

QUYOSH PANELLARINING ISHLASHIGA TA'SIR ETUVCHI EKOLOGIK OMILLAR VA ULARNI BARTARAF ETISH USULLARI

Tolipova Surayyo Baxodirovna

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti o'qituvchisi

Salaydinov Diyorbek Zayniddin o'g'li

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Energetika muhandisligi fakulteti talabasi

Qobulov Saidnazar Maxmud o'g'li

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Energetika muhandisligi fakulteti talabasi

Annotatsiya: Ushbu maqolada fotovoltaik (FV) panellarining energiya ishlab chiqarish samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy ekologik omillar kompleks tahlili va ularning salbiy oqibatlarini minimallashtirish usullari ko'rib chiqiladi. Atmosfera ifloslanishi, chang to'planishi, biologik o'sishlar (mikroorganizmlar, likenlar), yog'ingarchilik tarkibi, harorat o'zgarishi va namlik kabi ekologik omillar FV panellari yuzasida quyosh nurlarining o'tkazilishini kamaytiruvchi, issiqlik balansini o'zgartiradigan va panellarning yemirilishini tezlashtiradigan mexanizmlar orqali ularning ishlashiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Maqolada ekologik omillarning ta'sir darajasini miqdoriy baholash, shuningdek turli iqlim va geografik mintaqalar (cho'llar, sanoat zonalar, nam tropik hududlar) uchun xos muammolar tahsil qilinadi. Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, chang va ifloslanish qatlami FV panellarining samaradorligini 5-25% ga, biologik o'sishlar esa nam mintaqalarda 15-30% ga kamaytirishi mumkin. Bartaraf etish usullari sifatida avtomatik tozalash tizimlari, changga chidamli qoplamalar, gidrofil va gidrofob sirtlar, fotokatalitik materiallar, optimallashtirilgan o'rnatish burchaklari va joylashuvi, shuningdek profilaktik texnik xizmat ko'rsatish strategiyalari tahlil qilinadi. Natijalarga ko'ra, ekologik omillarni hisobga olgan holda ishlab chiqilgan integratsiyalashgan yondashuvlar FV tizimlarining energiya ishlab chiqarishini yiliga 8-20% ga oshirishi va ularning xizmat muddatini uzaytirishi mumkin.

Kalit so'zlar: Fotovoltaik panellar, ekologik omillar, chang to'planishi, atmosfera ifloslanishi, biologik o'sish, FV samaradorligi, avtomatik tozalash tizimlari, changga chidamli qoplamalar, energiya ishlab chiqarish pasayishi, panellarni texnik xizmat ko'rsatish.

Kirish

Quyosh energiyasidan foydalanish global energiya muammolarini barqaror va ekologik toza yechim sifatida tobora keng tarqalmoqda. Fotovoltaik (FV)

texnologiyalar quyosh nurlarini to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantirishning eng samarali usullaridan biri bo'lib, qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida asosiy o'rinni egallaydi. Biroq, FV panellarining ishlash samaradorligi va ularning xizmat muddati nafaqat texnik xususiyatlarga, balki ular o'rnatilgan muhtimining ekologik shart-sharoitlariga ham bevosita bog'liq. Panellar ishlash jarayonida doimiy ravishda turli ekologik omillar – iqlim, ob-havo, atrof-muhit ifloslanishi va biologik jarayonlar ta'siriga duchor bo'ladi, bu esa ularning energiya ishlab chiqarish qobiliyatini pasaytirishi mumkin.

Ekologik omillar quyosh panellarining ishlashiga ikki asosiy yo'l bilan ta'sir ko'rsatadi: birinchidan, panellarning sirtiga tushadigan quyosh nurlari miqdori va sifatini o'zgartirish orqali, ikkinchidan, panellarning fizik-kimyoviy tuzilishiga zarar yetkazish orqali. Yorug'likning o'tkazilishini kamaytiruvchi va sirt haroratini oshiruvchi omillar energiya konversiyasi samaradorligini sezilarli darajada pasaytirishi mumkin. Bunga quyosh radiatsiyasining turli komponentlarining atmosfera orqali o'tishidagi o'zgarishlar, atmosfera ifloslanishi, chang va ifloslantiruvchi moddalarning panellar yuzasida to'planishi, shuningdek biologik o'sishlar (liken, mog'or, mikroorganizmlar) sabab bo'ladi.

FV panellarining samaradorligiga ta'sir etuvchi eng muhim ekologik omillardan biri - atmosfera ifloslanishidir. Sanoat chiqindilari, avtomobil gazlari, qishloq xo'jaligi faoliyati natijasida havoga chiqadigan zarrachalar (PM2.5, PM10) va gazlar (NOx, SO2) quyosh nurlarining dispersiyasiga va yutilishiga olib keladi. Bundan tashqari, bu ifloslantiruvchi moddalar vaqti-vaqti bilan yomg'ir yoki tuman shaklida panellar yuzasiga tushib, qatlam hosil qiladi. Bu qatlam nafaqat yorug'likning o'tkazilishini kamaytiradi, balki panellar sirtining haroratini ham oshiradi, bu esa quyosh hujayralarining samaradorligini pasaytiradigan muhim omildir. Haroratning har bir 1°C oshishi odatda FV panellarining samaradorligini 0,3-0,5% ga kamaytiradi.

Tuproq va qum zarralarining shamol yordamida ko'chishi, ayniqsa cho'l va yarim cho'l mintaqalarida, chang to'planishining asosiy manbai hisoblanadi. Chang qatlami yorug'likni yutish va tarqatish orqali panellarning ishlashini pasaytiradi. Chang to'planishining darajasi mintaqaning iqlimi, shamol yo'nalishi va tezligi, yog'ingarchilik miqdori va chastotasi, shuningdek panellarning o'rnatish burchagi kabi omillarga bog'liq. Yog'ingarchilik changni yuvib tashlash uchun tabiiy tozalash vositasi bo'lishi mumkin, ammo yog'ingarchilik kam bo'lgan hududlarda chang to'planishi jiddiy muammoga aylanishi mumkin.

Biological omillar, xususan mikroorganizmlar (mog'or, bakteriyalar) va likenlarning panellar yuzasida o'sishi ham samaradorlikni kamaytiruvchi muhim omil hisoblanadi. Nam va iliq iqlim sharoitida bu biologik o'sishlar tez rivojlanib, panellar yuzasida yashil-qo'ng'ir rangli qatlam hosil qiladi. Bu qatlam nafaqat yorug'likni yutadi, balki namlikni ushlab turish orqali korroziyani tezlashtiradi va panellarning

mexanik shikastlanish xavfini oshiradi.

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi - quyosh panellarining ishlash samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy ekologik omillarni tizimli o'rganish, ularning ta'sir mexanizmlarini tahlil qilish va ushbu salbiy ta'sirlarni bartaraf etish yoki minimallashtirishning samarali usullarini taklif etishdir. Tadqiqotda quyidagi vazifalar hal qilinadi: ekologik omillarning FV panellari samaradorligiga ta'sirini miqdoriy baholash, turli mintaqaviy sharoitlarda ustun bo'lgan omillarni anislash, ekologik ta'sirlarni kamaytirishning muhandislik va texnologik yechimlarini tahlil qilish, shuningdek profilaktik chora-tadbirlar va panellarni tozalashning optimal strategiyalarini ishlab chiqish. Tadqiqot natijalari FV qurilmalarini loyihalash, o'rnatish va ekspluatatsiya qilishda ekologik omillarni hisobga olish zarurligini ilmiy asoslaydi va ularning uzun muddatli samaradorligini oshirish yo'llarini ko'rsatib beradi.

Asosiy qism

Quyosh panellarining ishlash samaradorligiga ta'sir etuvchi ekologik omillarning tizimli tahlili shuni ko'rsatadiki, bu omillar nafaqat panellar yuzasiga tushadigan yorug'lik miqdori va sifatini o'zgartiradi, balki ularning issiqlik boshqaruvi, mexanik mustahkamligi va kimyoviy barqarorligiga ham chuqur ta'sir ko'rsatadi. Ekologik ta'sirlarning miqdoriy baholashiga ko'ra, qo'pol ekologik sharoitlarda FV panellarining energiya ishlab chiqarishining yillik pasayishi 35% gacha yetishi mumkin, bu esa ularning iqtisodiy samaradorligini keskin kamaytiradi va investitsiyalarni qaytarilish muddatini uzaytiradi.

Atmosfera ifloslanishining FV panellariga ta'siri bir necha darajada namoyon bo'ladi. Birinchidan, havoda suzib yuruvchi zarrachalar (aerosollar) quyosh radiatsiyasini to'g'ridan-to'g'ri yutadi va tarqatadi, bu esa yer yuzasiga etib boradigan to'g'ridan-to'g'ri radiatsiya miqdorini kamaytiradi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, og'ir sanoat zonalarida yaqinidagi hududlarda to'g'ridan-to'g'ri quyosh radiatsiyasi miqdori 15-25% ga kamayishi mumkin, bu esa panellarning maksimal quvvat ishlab chiqarish qobiliyatiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Ikkinchidan, atmosfera ifloslanishining kimyoviy tarkibi panellar yuzasida qatlam hosil qilish xususiyatiga ega. Masalan, uglerod qoraqutilari (black carbon) panellar yuzasiga yopishib, yorug'likni yutish qobiliyati yuqori bo'lgan qora qatlam hosil qiladi, bu esa nafaqat yorug'likning o'tkazilishini kamaytiradi, balki sirt haroratini 8-12°C ga oshirib, quyosh hujayralarining samaradorligini pasaytiradi. Uchinchidan, kislotali yomg'ir va shudring (SO₂, NO_x birikmalari) panellar sirtidagi qo'shimcha qatlamlarning kimyoviy tarkibini o'zgartirib, ularning yorug'lik o'tkazuvchanligini kamaytiradi va korroziyani tezlashtiradi.

Chang to'planishi muammosi ayniqsa qurg'oqchil va yarim qurg'oqchil mintaqalarda jiddiy xavf tug'diradi. Chang zarralarining o'lchami, shakli va optik xossalari ularning panellar yuzasiga ta'sir mexanizmini belgilaydi. 10-50 mikrometrli

chang zarralari yorug'likning asosiy qismini so'rib yuboradi, 1-10 mikrometrli zarralar esa uni tarqatadi. Tizimli kuzatuvlar shuni ko'rsatadiki, yog'ingarchilik kam bo'lgan hududlarda oyiga to'plangan chang qatlami panellarning yorug'lik o'tkazuvchanligini 25-40% ga kamaytirishi mumkin. Qum bo'ronlari bo'lgan kunlarda bu pasayish bir kun ichida 70-80% gacha yetishi mumkin. Chang to'planishining tezligi shamol yo'nalishi va tezligi, namlik, panellarning o'rnatish burchagi va sirt xususiyatlariga bog'liq. Gorizontall o'rnatilgan panellarda chang to'planish tezligi vertikal panellarnikiga qaraganda 2-3 baravar yuqori bo'ladi, chunki gorizontall sirt zarralarning cho'kish va to'planishiga qulay sharoit yaratadi.

Biologik o'sishlar, xususan mikroorganizmlar, likenlar, moxlar va suvo'tlarining rivojlanishi nam iqlim sharoitidagi FV panellari uchun eng murakkab muammolardan biridir. Biologik qatlam nafaqat yorug'likni to'g'ridan-to'g'ri yutadi va tarqatadi, balki quyosh panellarining sirt hidrofobik xususiyatlarini yo'qotadi, bu esa suv tomchilarining yopishib qolishiga olib keladi va yorug'likning tarqalishini yanada kuchaytiradi. Mikroorganizmlarning metabolik faolligi panellar yuzasida organik kislotalar va boshqa kimyoviy birikmalar ishlab chiqarishi mumkin, bu esa yorug'lik o'tkazuvchan qatlamlarni kimyoviy yo'l bilan shikastlaydi va ularning optik xususiyatlarini o'zgartiradi. Tropik mintaqalarda biologik o'sishlar tufayli energiya ishlab chiqarishning yillik pasayishi 18-30% ni tashkil qilishi mumkin. Bundan tashqari, biologik qatlam panellar sirtini doimiy nam saqlab turadi, bu esa metall kontaktlarning korroziyasini tezlashtiradi va elektr izolyatsiyasining buzilishiga olib kelishi mumkin.

Yog'ingarchilikning tabiati va tarkibi ham FV panellarining ishlashiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. "Qora yomg'ir" deb ataladigan, ifloslantiruvchi moddalar bilan to'yingan yomg'ir panellar yuzasida qiyin olib tashlanadigan loyqa qatlam qoldiradi. Qor esa nafaqat panellarni qoplab qo'yadi, balki erish jarayonida muz osti hosil bo'lishiga olib kelishi mumkin, bu esa panellarning strukturasi uchun mexanik stress yaratadi. Harorat ekstremallari - juda yuqori yoki juda past haroratlar - quyosh hujayralarining o'ziga xos samaradorligiga ta'sir ko'rsatadi, chunki haroratning har bir daraja o'zgarishi quyosh hujayralarining samaradorligini 0,3-0,5% o'zgartiradi.

Ekologik omillarni bartaraf etish va ularning ta'sirini minimallashtirish uchun bir qator innovatsion yondashuvlar ishlab chiqilgan. Avtomatik tozalash tizimlari eng samarali yechimlardan biri hisoblanadi. Ularning ishlash prinsipi panellar yuzasini vaqtida tozalash orqali yorug'lik o'tkazuvchanligini optimal darajada saqlashga asoslangan. Zamonaviy avtomatik tozalash tizimlari robotlashtirilgan tozalash qurilmalari, pnevmotik va gidravlik tizimlar, shuningdek ultraovuch tozalash texnologiyalarini o'z ichiga oladi. Robotlashtirilgan tozalash qurilmalari dasturiy ta'minot bilan boshqarilib, panellar yuzasini chang miqdoriga qarab tozalash chastotasini sozlash imkonini beradi.

Changga chidamli va o'zini tozalaydigan qoplamalar so'nggi yillarda keng qo'llanila boshlagan. Bu qoplamalar gidrofob (suvni o'tkazmaydigan) yoki gidrofil (suvni yaxshi singdiradigan) xususiyatga ega bo'lib, ular chang zarralarining panellar yuzasiga yopishish qobiliyatini kamaytiradi yoki yomg'ir paytida suv oqimi bilan zarralarni oson olib tashlash imkonini beradi. Fotokatalitik qoplamalar esa quyosh nurlari ta'sirida ifloslanishni parchalaydigan materiallardan tayyorlanadi, bu esa biologik o'sishlarning oldini olishga yordam beradi.

Panellarni o'rnatish parametrlarini optimallashtirish ham ekologik ta'sirlarni kamaytirishning muhim usuli hisoblanadi. Panellarning optimal burchagi nafaqat maksimal quyosh nurlarini qabul qilish, balki tabiiy tozalanish (yomg'ir va shamol ta'siri) uchun ham hisobga olinishi kerak. Eksperimental tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, 15-20° burchak ostida o'rnatilgan panellarda chang to'planish tezligi gorizontall panellarnikiga qaraganda 40-50% kam bo'ladi, chunki bu burchak shamol va yog'ingarchilik ta'sirini samaraliroq keltirib chiqaradi.

Profilaktik texnik xizmat ko'rsatish strategiyalarini ishlab chiqish FV tizimlarning uzun muddatli samaradorligini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Bunga muntazam monitoring, chang to'planish darajasini nazorat qilish, biologik o'sishlarni erta aniqlash va vaqtida choralar ko'rish kiradi. Zamonaviy monitoring tizimlari masofadan turib panellarning ifloslanish darajasini aniqlash imkonini beradigan optik sensorlar va dron texnologiyalaridan foydalanadi.

Ekologik omillarni hisobga olgan holda FV panellarini loyihalashda yangi yondashuvlar paydo bo'lmokda. Bunga chang va ifloslanishga chidamli yorug'lik o'tkazuvchan qatlamlar, yaxshilangan issiqlik boshqaruvi tizimlari va modulli dizayn kiradi, bu esa tozalash va texnik xizmat ko'rsatishni osonlashtiradi. O'z-o'zini tozalaydigan va energiya ishlab chiqarishni optimallashtiradigan "aqli panellar" konsepsiyasi rivojlanmoqda, ular real vaqt rejimida o'z holatini baholaydi va zarurat tug'ilganda tozalanish jarayonini boshlaydi.

Iqlim o'zgarishi ekologik omillarning ta'sir dinamikasini o'zgartirishi kutilmoqda. Haroratning oshishi, qurg'oqchil davrlarning uzayishi va chang bo'ronlarining ko'payishi ba'zi mintaqalarda FV panellariga ekologik ta'sirni kuchaytirishi mumkin. Shu sababli, FV tizimlarni loyihalashda iqlim o'zgarishining uzoq muddatli prognozlarini hisobga olish muhim ahamiyat kasb etadi.

Xulosa

Quyosh fotovoltaik (FV) panellarining samaradorligi va ishlash muddatiga turli ekologik omillarning ta'siri chuqur o'rganilgan holda, ularning energiya ishlab chiqarish ko'rsatkichlariga jiddiy salbiy ta'siri aniqlandi. Atmosfera ifloslanishi, chang to'planishi, biologik o'sishlar, yog'ingarchilikning tabiati va harorat ekstremallari kabi omillar FV panellarining yorug'lik o'tkazuvchanligini kamaytirish, issiqlik balansini buzish va ularning yemirilishini tezlashtirish orqali samaradorlikni pasaytiradi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, ekologik jihatdan noqulay sharoitlarda (masalan, qurg'oqchil mintaqalar, sanoat zonalar, nam tropik hududlar) FV panellarining energiya ishlab chiqarishining yillik yo'qotishlari 35% gacha yetishi mumkin, bu esa ularning iqtisodiy samaradorligiga jiddiy zarba beradi.

Atmosfera ifloslanishi, ayniqsa uglerod qoraqutilari va og'ir metallar bilan bog'liq aerosollar, nafaqat quyosh radiatsiyasining yer yuzasiga etib borish miqdorini kamaytiradi, balki panellar yuzasida yorug'likni yutuvchi qatlamlar hosil qiladi. Chang to'planishi esa shamol va yog'ingarchilik rejimiga bog'liq holda panellarning yorug'lik o'tkazuvchanligini 25-40% ga kamaytirishi mumkin, ayniqsa qum bo'ronlari paytida bu ko'rsatkich bir kun ichida 70-80% ga tushishi mumkin. Biologik o'sishlar (mikroorganizmlar, likenlar) nam mintaqalarda asosiy muammo bo'lib, ular nafaqat yorug'lik o'tkazuvchanligini kamaytiradi, balki panellar sirtida namlikni saqlab, korroziyani tezlashtiradi.

Ekologik omillarning salbiy ta'sirini minimallashtirish uchun bir qator samarali usullar va texnologiyalar ishlab chiqilgan. Avtomatik tozalash tizimlari, xususan robotlashtirilgan tozalash qurilmalari va pnevmogidravlik tizimlar, panellarni muntazam tozalash orqali ularning yorug'lik o'tkazuvchanligini optimal darajada saqlash imkonini beradi. Changga chidamli va o'z-o'zini tozalaydigan qoplamalar (gidrofob, gidrofil va fotokatalitik qoplamalar) esa chang zarralarining panellar yuzasiga yopishishini kamaytirish yoki yomg'ir paytida ularni tabiiy ravishda tozalash mexanizmini ta'minlaydi.

FV panellarini o'rnatish parametrlarini optimallashtirish - burchak, yo'nalish va joylashtirish balandligi - ham ekologik ta'sirlarni kamaytirishda muhim ahamiyatga ega. Optimal burchak ostida o'rnatilgan panellarda chang to'planish tezligi sezilarli darajada kamayadi, chunki bu shamol va yog'ingarchilikning tabiiy tozalash ta'sirini oshiradi. Profilaktik texnik xizmat ko'rsatish strategiyalarini ishlab chiqish, jumladan, muntazam monitoring va erta aniqlash tizimlari, muammolarni ular yuzaga kelishidan oldin bartaraf etishga imkon beradi.

Kelajakdagi istiqbollarga ko'ra, FV panellarini loyihalashda ekologik omillarni hisobga olgan holda yangi yondashuvlar rivojlanmoqda. "Aqlli panellar" konsepsiyasi real vaqt rejimida o'z holatini baholaydigan va zarurat tug'ilganda tozalanish jarayonini boshlaydigan integratsiyalashgan tizimlarni o'z ichiga oladi. Bundan tashqari, iqlim o'zgarishi prognozlarini hisobga olgan holda, ekstremal harorat, qurg'oqchilik va chang bo'ronlarining ko'payishi kabi omillarga chidamli panellar ishlab chiqilmoqda.

Xulosa qilib aytish mumkinki, quyosh panellarining ishlash samaradorligini oshirish va ularning xizmat muddatini uzaytirish uchun ekologik omillarni kompleks hisobga olgan holda integratsiyalashgan yondashuv talab qilinadi. Ushbu yondashuvda ilg'or tozalash texnologiyalari, innovatsion materiallar, optimallashtirilgan loyihalash va muntazam profilaktika o'zaro uyg'unlashtirilishi kerak. Tadqiqotlar shuni

ko'rsatadiki, bunday kompleks yondashuv FV tizimlarning energiya ishlab chiqarishini 15-25% ga oshirishi va ularning xizmat muddatini 5-8 yilga uzaytirishi mumkin. Bu esa nafaqat quyosh energetikasining iqtisodiy samaradorligi va barqarorligini oshiradi, balki qayta tiklanuvchi energiya manbalarining global energiya balansidagi ulushini oshirishga ham hissa qo'shadi. Ekologik omillarni samarali boshqarish orqali quyosh energetikasining barqaror rivojlanishi va uglerod neytralligi maqsadlariga erishish imkoniyatlari sezilarli darajada kengayadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. **Avezov B.B., Xoliyev S.S.** (2022). *Fotovoltaik panellarning ishlash samaradorligiga iqlim omillarining ta'siri*. O'zbekiston energetikasi jurnali, 4(2), 45-53. Toshkent.
2. **Abdullayev I.R., Karimov M.A.** (2021). *Quyosh panellarida chang to'planishining energiya ishlab chiqarishga ta'sirini matematik modellash*. Universum: Texnika fanlari, 6(87), 45-49.
3. **Saidov J.S., Raximov A.A.** (2023). *O'zbekiston sharoitida quyosh panellarining ifloslanish darajasini baholash*. Energetika va atrof-muhit, 1(5), 78-85.
4. **Sulaymonov B.X., Tursunov O.O.** (2020). *Fotovoltaik qurilmalarni ekologik omillardan himoyalash texnologiyalari*. Fan va texnika yangiliklari, 3(12), 34-41.
5. **Mansurov Z.A., Ismatov I.I.** (2022). *Qurg'oqchil mintaqalarda quyosh panellarini avtomatik tozalash tizimlarini loyihalash*. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari, 2(4), 56-63.
6. **Sarimsakov M.M., Abduraxmanov K.T.** (2021). *Fotovoltaik panellarning sirt xususiyatlarini takomillashtirish orqali changga chidamliligini oshirish*. Kimyo va energetika muammolari, 7(3), 89-95.
7. **Gujar, M. G., & Ghosh, A.** (2020). *Impact of Dust and Atmospheric Pollutants on PV Performance in Arid Regions*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 215, 110678.
8. **Maghami, M. R., & Gomes, C.** (2021). *Self-cleaning Coatings for Solar Panels: Mechanisms and Applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 149, 111396.
9. **International Energy Agency (IEA).** (2022). *Photovoltaic System Performance: Environmental Factors and Mitigation Strategies*. IEA PVPS Task 13 Report.
10. **Siddiqui, M. U., & Arif, A. F. M.** (2023). *Advanced Monitoring Systems for PV Panel Soiling Detection*. IEEE Journal of Photovoltaics, 13(2), 234-245.