ISNN 3030-3907

2025/4
VOLUME 6

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 6

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

O‘ZBEKISTON SHAROITIDA QUYOSH PANELLARINI QURUQ TOZALASH QURILMASINI MAHALLIYLASHTIRISH VA UNING TAJRIBA-SINOV NATIJALARINI BAHOLASH

Mardonov Davron Shamsi o‘g‘li,
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, katta o‘qituvchi
E-mail: mardonov.d@inbox.ru;
Ubaydullayev Baxtiyor Bahodir o‘g‘li,
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, talaba
E-mail: ubaydullayevbaxtiyor17@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada O‘zbekistonning qurg‘oqchil va changli hududlari uchun mos bo‘lgan quruq tozalash qurilmasining tuzilishi, ishlash prinsipi va dastlabki sinov natijalari keltirilgan. Qurilma mahalliy materiallardan tayyorlangan, suvsiz ishlaydi va panel yuzasini samarali tozalaydi. Tajribalar shuni ko‘rsatdiki, quruq tozalash panelning mustahkamligini tiklash, suv sarfini bartaraf etish va ish samaradorligini oshirish imkonini beradi. Natijalar ushbu yechimdan O‘zbekiston sharoitida foydalanish maqsadga muvofiqligini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: quyosh paneli, quruq tozalash, changlanish, mahalliylashtirish, robotlashtirilgan qurilma, energiya samaradorligi, suv tejamkorligi

Аннотация. В данной статье представлены конструкция, принцип работы и результаты первичных испытаний устройства сухой очистки, предназначенного для солнечных панелей, эксплуатируемых в засушливых и пыльных районах Узбекистана. Устройство изготовлено из местных материалов, работает без использования воды и обеспечивает эффективную очистку поверхности панели. Проведённые эксперименты показали, что сухая очистка способствует сохранению эксплуатационной надёжности панелей, исключает расход воды и повышает эффективность их работы. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения данного решения в условиях Узбекистана.

Ключевые слова: солнечная панель, сухая очистка, запыление, локализация, роботизированное устройство, энергетическая эффективность, водосбережение.

Abstract. This article presents the design, operating principle, and preliminary test results of a dry-cleaning device adapted for the arid and dusty regions of Uzbekistan. The device is made from locally available materials, operates without water, and effectively cleans the surface of solar panels. Experimental results showed that dry cleaning helps restore the panel’s performance, eliminates water consumption, and improves operational efficiency. The findings confirm the feasibility of using this solution under the conditions of Uzbekistan.

ISSN 3030-3907

Keywords: solar panel, dry cleaning, dust accumulation, localization, robotic device, energy efficiency, water saving.

KIRISH.

Quyosh energetikasi O‘zbekiston energetika tizimini diversifikatsiya qilishning asosiy yo‘nalishlaridan biriga aylanib bormoqda. Biroq quyosh modullarining haqiqiy foydali ishlash koeffitsiyenti faqat radiatsiya intensivligi bilan emas, balki chang, qum, qurum va organik zarrachalarning panel yuzasida to‘planishi bilan ham belgilanadi. Ayniqsa Navoiy, Buxoro, Qashqadaryo, Jizzax va Qoraqalpog‘iston kabi hududlarda quruq iqlim, shamol va dispers zarrachalar oqimi panel yuzasining tez ifloslanishiga olib keladi [1-8].

So‘nggi yillarda fotovoltaik panellarni tozalash bo‘yicha ko‘plab ilmiy ishlar chop etilgan. Ularning asosiy xulosasi shundaki, changlanish sababli energiya yo‘qotishlari bir necha foizdan o‘nlab foizlargacha yetishi mumkin, tozalash usulini tanlash esa hududning iqlimi, suv mavjudligi, stansiya masshtabi va ekspluatatsiya xarajatlariga bog‘liq. Shu sababli bitta universal yechim mavjud emas; aksincha, hududga moslashtirilgan, kam resurs talab qiladigan usullar ko‘proq amaliy ahamiyatga ega [8-12].

O‘zbekiston sharoitida suvli yuvish usulining asosiy kamchiligi - suv resursi sarfi, nasos va purkagich infratuzilmasi, yuzada tuz izi qolishi hamda servis xarajatlaridir. Shu nuqtai nazardan quruq tozalash qurilmalarini mahalliy materiallar asosida ishlab chiqish, konstruktsiyasini soddalashtirish va ekspluatatsion qiymatini pasaytirish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi [13-16].

Maqolaning maqsadi - mualliflar tomonidan ishlab chiqilgan quruq tozalash qurilmasining konstruktiv yechimini, uning ish algoritmini va dastlabki tajriba natijalarini OAK talablari darajasida tizimlashtirish, qurilmaning mahalliylashtirish imkoniyatlarini ilmiy asoslash hamda suvli rejim bilan solishtirma baho berishdan iborat [17-18].

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Adabiyotlar tahlili quruq tozalash bo‘yicha jahon tajribasida uchta asosiy yo‘nalish ustun ekanini ko‘rsatadi: (1) oddiy mexanik artish elementlari; (2) avtomatik yoki yarim avtomatik relsli qurilmalar; (3) yuqori texnologiyali elektrostatik, vibratsion va funksional qoplamali yechimlar. O‘zbekiston sharoiti uchun texnologiya tanlashda suv sarfi, qurilmaning narxi, servis qulayligi, ehtiyot qismlar mavjudligi va yuqori changga chidamlilik birinchi o‘ringa chiqadi [4-16].

Fotovoltaik modullar sirtida chang yig‘ilishi ularning foydali ish koeffitsiyentini pasaytiruvchi asosiy omillardan biri sifatida ko‘plab tadqiqotlarda qayd etilgan. Shu sababli so‘nggi yillarda quyosh panellarini samarali tozalash

ISSN 3030-3907

usullarini tanlash, tozalash davriyligini belgilash va ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish masalalari ilmiy izlanishlarning muhim yo‘nalishiga aylangan. Mavjud adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, tozalash usulini tanlashda nafaqat texnik samaradorlik, balki iqlim sharoiti, changlanish darajasi, suv resurslari mavjudligi, xizmat ko‘rsatish qulayligi va iqtisodiy omillar ham hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi.

Al-Housani va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda quruq tozalashning turli variantlari, xususan, mikrofiber artgich va changyutgich asosidagi usullar sinovdan o‘tkazilgan. Mualliflar natijalariga ko‘ra, haftalik quruq tozalash texnik natija va xarajatlar nisbati bo‘yicha maqsadga muvofiq yechimlardan biri hisoblanadi. Biroq ushbu natijalar ma’lum iqlim muhiti va aniq modul turida olingani sababli, ularni boshqa hududlarga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘chirish har doim ham to‘g‘ri bo‘lavermaydi [2].

Abdallah va hammualliflar fotovoltaik panellar uchun optimal tozalash chastotasini aniqlash masalasiga e’tibor qaratgan. Ularning xulosalariga ko‘ra, changlanish miqdori va vaqt oralig‘i o‘rtasidagi bog‘lanishni hisobga olgan holda ekspluatatsion reja tuzish zarur. Bu yondashuv tozalashni tasodifiy emas, balki nazorat qilinadigan texnik xizmat ko‘rsatish elementi sifatida ko‘rishga imkon beradi. Shu bilan birga, bunday rejalashtirishning ishonchliligi hududning meteorologik sharoitlariga sezilarli darajada bog‘liq [3].

Najmi va Rachid tomonidan taqdim etilgan keng qamrovli sharhda quyosh panellarini tozalash texnologiyalari turli mezonlar asosida umumlashtirilgan. Ularning tahliliga ko‘ra, tozalash usulining samaradorligi stansiya quvvati, joylashuv xususiyatlari, ifloslanish tabiati va suvdan foydalanish imkoniyatlari bilan chambarchas bog‘liq. Eng muhim jihatlardan biri shundaki, barcha obyektlar uchun bir xil darajada mos keladigan universal texnologiya mavjud emas. Demak, har bir amaliy yechim muayyan hudud va ekspluatatsion sharoitlar nuqtai nazaridan asoslanishi lozim [1].

Abuzaid va hammualliflar ko‘p mezonli baholash usullaridan foydalanib, fotovoltaik modullarni tozalash usullarini tanlash masalasini tizimli ravishda ko‘rib chiqqan. Ular mintaqaviy mezonlar, jumladan, iqlim, xizmat ko‘rsatish xarajati, suvga ehtiyoj va texnologik murakkablikni inobatga olgan holda yarim avtomatik hamda avtomatik usullar istiqbolli ekanini ko‘rsatgan. Shu bilan birga, bunday baholash natijalari hududiy omillarga juda sezgir bo‘lgani sababli, tanlangan texnologiya har bir mintaqa uchun alohida asoslanishi kerak [4].

Sepúlveda-Oviedo tomonidan taklif etilgan yondashuvda fotovoltaik tizimlarga texnik xizmat ko‘rsatishni optimallashtirish, ayniqsa tozalash protokoli va tozalash davriyligini tanlash masalasi asosiy o‘ringa qo‘yilgan. Muallif sayt

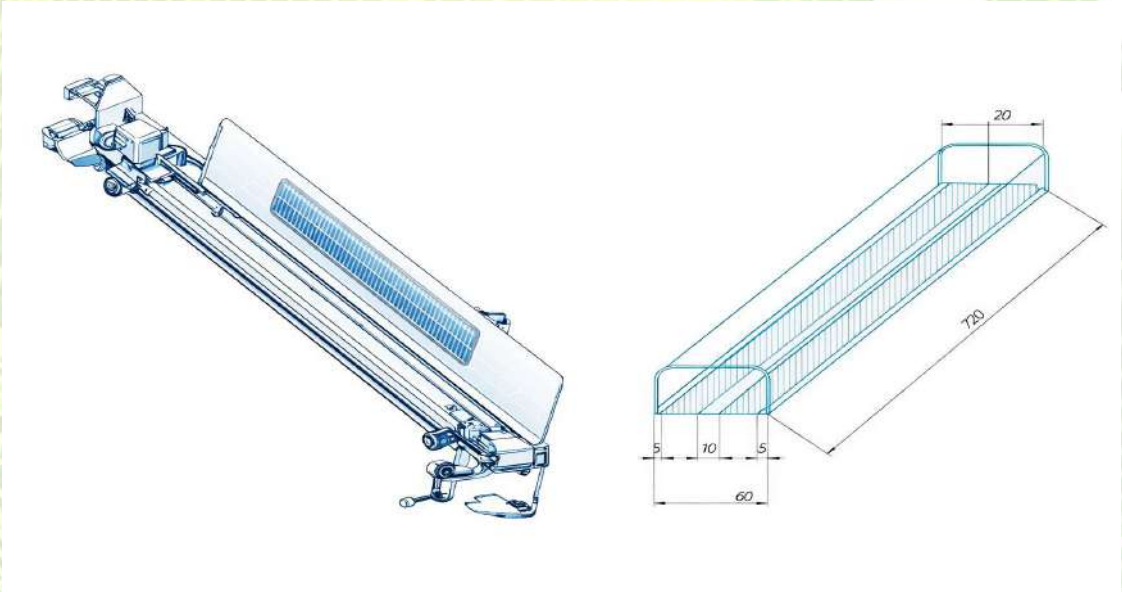
ISSN 3030-3907

sharoitiga moslashtirilgan strategiya ishlab chiqish zarurligini ta’kidlaydi. Bu esa tozalash jarayonini umumiy tavsiyalar asosida emas, balki lokal ekspluatatsion ma’lumotlarga tayangan holda tashkil etish lozimligini anglatadi. Bunday yondashuv nazariy jihatdan kuchli bo‘lsa-da, uni amaliyotga joriy etish uchun joyiga xos ma’lumotlar bazasi talab etiladi [5].

Dixit va hammualliflar changlanishni kamaytirish bo‘yicha zamonaviy yechimlarni umumlashtirib, ayniqsa suv tanqis hududlar uchun robotlashtirilgan quruq tozalash usullarining istiqbolini ko‘rsatib bergan. Ularning tahliliga ko‘ra, suv ishlatmaydigan avtomatlashtirilgan tizimlar ekologik va operatsion nuqtai nazardan ustunlikka ega. Biroq bunday tizimlarning boshlang‘ich qiymati, servis xarajatlari va texnik xizmat ko‘rsatish talablari ularni ommaviy joriy etishda muhim cheklov bo‘lib qolmoqda [6].

Umuman olganda, tahlil qilingan ilmiy manbalar fotovoltaik modullarni tozalash sohasida yagona standart yechim mavjud emasligini ko‘rsatadi. Aksincha, samarali tizimni tanlashda hududning changlanish xususiyati, iqlimi, suv resurslari, iqtisodiy sharoiti va texnik xizmat ko‘rsatish imkoniyatlari birgalikda hisobga olinishi lozim. Aynan shu jihat O‘zbekiston sharoitida quyosh panellarining quruq tozalash qurilmasini mahalliylashtirish va moslashtirilgan texnik yechim ishlab chiqish zaruratini asoslaydi [1-9].

Shunday qilib, mavjud tadqiqotlar natijalari O‘zbekistonning quruq va changli iqlim sharoitida suv sarfini kamaytiruvchi, konstruktiv jihatdan sodda, xizmat ko‘rsatishga qulay va iqtisodiy maqbul quruq tozalash qurilmasini ishlab chiqish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa ekanini ko‘rsatadi.



1-rasm. Mualliflar tomonidan ishlab chiqilgan quruq tozalash qurilmasining umumiy ko‘rinishi va cho‘tka bloki chizmasi

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot obyekti sifatida mualliflar tomonidan yig‘ilgan quruq tozalash qurilmasining tajriba namunasidan foydalanildi. Qurilma alyuminiy profilga yig‘ilgan karkas, cho‘tka bloki, rolik-g‘ildiraklar, zanjirli yoki reduktorli harakat uzatmasi, elektr motor, chekka tayanch tugunlari va alohida boshqaruv blokidan tashkil topadi. Yuklangan fotosuratlar va videolar qurilmaning real yig‘ilgan prototip ekanini, harakat tuguni, cho‘tka moduli, tayanch ramasi va boshqaruv qutisi amalda tayyorlanganini ko‘rsatdi.

Chizma materiallari asosida tozalash modulining ishchi elementi prizmatik korpus ichida joylashgan cho‘tka blokidan iborat ekani aniqlandi. Chizmada ishchi elementning asosiy o‘lchamlari 230 mm uzunlik, 60 mm umumiy kenglik va 30 mm balandlik sifatida berilgan. Ko‘ndalang kesimda 5-10-5 mm nisbatdagi markaziy yo‘naltiruvchi qism va chekka egri kontur elementlari mavjud bo‘lib, ular yumshoq va barqaror kontakt hosil qilishga xizmat qiladi.

Tajriba-metodik yondashuv uch bosqichda olib borildi: birinchi bosqichda adabiyotlar tahlili asosida jahon tajribasi umumlashtirildi; ikkinchi bosqichda chizma, foto va videolar bo‘yicha qurilmaning konstruktiv-sxematik tavsifi tuzildi; uchinchi bosqichda esa mualliflarning dastlabki tajriba jadvali va grafik materiallari asosida changlanish, tozalashdan keyingi tiklanish va suvli-suvsiz rejimlarning samaradorligi baholandi.

Sinov natijalarini qayta ishlashda quyidagi mezonlar qo‘llanildi: nisbiy quvvatning pasayishi, tozalashdan keyingi tiklanish foizi, panelga to‘g‘ri keluvchi suv sarfi, 1 MW stansiya uchun ekvivalent kunlik va yillik suv ehtiyoji hamda umumiy yillik samaradorlik o‘sishi. Grafik ko‘rinishdagi ma’lumotlar raqamlashtirilib, jadval ko‘rinishiga keltirildi.

1-jadval

Qurilmaning asosiy tugunlari va ularni mahalliylashtirish imkoniyatlari

Tugun	**Vazifasi**	**Mahalliylashtirish imkoniyati**
Ramasi	Qurilmaning asosiy tashuvchi ramasi	Mahalliy bozorda mavjud alyuminiy profil va biriktirgichlar asosida
Cho‘tka bloki	Panel sirtidagi changni yumshoq kontakt bilan tozalash	Neylon, mikrofiber yoki yumshoq polimer tolalar bilan tayyorlash mumkin
Uzatma motori	Harakatni hosil qilish	12/24 V reduktorli o‘zgarmas tok motorlar orqali
Zanjir/yuritma tuguni	Moment uzatish va sinxron yurish	Velosiped yoki sanoat mini-zanjir elementlari bilan
Rolik/g‘ildiraklar	Panel cheti bo‘ylab barqaror yurish	Polimer yoki rezina qoplamali standart roliklar

ISSN 3030-3907

Boshqaruv bloki	Yoqish/o‘chirish va tezlikni boshqarish	Rele, PWM modul, oddiy mikrokontroller asosida
Korpus va himoya qutisi	Elektr qismlarni chang va namlikdan himoyalash	List metal yoki ABS/plastik korpus bilan

Qurilma samaradorligini baholashda panel quvvatining nisbiy tiklanishi quyidagicha aniqlandi:

$$p = \frac{P_t - P_{ch}}{P_{toza} - P_{ch}} \cdot 100\ \% \qquad (1)$$

Bu yerda:

P_t - t vaqtdagi o‘lchangan quvvat, W;

P_{ch} - changlangan holatdagi quvvat, W;

P_{toza} - ideal toza panel quvvati, W.

Tozalashdan keyingi quvvat oshishi miqdori:

$$\Delta P = P_{keyin} - P_{oldin} \qquad (2)$$

Bu yerda:

P_{keyin} – tozalashdan keyingi quvvat, W;

P_{oldin} – tozalashdan oldingi quvvat, W.

Suvli rejimning 1 MW ekvivalent yillik suv sarfi quyidagi ifoda bilan baholandi:

$$W_y = q \cdot N \cdot f \cdot 265 \qquad (3)$$

Bu yerda:

q - bitta panelni tozalashga sarflanadigan suv, litr/panel;

N - 1 MW dagi panellar soni;

f - sutkadagi tozalash chastotasi.

Quruq rejim uchun $W_y = 0$ deb qabul qilinadi.

Quruq tozalashning nisbiy ustunligi ekspluatatsion ko‘rsatkich sifatida:

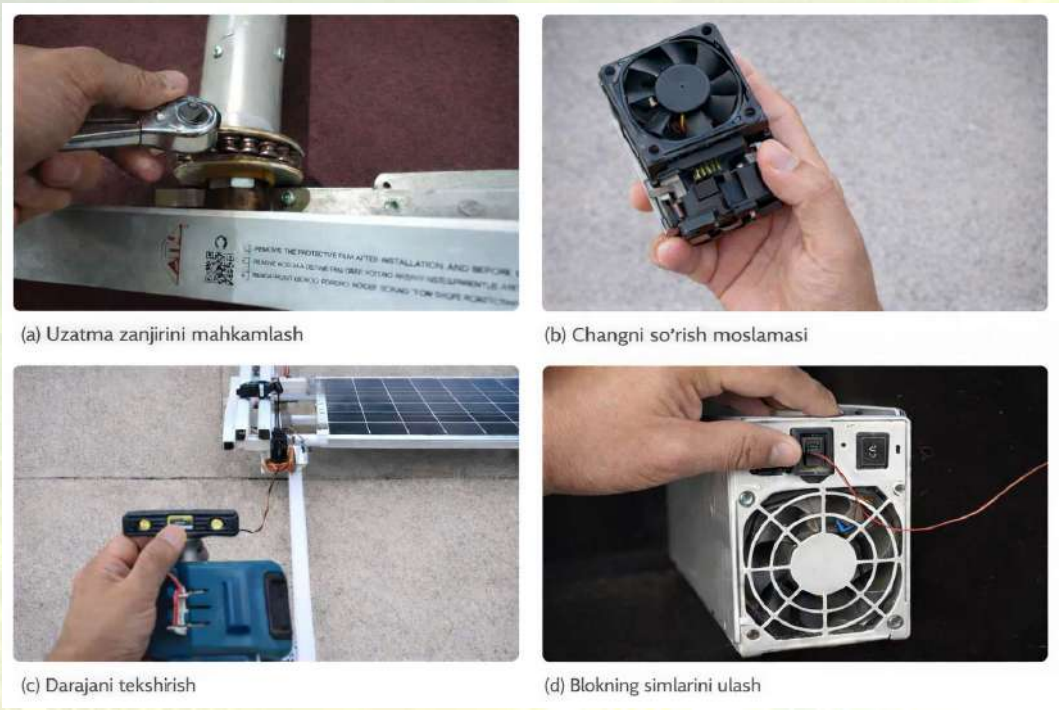
$$K_s = \frac{\eta_q - \eta_s}{\eta_s} \cdot 100\ \% \qquad (4)$$

Bu yerda

η_q – quruq rejimdagi yillik samaradorlik oshishi, %;

η_s – suvli rejimdagi yillik samaradorlik oshishi, %.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Ishlab chiqilgan qurilmaning asosiy qismlari va

MUHOKAMA VA NATIJALAR. Tadqiqot doirasida olingan dastlabki natijalar ikki muhim yo‘nalish bo‘yicha umumlashtirildi va ilmiy jihatdan tizimlashtirildi. Birinchi yo‘nalish quyosh paneli ishchi yuzasida chang qatlamining yig‘ilishi natijasida uning chiqish quvvati pasayishining o‘ziga xos xususiyatlarini aniqlashga qaratildi. Ikkinchi yo‘nalishda esa quruq tozalash amali bajarilgandan keyin panelning quvvat ko‘rsatkichlari qanchalik darajada tiklanishi baholandi. Ushbu yondashuv panelning ifloslanish holati bilan uning energetik samaradorligi o‘rtasidagi funksional bog‘lanishni aniqlash imkonini berdi.

Olingan ko‘rsatkichlar qayta ishlanib, ulardagi asosiy ko‘rsatkichlar 2-jadval shaklida rasmiylashtirildi. Jadvalda aks ettirilgan sonli qiymatlar mavjud grafiklarni raqamlashtirish asosida olingan bo‘lib, ular tajriba natijalarining umumiy tendensiyasini aniq va ishonchli tarzda ifodalashga xizmat qiladi. Mazkur jadval ma’lumotlari asosida hosil qilingan grafiklar panel quvvatining chang ta’sirida pasayib borishini, quruq tozalashdan so‘ng esa ma’lum darajada qayta tiklanishini ko‘rsatadi. Natijada, quruq tozalash texnologiyasining quyosh panellarining ish samaradorligini saqlab qolish va tiklashdagi ahamiyati ilmiy-amaliy jihatdan asoslandi.

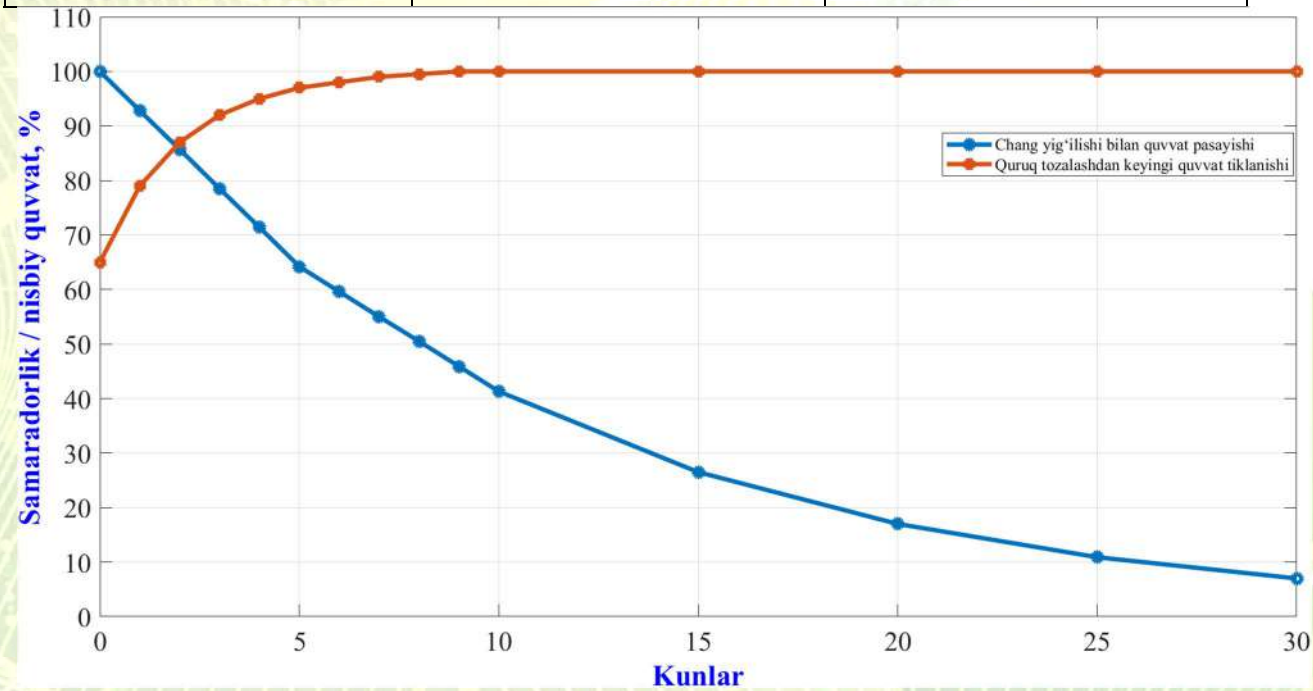
2-jadval

Chang yig‘ilishi natijasida quyosh paneli quvvatining pasayishi va quruq tozalashdan keyingi samaradorlikning tiklanish ko‘rsatkichlari

Kun	Chang yig‘ilishi bilan nisbiy quvvat, %	Quruq tozalashdan keyingi qayta tiklangan samaradorlik, %

ISSN 3030-3907

0	100.0	65.0
1	92.8	79.0
2	85.7	87.0
3	78.5	92.0
4	71.4	95.0
5	64.2	97.0
6	59.6	98.0
7	55.0	99.0
8	50.5	99.5
9	45.9	100.0
10	41.3	100.0
15	26.5	100.0
20	17.0	100.0
25	10.9	100.0
30	7.0	100.0



3-rasm. Quyosh paneli quvvatining pasayishi va quruq tozalashdan keyingi tiklanishi dinamikasi

Rasm va jadval ma’lumotlariga ko‘ra, panel yuzasida chang to‘planishi davom etgani sari nisbiy quvvat eksponensial xarakterga yaqin pasayadi. Tozalashdan so‘ng esa quvvat tiklanishi tezroq kechadi: dastlabki bir necha kun ichida asosiy tiklanish sodir bo‘ladi, so‘ngra egri chiziq to‘yinganlik zonasiga kiradi. Bu holat quruq tozalash qurilmasini muntazam profilaktik rejimda ishlatish favqulodda yuvishdan ko‘ra samaraliroq bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

Suvli va quruq rejimlarni taqqoslash uchun mualliflarning tayyor jadvali asosida 6-jadval shakllantirildi. Taqqoslashda suv sarfi, tiklanish foizi, cho‘tka resursi va ekologik ta’sir asosiy mezon sifatida qabul qilindi.

3-jadval

Suvli va quruq tozalash rejimlarining solishtirma bahosi

Ko‘rsatkich	Suvli tozalash	Quruq tozalash
Cho‘tka materiali	Yumshoq neylon yoki mikrofiber	Karbon tolali yoki yumshoq polimer
Cho‘tka xizmat muddati	2-3 yil	3-4 yil
Haroratga chidamlilik	80-100 °C	100-120 °C
Bitta panelga suv sarfi	2-4 litr	0 litr
1 MW dagi panellar soni	3000-4000 panel	3000-4000 panel
Kunlik suv sarfi (1 MW)	2000-4000 litr	0 litr
Yillik suv sarfi (1 MW)	730 000-1 460 000 litr	0 litr
Nominal quvvat (toza panel)	750 W	750 W
Changlangan holat	550 W	550 W
Tozalangandan keyingi quvvat	712-735 W (95-98%)	710-730 W (94-97%)
Yillik samaradorlik oshishi	3-5 %	4-6 %
Ekologik ta’sir	Suv resurslari sarfi yuqori	Suvni tejaydi, ekologik jihatdan afzal

3-jadvaldan ko‘rinadiki, quruq tozalash rejimi suvli usulga nisbatan tiklanish foizi bo‘yicha keskin ortda emas, biroq suv sarfi, servis soddaligi va ekologik barqarorlik bo‘yicha ancha ustun. Ayniqsa 1 MW stansiya uchun suvli usulda yiliga 730 ming litrdan 1,46 mln litrgacha suv talab qilinishi mumkinligi quruq usulning ustunligini yaqqol ko‘rsatadi.

Taqqoslash natijalari quruq tozalash qurilmasining asosiy ustunligi suvdan to‘liq voz kechish bilan bog‘liqligini ko‘rsatdi. Bu jihat ayniqsa O‘zbekistonning suv tanqis hududlari uchun strategik ahamiyatga ega. Suvli tozalash usuli qisqa muddatda yuqori tiklanish bera olsa-da, suv logistikasiga bog‘liqlik, nasos va quvurlarga xizmat ko‘rsatish, minerallashgan suvdan keyingi qoldiq izlar kabi omillar uning afzalligini cheklaydi.

Mualliflar qurilmasining ikkinchi muhim tomoni - mahalliylashtirish darajasidir. Konstruktsiyada alyuminiy profil, cho‘tka materiali, tayanch roliklar, reduktorli dvigatel, zanjir uzatma va oddiy boshqaruv blokidan foydalanish

ISSN 3030-3907

mumkin. Bunday yondashuv importga qaramlikni kamaytiradi, texnik xizmatni soddalashtiradi va ehtiyot qismlarni hududiy bozordan topish imkonini beradi.

Video materiallarda privod tugunining amalda ishlashi, cho‘tka modulining ramaga o‘rnatilishi, boshqaruv qutisining alohida yig‘ilishi va tajriba stendida harakat trayektoriyasi ko‘rinadi. Bu, maqola yangiligining faqat nazariy taklif bilan cheklanmay, prototip darajasiga chiqqanini ko‘rsatadi. Biroq, qurilmani sanoat miqyosiga olib chiqish uchun changning granulometrik tarkibi, cho‘tka qattiqligi, kontakt bosimi, harakat tezligi va energiya iste’moli bo‘yicha qo‘shimcha o‘lchovlar zarur.

Quruq tozalash bo‘yicha xalqaro adabiyotlar ham hududga mos robotlashtirilgan yoki yarim avtomatik usullarni qo‘llab-quvvatlaydi. Biroq ko‘p ishlarda qurilmalar yuqori narxli, murakkab sensorli yoki katta servis xarajatli bo‘lib qolmoqda. Mualliflar qurilmasi aynan shu bo‘shliqni to‘ldiradi: u nisbatan sodda, modulli, mahalliy sharoitga mos va suv resursini talab qilmaydi.

XULOSA VA TAKLIFLAR.

1. O‘zbekistonning changli va suv tanqis hududlari uchun quruq tozalash qurilmasini mahalliylashtirish ilmiy-amaliy jihatdan maqsadga muvofiq ekani asoslandi.

2. Chizma, foto va video materiallar asosida qurilmaning real prototipi mavjudligi, uning asosiy tugunlari: karkas, cho‘tka bloki, privod, tayanch roliklari va boshqaruv moduli shakllantirilgani ko‘rsatildi.

3. Dastlabki tajriba materiallari changlanish natijasida panel quvvati keskin pasayishini, quruq tozalashdan keyin esa quvvatning 94-97% oralig‘ida qayta tiklanishini ko‘rsatdi.

4. Suvli usul bilan taqqoslaganda quruq rejim 1 MW stansiya miqyosida yillik 730 000-1 460 000 litr suvni tejash potensialiga ega bo‘lib, yillik samaradorlikni 4-6% gacha oshirishi mumkin.

5. Keyingi bosqichda kontakt bosimini avtomatik boshqarish, yo‘l oxiri datchiklari, quyosh radiatsiyasi va chang sensori bilan moslashuvchan algoritm yaratish, shuningdek, cho‘tka materiali bo‘yicha abraziv aşınish sinovlarini o‘tkazish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Najmi N., Rachid A. A Review on Solar Panel Cleaning Systems and Techniques // Energies. - 2023. - Vol. 16, No. 24. - Art. 7960. - DOI: 10.3390/en16247960.

2. Al-Housani M., Bicer Y., Koç M. Assessment of Various Dry Photovoltaic Cleaning Techniques and Frequencies on the Power Output of CdTe-Type Modules in Dusty Environments // Sustainability. - 2019. - Vol. 11. - Art. 2850. - DOI: 10.3390/su11102850.

ISSN 3030-3907

3. Abdallah R., Juaidi A., Abdel-Fattah S. va boshq. The Effects of Soiling and Frequency of Optimal Cleaning of PV Panels in Palestine // Energies. - 2022. - Vol. 15, No. 12. - Art. 4232. - DOI: 10.3390/en15124232.
4. Abuzaid H., Awad M., Shamayleh A. Photovoltaic Modules' Cleaning Method Selection for the MENA Region // Sustainability. - 2024. - Vol. 16. - Art. 9331. - DOI: 10.3390/su16219331.
5. Sepúlveda-Oviedo E.H. Optimizing PV Maintenance: Methods, Cleaning Frequency, and a Selection Protocol // Energy Reports. - 2025. - Vol. 14. - P. 1578-1605.
7. Dixit P., Shah V., Mehta P. va boshq. Systematic Review of Soiling Mitigation Strategies for Solar Photovoltaic Panels // Discover Sustainability. - 2026. - Vol. 7. - Art. 428. - DOI: 10.1007/s43621-026-02820-x.
8. Nkinyam C.M., Ujah C.O., Nnakwo K.C. va boshq. Design and Implementation of a Waterless Solar Panel Cleaning System // Cleaner Engineering and Technology. - 2024. - Vol. 19. - Art. 100423.
9. Oufettoul H., Oubraik O., Ait Abdelmoula I. va boshq. A Novel Solar Panel Cleaning System for Improved Efficiency // Unconventional Resources. - 2025. - Vol. 8. - Art. 100249.
10. Fonseka C.R., Sellami N. Cleaning Methods for Solar PV Systems in Sri Lanka: Economic and Environmental Evaluations // Cleaner Engineering and Technology. - 2025. - Vol. 22. - Art. 100354.
11. Castillo-Campos N.A., Escobedo-Marquez D.L., Alvarez-Macías C. va boshq. Comparative Efficiency Analysis of Photovoltaic Module under Wet and Dry Cleaning // 2024 IEEE PES GTD Latin America Conference and Industrial Exposition. - 2024. - P. 1-6.

ISSN 3030-3907