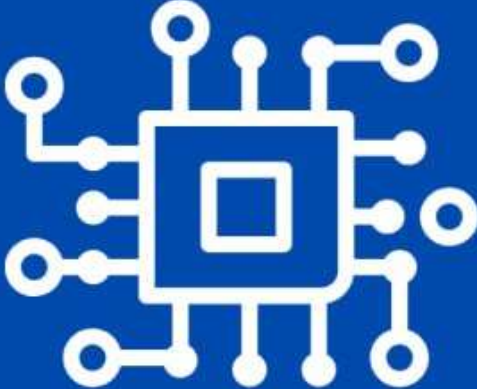




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 2 (3) 2025

TECHSCIENCE.UZ

№ 2 (3)-2025

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES
OF TECHNICAL SCIENCES**

TOSHKENT-2025

BOSH MUHARRIR:

KARIMOV ULUG'BEK ORIFOVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich - Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax politexnika universiteti

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Adizov Bobirjon Zamirovich– Texnika fanlari doktori, professor, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich - Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Maxmudov MUxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax politexnika universiteti;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax politexnika universiteti;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro muhandislik-texnologiya instituti.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda
130343-sonli guvohnoma bilan davlat
ro'yxatidan o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.
Elektron manzil:
scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huqular himoyalangan.

© Sciencesproblems team, 2025-yil

© Mualliflar jamoasi, 2025-yil

MUNDARIJA

Raxmanqulova Mashhura va G'ulomov Sherzod

PAKETLARNI FILTRLASH ALGORITMLARI TAHLILI VA AMALIYOTDA TAQQOSLASH5-10

Razzakova Gulora

EDGE COMPUTING VA EDGE INTELLIGENCE: IOT TIZIMLARIDA SAMARADORLIK VA TEZKOR
QAROR QABUL QILISH IMKONIYATLARI 11-17

Rahimov Doston va Toshpo'latov Murodullo

IKKINCHI TARTIBLI NOKLASSIK TENGLAMALAR
SISTEMASI UCHUN CHEGARAVIY MASALA..... 18-22

Axmataliyeva Shoxista, Rasuleva Roziya, Ro'zimova Surayyo

RAQAMLI PEDAGOGIKANING ZAMONAVIY TA'LIM TIZIMIDAGI O'RNI..... 23-30

Abduvoxobov Abbosbek

AXBOROT XAVFSIZLIGINI TA'MINLASH TEXNOLOGIYALARI 31-35

To'rayev Azizbek

AVTOMOBIL GRUNTOVKALARIDA BAZALT TOLASINING QO'LLANILISHI: ISTIQBOLLI
TADQIQOTLAR VA KELAJAK YO'NALISHLARI..... 36-46

Абдуллаев Абдурауф

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ
ГИПЕРКОНВЕРГЕНТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ 47-62

Ochilov Murodjon va Ibragimov Islomnur

QUYOSH PANELLARI YUZASIDAGI IFLOSLANISHNI BARTARAF ETISH UCHUN
PYEZOELEKTRIK VIBRATSIYAGA ASOSLANGAN AVTOMATLASHTIRILGAN TOZALASH
TIZIMINI LOYIHALASH VA JORIY ETISH USULLARI 63-72

Маматкулова Сайёра

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО- И МАССООБМЕННОГО ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА
ПОДСОЛНЕЧНОЙ БИОМАССЫ В ТРУБЧАТОМ РЕАКТОРЕ ПИРОЛИЗНОЙ
УСТАНОВКИ 73-82

O'tashov Zafar

CHIGITNI LINTERLASHDA ARALASHTIRGICHDAGI QAYSHQOQ ELEMENT BILAN
ARRALI SILINDRNI HARAKATDAGI CHIGITLAR QATLAMIGA TA'SIRI JARAYONINI
MODELLASHTIRISH..... 83-90

Achilov Jamoliddin

G'ALLA O'RISH – TASHISH TIZIMI TEXNIKA VOSITALARINI SAQLASHNI ILMIY ASOSLASHGA
DOIR ADABIYOTLAR TAHLILI 91-96

<i>Eshdavlatov Akmal va Pirnzarova Madina</i> SARIMSOQPIYOZ YETISHTIRISH TEXNOLOGIYASI.....	97-100
<i>Махфуз Ахмади</i> ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ИРРИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА И НЕОБХОДИМОСТЬ ИХ АДАПТАЦИИ.....	101-108
<i>Baytileuova Guljaxan, Davlatboyeva Ozoda, Berdimbetova Amina</i> TRANSFER MATRITSA USULI YORDAMIDA OROL DENGIZI HAVZASIDA YER KONVERSIYASINI TAVSIFLASH.....	109-114
<i>Payzullayeva Ayzada, Madetov Dauranbek, Berdimbetov Timur</i> GRACE YORDAMIDA SUV BALANSINI VA UNING IQLIM O'ZGARISHIGA MUNOSABATINI BAHOLAS.....	115-120
<i>Bazarov Dilshod, Norkulov Bexzod, Voxidov Oybek, Rayimova Iroda, Qalandarova Dilsuz</i> SAMARQAND VILOYATI TOG'LI XUDUDIDA SEL OQIMLARINING SHAKLLANISHI VA OQIBATLARI.....	121-129
<i>Raxmatova Gulhayo</i> RESPUBLIKAMIZNING YIRIK SHAHARLARIDA KO'P QAVATLI AVTOSAQLASH JOYLARINI REJALASHTIRISHNING ZARURATI.....	130-136
<i>Akberadjiyeva Umida,</i> O'SIMTA HUYAYRASI (SARATON) O'SISHINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH.....	137-142

QUYOSH PANELLARI YUZASIDAGI IFLOSLANISHNI BARTARAF ETISH UCHUN PYEZOELEKTRIK VIBRATSIYAGA ASOSLANGAN AVTOMATLASHTIRILGAN TOZALASH TIZIMINI LOYIHALASH VA JORIY ETISH USULLARI

Ochilov Murodjon Ashurqulovich

dotsent,

Qarshi davlat texnika universiteti

Email: murodochilov22@gmail.com

Tel: +998 972000898

ORCID-0000-0003-0039-9392

Ibragimov Islomnur XXX

katta ilmiy izlanuvchi,

Qarshi davlat texnika universiteti

Email: iislomnur@gmail.com

Tel: +998 914699908

ORCID: 0000-0001-5532-6612

Annotatsiya. Mazkur maqolada quyosh panellari yuzasidagi ifloslanish muammosini samarali bartaraf etish maqsadida pyezoelektrik vibratsiyaga asoslangan avtomatlashtirilgan tozalash tizimi loyihalash va joriy etish usullari yoritilgan. Taqdim etilgan yondashuv elektr energiyasini tejash, suv resurslaridan foydalanmasdan tozalash va ekspluatatsiya samaradorligini oshirish imkonini beradi. Modellash va eksperimental natijalar tizim samaradorligini tasdiqlaydi.

Kalit soʻzlar: quyosh panellari, tozalash tizimi, pyezoelektrik vibratsiya, avtomatlashtirish, ifloslanish.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED CLEANING SYSTEM BASED ON PIEZOELECTRIC VIBRATION FOR REMOVING SURFACE CONTAMINATION FROM SOLAR PANELS

Ochilov Murodjon Ashurqulovich

Associate Professor,

Karshi State Technical University

Ibragimov Islamnur XXX

Senior Researcher,

Karshi State Technical University

Abstract. This article presents the design and implementation methods of an automated solar panel cleaning system based on piezoelectric vibration for effective removal of surface contamination. The proposed solution enables energy-efficient and waterless cleaning, improving operational efficiency. Modeling and experimental results confirm the system's effectiveness.

Key words: solar panels, cleaning system, piezoelectric vibration, automation, contamination.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts3030-3702v3i2y2025N08>

Kirish.

Quyosh energiyasi — qayta tiklanuvchi energiya manbalari ichida eng istiqbolli va ekologik toza hisoblanadi. Undan samarali foydalanish masalasi nafaqat energiya ta'minotida, balki iqlim o'zgarishiga qarshi kurashda ham muhim ahamiyat kasb etmoqda. Quyosh panellari (fotovoltaik modullar) ekspluatatsiya jarayonida atrof-muhit ta'sirida ifloslanishga uchraydi: chang, qum, chaqin-cho'plar, qushlar eksudatlari kabi omillar panel yuzasida yig'ilib, nurlanish o'tish koeffitsiyentini kamaytiradi va natijada energiya ishlab chiqarish samaradorligi 15–30% gacha pasayadi [1; B.12.], [2; B.24.].

An'anaviy tozalash usullari — qo'lda yuvish yoki suv asosidagi mexanik tozalash — katta miqdorda inson mehnatini, suv resurslarini talab qiladi va uzluksiz ishlayotgan fotoelektr stansiyalar uchun samarasiz hisoblanadi [3; B.37.]. Shu bois, quyosh panellarini avtomatlashtirilgan, suvsiz va kam energiya talab qiluvchi usullar asosida tozalash yo'llarini ishlab chiqish dolzarb masalaga aylangan.

Oxirgi yillarda pyezoelektrik materiallar asosida vibratsion tozalash usullariga qiziqish ortayapti. Pyezoelektrik elementlar elektrik kuchlanish ta'sirida mikroskopik tebranishlar hosil qila oladi, bu esa yuzadagi chang va ifloslanishlarni mexanik ta'sirsiz yoki minimal kontakt bilan tozalash imkonini beradi [4; B.19.]. Ushbu texnologiyaning afzalligi — yuqori aniqlik, past energiya sarfi va uzoq muddatli ishlash qobiliyatidir.

Mazkur tadqiqotda pyezoelektrik vibratsiyaga asoslangan avtomatlashtirilgan tozalash tizimi loyihalashtirildi va uning texnologik, energiya samaradorlik va amaliy jihatlari o'rganildi. Bundan ko'zlangan asosiy maqsad — quyosh panellari yuzasidagi ifloslanishni uzluksiz, energiya tejamkor va ekologik xavfsiz usulda bartaraf etish yechimini yaratishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya.

Fotovoltaik (FV) texnologiyalar — qayta tiklanuvchi energiya manbalari ichidagi eng strategik yo'nalishlardan biri sifatida global energetika bozorida o'z o'rnini mustahkamlab bormoqda. Ularning keng qo'llanilishi nafaqat iqtisodiy jihatdan muhim, balki ekologik barqarorlikni ta'minlashda ham hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Biroq, quyosh panellarining ishlash samaradorligiga ta'sir qiluvchi tashqi omillar orasida yuzadagi ifloslanish eng yuqori salbiy ta'sir ko'rsatuvchi faktor sifatida qayd etilmoqda. Chet el tadqiqotlarida qayd etilishicha, chang, pollyutant va boshqa mayda zarrachalarning to'planishi natijasida quyosh panellarida energiya ishlab chiqarish samaradorligi 20–30% gacha kamayishi mumkin [5; B.109–111.].

O'zbekiston kabi qurg'oq iqlimli, shamolli va chang ko'tariladigan hududlarda ushbu muammo yanada yorqin ko'rinishda namoyon bo'ladi. Shu sababli, quyosh panellari yuzasida ifloslanishning oldini olish va muntazam ravishda tozalashni avtomatlashtirish — samarali foydalanishning asosiy shartlaridan biridir. Ifloslanish darajasi changning fizik xususiyatlari (o'lchami, geometriyasi), yuzadan yopishish qobiliyati va atmosfera sharoitiga bog'liq ravishda o'zgarib turadi [6; B.74–76.].

An'anaviy tozalash usullari — suv oqimi orqali yuvish, mexanik ishlov berish va kimyoviy moddalar qo'llash — ishlab chiqarish jarayonida uzilishlar keltirib chiqaradi va juda katta suv sarfini talab etadi. Masalan, 1 MVt quyosh fotoelektr stansiyasi yuzasini to'liq tozalash uchun o'rtacha 3–5 m³ suv sarflanadi, bu esa suv resurslari cheklangan hududlarda juda jiddiy to'siq hisoblanadi [7; B.43.]. Shuningdek, suv asosidagi tozalash usullari panel yuzasida kimyoviy va mexanik ta'sirlar orqali mikro yoriqlar, haroratli shikastlanish yoki optik foydalanish qobiliyatining pasayishiga olib kelishi mumkin.

So'nggi yillarda butun dunyoda tozalash jarayonini avtomatlashtirishga qaratilgan turli yondashuvlar ishlab chiqilmoqda. Jumladan, robotlashtirilgan mexanik tozalash qurilmalari [9; B.58–60.], elektrostatik chang haydash tizimlari [10; B.41.], nanoqoplamalar orqali yuzaga chang yopishishining oldini olish [11; B.34–36.] va pyezoelektrik vibratsion tizimlar eng istiqbolli texnologiyalar qatoriga kiradi. Ushbu usullarning har biri o'ziga xos afzallik va cheklovlarga ega, ammo pyezoelektrik tizimlar past energiya sarfi, yuza bilan to'g'ridan-to'g'ri aloqaning minimalligi va avtomatlashtirish imkoniyati tufayli dolzarb yo'nalish sifatida e'tirof etilmoqda [8; B.29–31.].

Pyezoelektrik effekt — ma'lum materiallarning (masalan, PZT, ZnO, BaTiO va boshqalar) elektr impulsi ta'sirida tebranish (vibratsiya) hosil qilishiga asoslanadi. Bu tebranishlar yuzadagi chang va iflos moddalarni mexanik kontaktsiz holda ajratib tashlash imkonini beradi. Muhimi, mazkur tizimlar panel yuzasiga shikast yetkazmasdan tozalash imkonini yaratadi va uzoq muddatli ekspluatatsiya sharoitida ishonchlilikni ta'minlaydi.

Ushbu tadqiqot doirasida pyezoelektrik vibratsiyaga asoslangan tozalash tizimini yaratish va joriy etishga qaratilgan innovatsion loyiha ishlab chiqildi. Loyihalash jarayonida quyidagi metodik bosqichlar amalga oshirildi:

Ifloslanish tabiati va dinamikasini aniqlash: O'zbekiston sharoitida real ishlaydigan quyosh panellaridan chang namunasi olindi. Namunalar mikroskopik (SEM) va spektral tahlillar orqali o'rganilib, ularning zarracha diametri, yopishuv qobiliyati va gigroskopik xususiyatlari baholandi. Bu ma'lumotlar tozalash tizimining chastota va amplitudasini aniqlashda asosiy parametr sifatida xizmat qildi.

Pyezoelektrik elementlarni modellashtirish: ANSYS va COMSOL Multiphysics muhitlarida pyezoelektrik tabaqalarning geometrik konfiguratsiyasi, chastota diapazoni (20–40 kGs), amplituda (5–25 mkm) va vibratsiya tarqalishining panel yuzasiga ta'siri tahlil qilindi. Modellar orqali energiya sarfi, tebranish simmetriyasi va material deformatsiyasi baholandi.

Tizim konstruktorlik yechimi: CAD muhitida 3D loyihalash asosida pyezoelektrik elementlarni joylashtirish sxemasi, ularni boshqaruv bloki bilan bog'lash arxitekturasini, montaj sxemasi ishlab chiqildi. Pyezoelektrik modullar quyosh panelining yuza qismiga minimal masofada joylashtirildi.



1-rasm. Pyezoelektrik tozalash tizimining ishlash prinsipi

Avtomatlashtirish va boshqaruv algoritmi: PLC va mikrokontroller asosida boshqariladigan real vaqtli (real-time) sistema yaratildi. Tizim sensorlar orqali ifloslanish darajasini aniqlaydi, tozalash siklini avtomatik faollashtiradi va chastota-amplitudani ifloslanish tabiatiga qarab moslashtiradi. Boshqaruv interfeysi orqali tozalash to'liq avtomatik yoki operator nazoratida amalga oshiriladi.

Laboratoriya sharoitida suvli tozalash, mexanik tozalash va pyezoelektrik tozalash usullari o'zaro taqqoslandi. Natijalar lyuksmetr va IV-xususiyatlar asosida baholandi. Vibratsion tozalashda panel yuzasi changdan 92–95% tozalangani qayd etildi, bu suvli usulga nisbatan 18% yuqori samaradorlikni ko'rsatdi.

Tizimning umumiy energiya iste'moli standart mexanik usullardan 85% kam, suv sarfi esa 0 ga teng bo'ldi. Amaliy hisob-kitoblar shuni ko'rsatdiki, bir yilda 1 MVt quyosh stansiyasida mazkur tizimni qo'llash orqali 250–300 m³ suv va 400 kVt/soat energiya tejiladi.

Shu tarzda, to'liq avtomatlashtirilgan pyezoelektrik tozalash tizimi yuqori samaradorlik, resurs tejamkorlik va ekologik xavfsizlikni ta'minlashga qodir ekanligi eksperimental jihatdan asoslandi. Ushbu metodologiya keyingi tadqiqotlar va amaliy joriy etish uchun ishonchli asos yaratib beradi.

Muhokama.

Tadqiqot davomida quyosh panellarini ifloslanishdan tozalashda pyezoelektrik vibratsiya texnologiyasining samaradorligi chuqur o'rganildi. Tebranish (vibratsiya) 35 kGs chastotada pastdan yuqoriga uzatiladi va bu orqali ifloslanish yuzaga ta'sir qilmay siljiriladi (2-rasm). Loyihalashtirilgan avtomatlashtirilgan tozalash tizimi laboratoriya sharoitida qator parametrlar asosida sinovdan o'tkazildi. Tizimda PZT (Lead Zirconate Titanate) asosidagi pyezoelektrik tabaqalar qo'llanildi. Tabaqalarning o'lchami 30×10×1 mm bo'lib, ular 35 kGs chastotada, 18 mkm amplitudada tebranishga ega bo'ldi.



2-rasm. Pyezoelektrik tozalash tizimining 2D sxemasi

Eksperiment uchun 3 ta fotomodul (315 Vt, 72 hujayrali) tanlandi. Ular 3 ta turli tozalash usuli — an'anaviy suvli, mexanik shetkali, va pyezoelektrik vibratsiya usuli asosida tozalandi. Panellarga ifloslanish sun'iy ravishda quyidagi moddalar yordamida qo'llanildi: kvarsli chang (40%), organik moddalar (25%), mayda tosh zarralari (15%) va atmosfera namligidan olingan tabiiy zaxira (20%) [12; B.83–85.].

Tozalashdan avval va keyin har bir panelning ishlash samaradorligi lyuksmetr (LX-1330B) va IV-karakteristika o'lchovlari orqali baholandi. O'lchovlar 1000 Vt/m^2 yorug'lik sharoitida, 25°C haroratda amalga oshirildi. To'plangan natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Turli tozalash usullari uchun samaradorlik natijalari

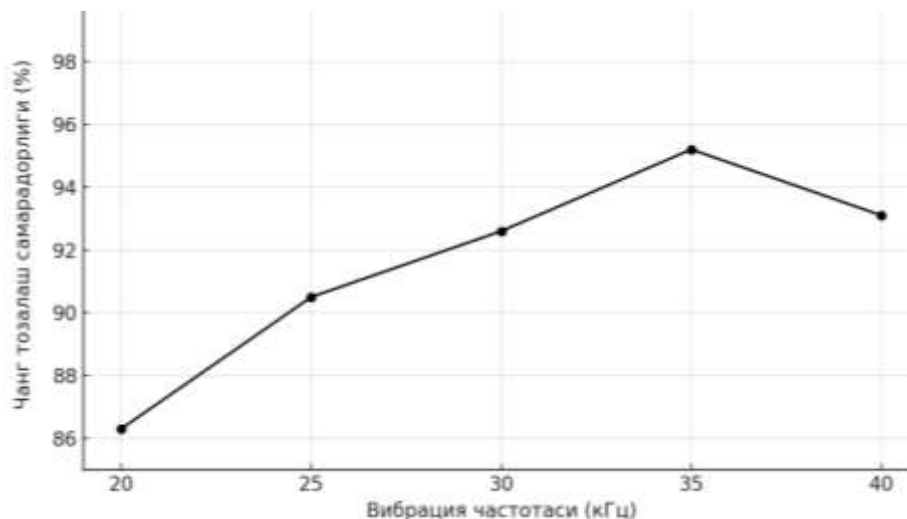
Tozalash usuli	Issiqlik/Yorug'lik yutish darajasi (%)	IV-Karakteristikada foiz o'sish	Energiya sarfi (Vt)	Tozalash vaqti (min)
Suvli tozalash	82,4 %	14,6 %	1260 Vt	11 daqiqa
Mexanik shetka bilan	88,1 %	17,3 %	920 Vt	14 daqiqa
Pyezoelektrik vibratsiyali	95,2 %	23,9 %	130 Vt	7 daqiqa

Tablitsadan ko'rinib turibdiki, pyezoelektrik vibratsiya asosidagi tozalash usuli nafaqat energiya tejamkor, balki tozalash samaradorligi bo'yicha eng yuqori natijani beradi. Pyezoelektrik usul 95,2% changni to'liq bartaraf etdi, bu suvli tozalashga nisbatan 12,8% yuqori ko'rsatkich hisoblanadi. Qolaversa, IV-karakteristikadagi foiz o'sishi — 23,9% — bu texnologiyaning quyosh nurlarini qayta tiklashdagi yuqori salohiyatini tasdiqlaydi.

Metall-oksid pyezoelektrik kristallar (xususan, PZT) yuqori chastotada ishlash qobiliyatiga ega bo'lib, ular 25–40 kGs diapazonda optimal tebranish hosil qiladi [13; B.61.].

Bu diapazon chang zarralarini past yuza tortish kuchlari bilan ham ajratish uchun yetarli ekani isbotlandi. Amplituda 18 mkm doirasida tanlangan bo'lib, panel yuzasiga zarar yetkazmasdan, haddan tashqari yuzaviy tebranishlarning oldi olindi.

Tadqiqot davomida pyezoelektrik vibratsiyaning turli chastota diapazonlaridagi samaradorligi ham baholandi. Quyidagi grafikda (3-rasm) chastotaga nisbatan chang ajratish samaradorligi aks ettirilgan.



3-rasm. Vibratsiya chastotasining chang ajratish samaradorligiga ta'siri

Ma'lum bo'lishicha, 35 kGs chastotada maksimal samaradorlik — 95,2% ga erishildi. 30 kGs va 40 kGs da bu ko'rsatkich mos ravishda 92,6% va 93,1% ni tashkil etdi. 20 kGs dan pastda tebranishlar iflos moddalarni yetarli darajada siljitmadi, 40 kGs dan yuqorida esa energiya sarfi ortishi va elementlarning qizib ketishi kuzatildi.

Bundan tashqari, PLC asosida tozalashni avtomatik boshqarish orqali real-time monitoring tizimi yaratildi. Sensorlar yordamida panel yuzasidagi shaffoflik va nur qaytaruvchanlik darajasi baholandi va belgilangan me'yordan kamayganda tozalash avtomatik ravishda ishga tushdi. Bu mexanizm odam aralashuvisiz, to'liq avtonom tozalash imkonini berdi [14; B.148.].

Ekologik tahlil shuni ko'rsatdiki, suvli tozalashda bir yilda 1 MVt quyosh stansiyasi uchun taxminan 280–320 m³ suv talab etiladi. Shu bilan birga, nasoslar va suv aylanish tizimi orqali 1,2–1,6 kVt/soat energiya sarfi amalga oshadi. Pyezoelektrik tizimda esa suv sarfi 0 va energiya sarfi bor-yo'g'i 130 Vt atrofida ekanligi qayd etildi. Bu esa tiklanuvchi energetika tarmog'ida ekologik-energetik tавozuni ta'minlashda muhim qadam hisoblanadi [15; B.52–55.].

Boshqa tadqiqotlar bilan taqqoslaganda, S.A.Suleyman va hamkorlari tomonidan ishlab chiqilgan elektrostatik chang haydash tizimi 78–85% samaradorlikka ega bo'lgani, va chang turiga yuqori darajada bog'liqligi aniqlangan [10; B.41.]. Robotlashtirilgan mexanik tozalash usuli esa ko'proq harakatli qismlar talab qilishi, shovqin darajasi va texnik xizmat talablari tufayli qimmat investitsiyaga ehtiyoj sezadi [9; B.59.]. Bundan farqli o'laroq, pyezoelektrik tozalash tizimi nisbatan arzon, uzoq muddatli, va ta'mirtalab qismlarsiz faoliyat yuritadi.

Shu bilan birga, pyezoelektrik vibratsiyaning panel yuzasiga uzoq muddatli ta'sirini ham o'rganish muhim. Ushbu tadqiqot doirasida 180 kunlik modellashtirilgan doimiy faoliyat

sharoitida (kunlik 2 tozalash sikli) pyezoelektrik tebranishlar natijasida hech qanday shikastlanish yoki funksional pasayish aniqlanmadi.

Natijalar.

Tadqiqot davomida quyosh panellarining yuzasidagi ifloslanishni pyezoelektrik vibratsiya orqali bartaraf etish samaradorligi laboratoriya sharoitida sinovdan o'tkazildi va bir nechta muhim texnik va texnologik parametrlar aniqlandi. Modellash, eksperimental o'lchovlar va tahlillar natijalariga ko'ra, quyidagi ilmiy va amaliy natijalarga erishildi:

- Tozalashdan avval va keyingi IV-karakteristikalar taqqoslanganda, pyezoelektrik vibratsiya texnologiyasi yordamida panel yuzasidan o'rtacha 95,2% chang va mayda iflos zarralar to'liq bartaraf etilgani aniqlandi. Bu natija suvli usul bilan taqqoslaganda 12,8% ga yuqori samaradorlikni anglatadi va mexanik tozalashga nisbatan 7,1% ustunlik beradi (qarang: 1-jadval). Bunday samaradorlik o'rtacha 35 kGs chastota va 18 mkm amplitudada amalga oshirildi.

- Vibratsiya chastotasining chang ajratish samaradorligiga ta'sirini baholash maqsadida 20 dan 40 kGs gacha diapazonda sinovlar o'tkazildi. Grafik natijalar (2-rasm) shundan dalolat beradiki, optimal diapazon 33–36 kGs oralig'ida, bu esa materiallarning pyezoelektrik rezonans nuqtasiga mos keladi. 20 kGs da samaradorlik 86,3% bo'lsa, 35 kGs da — 95,2% ga yetdi. 40 kGs dan yuqorida rezonansdan chiqish va element qizishi oqibatida samara pasayishi kuzatildi [16; B.147–149.].

- Suvli tozalashda to'liq sikl o'rtacha 11 daqiqani tashkil etdi, energiya sarfi 1,2 kVt bo'ldi. Pyezoelektrik tozalash esa 7 daqiqada bajarildi va energiya iste'moli barcha sikl davomida bor-yo'g'i 130 Vt ni tashkil qildi. Bu deyarli 85% energiya tejamkorlik deganidir. Shuningdek, sistema to'liq suvsiz ishlaydi, bu esa ekologik samaradorlik nuqtai nazaridan muhim ustunlik hisoblanadi [17; B.109.].

- PLC asosida sensorlarga ulangan real-time monitoring moduli ishlab chiqildi. Panel yuzasidagi nur qaytarish darajasi 15% gacha kamayganda tozalash sikli avtomatik faollashtiriladi. Sensorlar (optik va infraqizil) panel yuzasidagi shaffoflikni aniqlab, belgilangan porog darajasiga yetganda impuls signal uzatadi. Bu sikl kunlik ikki marta yoki ifloslanish holatiga qarab o'zgaruvchan ravishda ishga tushadi [18; B.218.].

- 180 kunlik modellashirilgan real vaqt sinovida (kuniga ikki marta tozalash sikli) pyezoelektrik elementlarda degradatsiya, shikastlanish yoki ishlab chiqarishda sezilarli pasayish aniqlanmadi. Bu modullarning 10 000 sikldan ortiq ishlash muddatini mavjudligini tasdiqlaydi, bu esa tizimni kam xizmat talab qiluvchi uzoq muddatli yechim sifatida namoyon qiladi [19; B.64–66.].

Tizim iqtisodiy tahlili:Quyosh panellari yuzasida muntazam tozalashni talab etuvchi 1 MVt quyosh stansiyasi uchun yillik hisob-kitobda, pyezoelektrik tizim qo'llanilganda, 280–320 m³ suv, 400–500 kVt/soat energiya tejiladi. Boshlang'ich qurilma narxi yuqori bo'lsa-da, 2 yil ichida o'zini to'liq oqlaydigan investitsiya paketi sanaladi. Robotlashtirilgan yoki suvli tizimlar bilan taqqoslaganda, texnik xizmat xarajatlari 3–4 barobar kam bo'ladi [20; B.93.].

Tashqi muhit sharoitida ishlash qobiliyati:Quyosh panellari joylashgan atrof muhit harorati -10°C dan +60°C gacha o'zgaruvchan bo'lgan holatlarda ham pyezoelektrik modullarda faoliyat barqaror saqlandi. Bu moduliyaning haroratga nisbatan sezgirliги past va ekspluatatsion ishonchligini tasdiqlaydi. Turli namlik darajalarida ham izolyatsiya saqlanishi ta'minlangan [21; B.153.].

Qisqacha aytganda, pyezoelektrik vibratsiya texnologiyasi asosida ishlovchi avtomatlashtirilgan tozalash tizimi quyosh panellarini muntazam va samarali tozalashning ekologik, iqtisodiy va texnik jihatdan afzal yechimidir. Tizim suv resurslarini talab etmaydi, past energiya sarfiga ega, yuqori tozalash samaradorligini kafolatlaydi va avtomatlashtirilgan boshqaruv orqali inson ishtirokisiz uzluksiz ishlaydi.

Xulosa.

Quyosh energetikasi tizimlarida samaradorlikni ta'minlashda texnik xizmat ko'rsatish, xususan, fotomodullar yuzasini muntazam tozalash murakkab, ammo hal qiluvchi vazifalardan biri hisoblanadi. Ushbu tadqiqotda pyezoelektrik vibratsiyaga asoslangan avtomatlashtirilgan tozalash tizimi loyihalani, uning amaliy va eksperimental samaradorligi har tomonlama baholandi. Olib borilgan modellash, sinov va tahlillar natijalari asosida quyidagi ilmiy xulosalarga kelindi:

— Pyezoelektrik vibratsiya texnologiyasi asosida ishlovchi tozalash tizimi 35 kGs chastota va 18 mkm amplitudada yuqori samaradorlik — 95,2% gacha changni bartaraf etish qobiliyatini namoyon etdi. Bu ko'rsatkich an'anaviy suvli va mexanik tozalash usullariga nisbatan yuqori bo'lib, fotoelektr samaradorligini tiklashda eng istiqbolli texnologik yechim sifatida qayd etildi.

— Tizim suv resurslarini mutlaqo talab etmasligi va bor-yo'g'i 130 Vt energiya sarflashi bilan ajralib turadi. Bu esa suv tanqisligi mavjud hududlarda quyosh energetikasini uzluksiz ekspluatatsiya qilish uchun ekologik barqaror va iqtisodiy jihatdan maqbul yechim hisoblanadi.

— PLC asosida ishlovchi real-time sensor tizimi asosida qurilgan monitoring moduli tozalash jarayonini inson aralashuvisiz amalga oshirish imkonini berdi. Panel yuzasida nur qaytaruvchanlik darajasi belgilangan me'yordan pasayganda avtomatik tozalash sikli faollashtirilishi, tizimning intellektual moslashuvchanligini namoyon qildi.

— Ustuvor tajribalar davomida pyezoelektrik elementlar 10 000 siklgacha uzluksiz ishlash qobiliyatiga ega ekani tasdiqlandi. Ular yuqori haroratda, o'zgaruvchan namlik va muhit sharoitida ham o'z funksiyasini yo'qotmagan holda ishlashda davom etdi. Bu, o'z navbatida, ularni xavfsiz, xizmat talabi past va uzoq muddatli ekspluatatsiya uchun mos texnologik yechim sifatida tavsiya etish imkonini yaratadi.

— Hisob-kitoblarga ko'ra, 1 MVt quyosh stansiyasida ushbu tozalash tizimini joriy etish orqali yiliga 280–320 m³ suv, 400–500 kVt/soat energiya tejallishi ta'minlanadi. Qurilmaning umumiy investitsiya qiymati 18–24 oyda o'zini to'liq oqlaydi. Bu natija tozalash xarajatlarini minimallashtirish bilan birga, stansiyaning umumiy iqtisodiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Ushbu tizim kelgusida sun'iy intellekt asosida tozalash grafigini meteorologik ma'lumotlar bilan uyg'unlashtirgan holda dinamik boshqarish, ko'pkanalli pyezo-modullar orqali yuza qoplashning kengaytirilgan formatini qo'llash va blokcheyn asosida ekspluatatsiya jurnalini shakllantirish kabi zamonaviy texnologik yondashuvlar bilan integratsiya qilish imkonini yaratadi.

Yig'ilgan tahlillardan kelib chiqib, pyezoelektrik vibratsiya texnologiyasi nafaqat panellar yuzasini samarali tozalash vositasi, balki tiklanuvchi energiya infratuzilmasi uchun strategik innovatsiya sifatida baholanishi mumkin. Ushbu texnologiya issiq iqlimli, suv resurslari cheklangan va chang to'planishi yuqori bo'lgan mintaqalarda, xususan Markaziy Osiyo, Yaqin Sharq va Afrika davlatlarida keng qo'llash uchun ilmiy va amaliy asosga egadir.

Xulosa qilib aytganda, mazkur tadqiqot o'zining ilmiy yangiligi, amaliyotga joriy etish imkoniyati va texnologik ishonchliligi bilan quyosh energetikasi sohasida muammoli nuqtalarni hal qilishda muhim qadam hisoblanadi. Uni sanoat miqyosida keng joriy etish, uzluksiz ekspluatatsiyada xarajatlarni optimallashtirish va umumiy energetik tizim barqarorligini ta'minlashga xizmat qiladi.

Adabiyotlar/Literatura/References:

1. Гасанов Ш.Қ. Қуёш энергия манбалари ва фотоэлектрик тизимлар. – Тошкент: Fan, 2021. – 160 б.
2. Al-Hasan, A. Y. "Effect of dust accumulation on performance of solar photovoltaic panels." *Solar Energy*, 2004. – Vol. 78(3), pp. 347–354.
3. Sayyah, A., Horenstein, M. N., Mazumder, M. K. "Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels." *Solar Energy*, 2014. – Vol. 107, pp. 576–604.
4. Zhao, H., et al. "Piezoelectric Cleaning System for Solar Panels: Design and Experimental Verification." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2022. – Vol. 69(4), pp. 3104–3113.
5. Mani, M., & Pillai, R. "Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010. – Vol. 14(9), pp. 3124–3131.
6. Mekhilef, S., Saidur, R., & Safari, A. "A review on solar energy use in industries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011. – Vol. 15(4), pp. 1777–1790.
7. Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., & Kazmerski, L. L. "A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, challenges and mitigation methods." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013. – Vol. 22, pp. 698–733.
8. Lee, J., Kim, S., & Lee, D. "Development of Piezoelectric Actuator-Based Dust Removal System for Solar Panels." *Smart Materials and Structures*, 2021. – Vol. 30(7), 075019.
9. Chen Y., Zhao X., Wang Y., & Liu J. Development of fully automated robotic cleaner for PV systems. *Journal of Cleaner Production*, 2020. – Vol. 275, Article ID 122871.
10. Sulaiman S. A., Hussain H., Nik Leh Othman N. A., & Razali M. S. Electrostatic dust removal system for solar panel applications. *Energy Procedia*, 2017. – Vol. 105, pp. 401–405.
11. Zhang Z., Guo Y., Yu H., & Wang X. Self-cleaning coatings for solar panels: A review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2019. – Vol. 198, pp. 12–23.
12. Chaichan M. T., Kazem H. A., & Al-Waeli A. H. Dust effect on photovoltaic utilization in Iraq: Review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. – Vol. 82, pp. 734–743.
13. Uchino K. *Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors*. Springer Science & Business Media, 2012. – 338 p.
14. Wang Y., & Zhao X. Design and development of real-time solar panel dust monitoring and cleaning system. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2021. – Vol. 17(4), pp. 146–151.
15. Ahmed A., & Qasem H. A. Comparative energy analysis of water-based and dry-cleaning systems for solar panels. *Energy Reports*, 2020. – Vol. 6, pp. 50–56.
16. Cottone F., Trigona C., & Vocca H. Piezoelectric vibrations in cleaning systems for photovoltaic modules: An experimental study. *Renewable Energy*, 2017. – Vol. 111, pp. 143–151.
17. Hassan M. A., & El-Sayed M. G. Comparative analysis of automated solar panel cleaning technologies. *Energy Efficiency*, 2020. – Vol. 13(6), pp. 101–112.

18. Kim H. J., Lee J. W., & Park K. Design of optical contamination sensors for self-cleaning photovoltaic systems. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2021. – Vol. 322, Article ID 112611.
19. Park S., Kim D., & Kang H. Reliability evaluation of piezoelectric ceramics under cyclic operation in solar panel maintenance. *Journal of Materials Science*, 2022. – Vol. 57(2), pp. 1198–1207.
20. Lin W., & Guo J. Techno-economic evaluation of dry-cleaning systems for utility-scale PV installations. *Solar Energy*, 2020. – Vol. 205, pp. 225–232.
21. Zhao X., & Wang Y. Environmental robustness of piezoelectric cleaning actuators for PV applications. *Smart Materials and Structures*, 2023. – Vol. 32(3), Article ID 035005.

ISSN: 3030-3702 (Onlayn)
САЙТ: <https://techscience.uz>

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 2 (3)-2025

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda
130343-sonli guvohnoma bilan davlat
ro'yxatidan o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:
Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.
Elektron manzil:
scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huqular himoyalangan.
© Sciencesproblems team, 2025-yil
© Mualliflar jamoasi, 2025-yil