Shuningdek, FEB sirtining ifloslanish darajasining kunduzgi energiya ishlab chiqarish samaradorligiga ta'siri bo'yicha eksperimental natijalar taqdim etilgan. Olingan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, quyosh chiqishidan avval tungi soatlarda FEB yuzasini maxsus himoya qoplamalari yoki yopuvchilar bilan vaqtincha berkitish, FEB sirtning ifloslanish darajasini sezilarli darajada kamaytiradi. Natijada tizimning umumiy energiya samaradorligi oshadi va ekspluatatsiya davridagi texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari qisqaradi.*

Kalit so'zlar: *fotoelektrik batareyalar, ifloslanish, chang zarralari, cho'kish mexanizmi, sirtni qayta ishlash, energiya samaradorligi, iqlim sharoitlari, himoya qoplamalari, energiya ishlab chiqarish.*

Абильфайзиев Шокир Нармуратович (заведующий кафедрой «Точные и естественные науки», Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий; E-mail:abilfayziyev@inbox.ru),
Нормуродов Шарофиддин Мухиддинович (преподаватель кафедры «Точные и естественные науки», Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий;
E-mail: sharofiddinnormurodov53@gmail.com)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Аннотация. *В статье подробно проанализированы процессы загрязнения поверхности фотоэлектрических батарей (ФЭБ) и механизмы оседания пылевых частиц. В исследовании изучено влияние предварительной обработки поверхности ФЭБ, размера пылевых частиц, а также климатических условий и углов падения солнечных лучей в разные сезоны на процесс загрязнения. Кроме того, представлены экспериментальные результаты влияния степени загрязнения поверхности ФЭБ на эффективность выработки электроэнергии в течение дня. Полученные данные показывают, что временное покрытие поверхности ФЭБ специальными защитными покрытиями или крышками в ночное время до восхода солнца значительно снижает степень загрязнения фотоэлектрической поверхности. В результате повышается общая эффективность системы и снижаются затраты на техническое обслуживание в течение срока эксплуатации.*

Ключевые слова: *фотоэлектрические батареи, загрязнение, пылевые частицы, механизм оседания, обработка поверхности, эффективность выработки энергии, климатические условия, защитные покрытия, производство энергии.*

Shokir Narmuratovich Abilfayziyev (Head of the Department of "Exact and Natural Sciences," Termiz State University of Engineering and Agro-technologies; E-mail: abilfayziyev@inbox.ru),
Normurodov Sharofiddin Mukhiddinovich (Lecturer, Department of Exact and Natural Sciences, Termiz State University of Engineering and Agrotechnologies; E-mail: sharofiddinnormurodov53@gmail.com)

A STUDY OF METHODS FOR PROTECTING SOLAR PANEL SURFACES FROM CONTAMINATION

Annotation. *The article provides a detailed analysis of the formation of contamination on the surface of photovoltaic (PV) panels and the mechanisms of dust particle deposition. The study investigates the influence of the pre-treatment level of the PV surface, the size of dust particles, as well as climatic conditions and solar incidence angles in different seasons on the contamination process. Additionally, experimental results on the effect of surface contamination on the daytime energy generation efficiency of PV panels are presented. The data obtained indicate that temporarily covering the PV surface with special protective coatings or covers during nighttime before sunrise significantly reduces the level of surface contamination. As a result, the overall system energy efficiency increases, and maintenance costs over the operational period are reduced.*

Keywords: *photovoltaic panels, contamination, dust particles, deposition mechanism, surface treatment, energy efficiency, climatic conditions, protective coatings, energy generation.*

Kirish (Introduction). Markaziy Osiyo hududi geografik joylashuvi jihatidan siklon va musson oqimlaridan tog‘tizmalari bilan ajralib turgani sababli, bu mintaqaning iqlimi quruq, yuqori haroratli (ba’zan +40°C va undan yuqori) hamda juda changli bo‘lishi bilan tavsiflanadi. Cho‘l zonalari Qozog‘iston hududining katta qismini, shuningdek, O‘zbekiston va Turkmaniston yerlarining salmoqli qismini egallaydi. O‘zbekiston hududida, ayniqsa, Qashqadaryo viloyati, Surxondaryoning janubi-sharqiy qismi va Farg‘ona vodiysining g‘arbiy hududlari shamol eroziyasiga eng ko‘p duchor bo‘lgan mintaqalardir. Qurg‘oqchil iqlim sharoitida shamol eroziyasi atmosfera havosidagi chang miqdorining ortishiga asosiy sabab sifatida namoyon bo‘ladi.

Respublika hududida havoga ko‘tarilayotgan chang va tuzlarning asosiy manbalari Orol dengizining qurib qolgan tubi, sho‘rlangan chiqindi ko‘llardir. So‘nggi yillarda O‘zbekistonning deyarli barcha meteorologik kuzatuv punktlarida yog‘ingarchilik intensivligining ortishi qayd etilgan bo‘lsa-da, yoz oylarida mamlakatning markaziy va janubi-g‘arbiy hududlarida qum hamda chang bo‘ronlari tez-tez kuzatiladi. Kuchli shamol oqimlari natijasida sho‘rlangan tuproq zarralari fotoelektrik batareyalar (FEB) sirtiga cho‘kib, vaqt o‘tishi bilan qalinligi ortib boruvchi yupqa ifloslanish qatlamini hosil qiladi. Yoz va kuz fasillarida havoda chang konsentratsiyasining ortishiga nafaqat Orol dengizi va sho‘r ko‘llardan doimiy esib turgan shamollar, balki bahorda boshlanib, kech kuzda tugaydigan qishloq xo‘jaligi ishlari ham sabab bo‘lmoqda. Ushbu davrda FEBning sirtini kech kuz yoki qishdan ko‘ra tez-tez tozalash kerak. Yakuniy bashorat qilish va amaliy tavsiyalar berish uchun uzoq muddatli kuzatishlar zarur.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili (Literature review). Hindiston texnologiya instituti Gandhinagar, Viskonsin-Madison universiteti va Dyuk universiteti olimlarining tadqiqotlari shuni ko‘rsatadiki, fotovoltaik panellar sirtida changning to‘planishi quyosh energiyasi ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli darajada kamaytiradi. IITGN laboratoriyalarida olib borilgan tajribalarda panellar bir necha haftada tozalanganda, ularning samaradorligi 50%gacha yaxshilanishi aniqlangan. Xitoy, Hindiston va Arabiston yarimoroli dunyodagi eng changli hududlar sirasiga kiradi. Hatto oyiga bir marta tozalash amalga oshirilgan hollarda ham, bu mintaqalarda quyosh energiyasi ishlab chiqarish hajmining 17–25%gacha yo‘qotilishi mumkin. Tozalash har ikki oyda bajarilsa, yo‘qotishlar 25–35%gacha ortadi [1]. Quruq va issiq iqlim sharoitida fotoelektrik batareyalar (FEB) samaradorligini tahlil qilish jarayonida atmosfera changlanishi kabi ekologik omillarga, ko‘pincha, yetarlicha e’tibor berilmaydi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, O‘zbekistonning janubiy va cho‘l hududlarida ishlab chiqarish quvvatining kamayishiga nafaqat yuqori harorat, balki tashqi muhit ta’sirida fotoelektrik batareya sirtining ifloslanishi ham sezilarli darajada sabab bo‘ladi [2–3]. Fotoelektrik batareyalar (FEB) panellari old yuzasida, odatda, atmosfera ta’siridan himoya qilish maqsadida qalinligi 3–6 mm bo‘lgan silliqlangan yoki gofrirovka qilingan temperli shisha qoplama qo‘llaniladi. Biroq, chang zarralarining ushbu sirtga yopishib qolish darajasi bir qator omillarga – shishaning silliqlik darajasi, shamol tezligi va yo‘nalishi hamda atmosfera namligiga bevosita bog‘liqdir [4].

O‘zbekistonning turli iqlim mintaqalarida mazkur omillar keskin farq qilgani sababli, changlanish darajasi hamda uning FEB modullari samaradorligiga ta’siri bir xil emas. Shu sababli respublikaning qishloq va cho‘l hududlari sharoitida FEB sirtining ifloslanish darajasi bilan ularning energiya ishlab chiqarish ko‘rsatkichlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash dolzarb ilmiy masala hisoblanadi [5].

Gorizontal o‘rnatilgan FEB panellarida chang zarralari eng ko‘p miqdorda to‘planadi. Bunga qo‘shimcha ravishda, vaqt o‘tishi bilan atmosfera yog‘inlari va shisha yuzasi o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir natijasida shisha sirtining degradatsiyasi, ya’ni shisha korroziyasi jarayoni sodir bo‘ladi. Shisha korroziyasi Na^+ ionlari va gidroksil guruhlari (OH^-)ning sirt qatlamidan kimyoviy yuvilishi bilan kechadigan jarayondir [6]. Korroziya qatlamining qalinligi shisha tarkibi va uning fizik xususiyatlariga bog‘liq bo‘lib, korroziyaga uchragan sohalar shishaning asosiy qismidan optik va mexanik jihatdan farqlanadi.

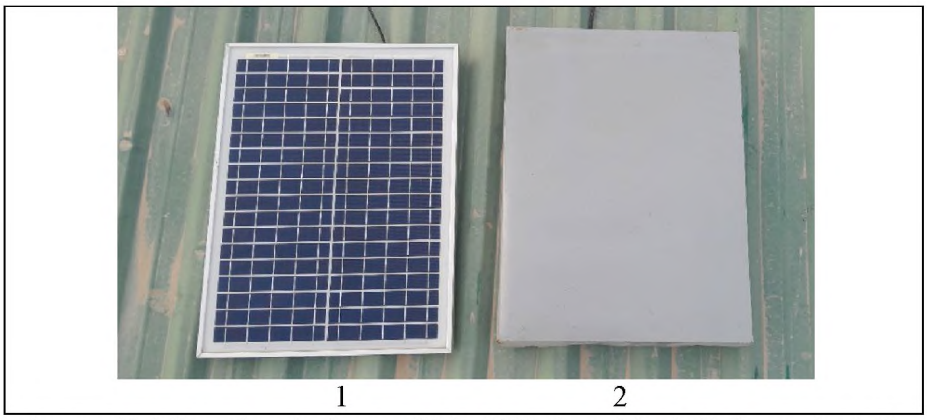
Atmosferadagi chang zarralari turli o‘lcham diapazoniga ega bo‘lib, ular diametri 1 nm.dan bir necha o‘n mikrongacha bo‘lgan molekular klasterlar shaklida uchraydi. Zarrachalarning cho‘kish tezligi ularning geometrik o‘lchamiga bog‘liq:

- yirik zarralar ($d > 100$ μm) – cho‘kish tezligi ≈ 0,5 m/s bo‘lib, qisqa vaqt ichida yer sirtiga tushadi;
- o‘rtacha zarralar (1 μm$< d < 100$ μm) – cho‘kish tezligi ≈ 0,2 m/s bo‘lib, asta-sekin cho‘kadi;
- mayda zarralar ($d < 1$ μm) – cho‘kish jarayoni juda sust kechadi, sokin atmosferada bu jarayon bir necha kun, ba’zan bir necha hafta davom etishi mumkin. Bunday zarrachalar yengil shamolli sharoitda yer sirtiga tushmasligi, biroq yog‘inlar (yomg‘ir yoki tuman) bilan birgalikda cho‘kishi mumkin [7].

Ushbu tadqiqotda FEB sirtini tozalash samaradorligining havo oqimi tezligiga va oqim manbasi bilan FEB yuzasi orasidagi masofaga bog‘liqligi o‘rganildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, elektr zaryadi kichik, lekin massasi katta bo‘lgan chang zarralarini samarali olib tashlash uchun past tezlikdagi havo oqimi yetarli bo‘ladi [8–9]. Shu bilan birga, FEB sirtining ifloslanishida asosiy rolni mayda radiusli zarrachalar o‘ynaydi.

Shu munosabat bilan, FEB panellarining sirt ifloslanishini kamaytirish va ularning uzoq muddatli samaradorligini ta'minlashga qaratilgan texnologik yechimlarni ishlab chiqish dolzarb ahamiyat kasb etadi.

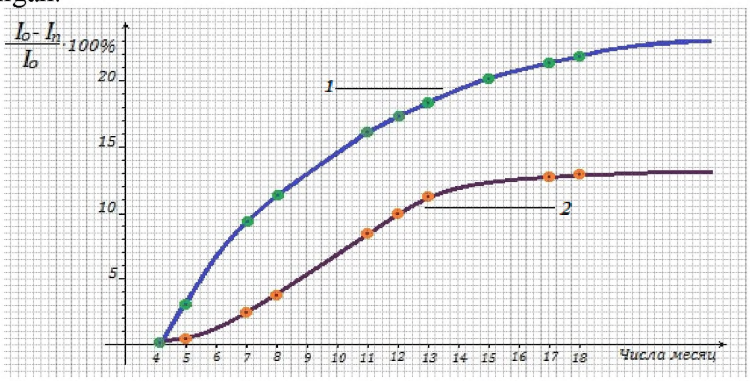
Tadqiqot metodologiyasi (Research Methodology). Ushbu tadqiqotda kun davomida fotoelektrik batareya sirtining ifloslanish darajasidagi o'zgarishlar o'rganildi. Tajriba ishlari Termiz shahri hududida ochiq maydonda amalga oshirildi. Ushbu joy tanlanishining sababi, hududda atmosfera ifloslanish darajasining yuqori bo'lishi bilan birga, chiqindi gazsimon moddalarning yirik sanoat manbalari mavjud emasligi, bu esa o'lchov natijalarining aniqligini ta'minlaydi. Toshkent shahri esa ushbu jihatdan teskari iqlim va ekologik sharoitga ega bo'lib, tajriba natijalarini solishtirish uchun muqobil maydon sifatida qaraladi [10]. Kun davomida atmosfera zarrachalari turli o'lcham diapazonida bo'lib, ular quyosh nurlanishi va shamol oqimlari ta'sirida doimiy harakatda bo'ladi, deb faraz qilindi. Shu bilan birga, zarrachalarning sirtga cho'kishi jarayoni, asosan, kechki va tungi soatlarda sodir bo'lishi ehtimoli yuqori deb taxmin qilindi. Mazkur taxminni eksperimental ravishda tekshirish maqsadida, kristalli kremniy asosidagi quyosh elementlaridan tayyorlangan ikkita bir xil quvvatli FEB tanlab olindi hamda ular ustida tajriba-sinov ishlari olib borildi (1-rasm).



1-rasm. Tajriba uchun tanlangan ikkita FEB: 1 – ochiq sirtli; 2 – yopiq sirtli.

Tajribalar davomida har bir modulning sirtidagi chang to'planish dinamikasi, kunning turli vaqtlarida ifloslanish darajasi va unga ta'sir etuvchi meteorologik omillar tahlil qilindi. Maksimal sirt ifloslanishini ta'minlash maqsadida fotoelektrik batareyalar (FEB) gorizontal holatda joylashtirildi. Tajriba davomida ikkita bir xil quvvatli FEB qo'llanildi. Ulardan biri (FEB-1) kun davomida yopiq sirt bilan saqlangan, ikkinchisi esa (FEB-2) butun vaqt davomida ochiq holda bo'lgan. FEB-1 moduli soat 20:00 dan boshlab quyosh chiqqunga qadar (soat 6:00 gacha) ochiq sirt bilan atmosfera ta'siriga qo'yildi. Har kuni, Quyosh zenit nuqtasiga yetgan vaqtda, har ikki modulning elektr parametrlarini aniqlash maqsadida o'lchov ishlari olib borildi. Bu vaqtda osmonning tiniq bo'lishi sababli, FEB sirtiga tushayotgan quyosh radiatsiyasi oqimi maksimal qiymatga erishadi va o'lchov natijalari orasidagi farq hamda xatoliklar minimal darajada bo'ladi.

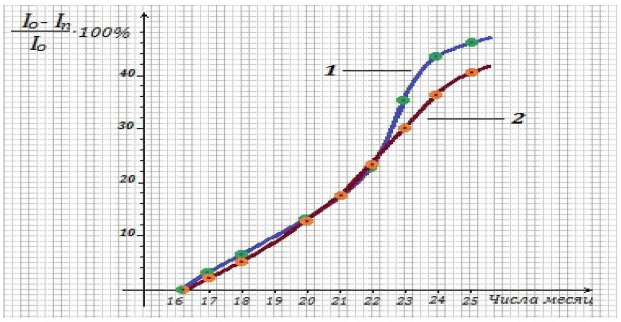
Tahlil va natijalar (Analysis and results). Tajriba-sinov ishlari 2025-yilning iyul–avgust oylarida amalga oshirildi. 2-rasmda fotoelektrik batareya sirtining ifloslanish darajasining kunlar soniga bog'liqligi grafik ko'rinishda keltirilgan.



2-rasm. FEB sirtining ifloslanish darajasining kunlar soniga bog'liqligi: 1 – ochiq sirtli FEB; 2 – tunda ochiq sirtli FEB.

Bundan tashqari, 8-iyuldan boshlab ikki grafikdagi farqning ortishi ham kuzatilmoqda, bu kecha va kunduzgi harorat o'rtasidagi farqning o'zgarishi (kamayishi) bilan izohlanadi. Tadqiqot davrida ochiq sirtli FEBlar uchun ifloslanish darajasi ~ 21%, faqat tunda ochiq sirtli FEB lar uchun esa ~ 14 ni tashkil qiladi.

3-rasmda 2025-yil avgust oyi uchun FEB sirtining ifloslanish darajasini o'rganish natijalari ko'rsatilgan



3-rasm. 2025-yil avgust oyida FEB sirtining ifloslanish darajasi:
1 – ochiq sirtli FEB; 2 – tunda ochiladigan FEB.

Mazkur bosqichda o‘lchovlar shamol tezligidagi o‘zgarishlar hisobga olinmagan holda amalga oshirildi. 22-avgust sanasigacha fotoelektrik batareyaning joylashuvining ikkita holati uchun sirt ifloslanish darajasidagi farq amalda bir xil qiymatlarda qayd etildi. Biroq 22-avgust oqshomidan boshlab Respublikaning janubiy hududlaridan esgan shamol tufayli shamol tezligi 1,5–1,7 baravar oshib, 10–11 m/sdan 17–19 m/sgacha yetdi. Janubiy shamol 22-avgust oqshomidan 23-avgust kechgacha davom etdi. Shamol tezligining bunday ortishi natijasida FEB sirtida to‘plangan chang miqdori bo‘yicha farq 4%gacha oshdi (3-rasmga qarang). Ob-havo parametrlarining keyingi o‘zgarishlari (prognoz ma’lumotlariga ko‘ra) inobatga olinganda, ushbu farqning kelgusi kunlarda 5–6%gacha ortishi taxmin qilinmoqda.

Xulosa va takliflar (Conclusion/Recommendations).O‘tkazilgan tadqiqotlar natijalariga ko‘ra, quyosh chiqishidan oldingi tungi soatlarda fotoelektrik batareyalarni yopiq holda saqlash ularning sirtida chang va boshqa ifloslantiruvchi zarralar to‘planishini sezilarli kamaytiradi. Shu bois kristalli kremniy asosidagi FEB modullari o‘rnatilgan stansiyalarda ifloslanishning energetik samaradorlikka salbiy ta’sirini kamaytirish uchun modullarni tungi vaqtlarda yopiq holda saqlash tavsiya etiladi.

Aniqlangan natijalar sirt ifloslanishining samaradorlikka ta’sirini yanada aniq baholash maqsadida shunga o‘xshash tadqiqotlarni O‘zbekistonning turli iqlim sharoitlarida o‘tkazish zarurligini ko‘rsatdi. Shuningdek, modullarni muntazam tozalash, ifloslanishga chidamli qoplamalar qo‘llash, optimal burchakda joylashtirish va avtomatik tozalash tizimlarini joriy etish quyosh energiyasi samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati (References):

[1]. Habr. “https://habr.com/ru/post/370605”.

[2]. М.Н.Турсунов, В.Г.Дыскин, И.А.Юлдашев. Критерий загрязнения поверхности стекла фотоэлектрической батареи. “Гелиотехника”, № 2, с. 82–84, 2015.

[3]. В.Г.Дыыскин, М.Н.Турсуунов, Э.Т.Абдуллаев. Мобильный измерительный зонд для мониторинга степени загрязнения стекла. “Проблемы энерго- и ресурсосбережения”, № 1–2, 2016.

[4]. U.B.Abdiyev, B.A.Yuldoshov, S.Q.Shoguchkarov, Sh.N.Abilfayziyev, and S.F.Toshpulatov. “Comparison of the level of dust on the surface of monocrystalline photoelectric batteries with flat and textured surfaces”. Problemy energo-i resursosberezheniya, № 3, pp. 166–174, 2023.

[5]. U.B.Abdiyev, Sh.N.Abilfayziyev, B.J.Saitnazarov, and H.M.Eshquvvatov. “Fotoelektrik batareya yuzasidagi changlanish darajasini taqqoslash”. Yangi materiallar va Geliotexnologiyalar, Parkent, Uzbekistan, May 15–16, 2023, pp. 24–26.

[6]. M.Mazumder, M.N.Horenstein, J.W.Stark, P.Girouard, R.Sumner, B.Henderson, O.Sadder, I.Hidet-aka, A.S.Biris, and R.Sharmaю “IEEE transactions on industry applications”. Vol. 49, № 4, pp. 1793–1800, 2013.

[7]. А.Фельтс. Аморфные и стеклообразные неорганические твёрдые тела. Москва, “Мир”, 1986,556 с.

[8]. Ф.Гременюк, М.С.Тиванов, В.Б.Залеский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. Альтернативная энергетика и экология, № 1(69), с. 59–123, 2009.

Xodjabekov Muradjon Usarovich (Samarkand davlat Arxitektura-qurilish universiteti professori v.b., Samarqand, O‘zbekiston; E-mail: uzedu@inbox.ru),
Otaqulov Azamat Abdurasul o‘g‘li (Samarqand davlat Arxitektura-qurilish universiteti mustaqil izlanuvchisi, Samarqand, O‘zbekiston; E-mail: azamatotaqulov.91@gmail.com)

GISTEREZIS TIPIDAGI ELASTIK DISSIPATIV XARAKTERISTIKALI PLASTINKANING ENERGIYA IFODALARINI ANIQLASH

Annotatsiya. *Ushbu ishda gisterezis tipidagi elastik dissipativ xarakteristikali o‘yiqga ega plastinkaning energiya ifodalarini aniqlash masalasi qaralgan. Bunda plastinka materialining dissipativlik xossalari Pisarenko-Boginich gipotezasiga asosan olingan. Kinetik va potensial energiyalar ifodalari analitik ko‘rinishda parametrlarga bog‘liq holda aniqlangan.*

Kalit so‘zlar: *o‘yiq plastinka, gisterezis, energiya, egilish, eguvchi va burovchi momentlar.*