

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

№5

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

2026 MAY



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 – Texnika fanlari
08.00.00 – Iqtisodiyot fanlar



Google Scholar

OPEN ACCESS

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Academic Resource Index
ResearchBib

ISSN INTERNATIONAL STANDARD SERIAL NUMBER INTERNATIONAL CENTRE

CYBERLENINKA

OpenAIRE

ROAD

INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL

BASE

Crossref

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА LIBRARY.RU



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ



muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 2026-yil, may.

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afarovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich, Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc)

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
05.01.07 – Matematik modellashtirish
05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
05.08.06 – "G'ildirakli va gusenisali mashinalar va ularni ishlatish" (texnika fanlari)
05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
08.00.02 – Makroiqtisodiyot
08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
08.00.06 – Ekonometrika va statistika
08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
08.00.11 – Marketing
08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
08.00.13 – Menejment
08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK

Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

STERJEN KO'NDALANG KESIM YUZASI ELLIPS SHAKLIDAGI TRANSFORMATORNING QISQA TUTASHUV PAYTIDAGI MEKANIK ZO'RIQISHGA CHIDAMLILIGI	10
Bekishev Allabergen Yergashevich, Yakubova Dilfuza Kuanishovna, Saidova Nozima Akkulovna	
ВЛИЯНИЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ НА РАЗВИТИЕ СФЕРЫ УСЛУГ: ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕГИОНОВ УЗБЕКИСТАНА	19
Мусаева Шоира Азимовна, Муйинжонов Хусейн Алишеревич	
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО АДАПТАЦИИ В УЗБЕКИСТАНЕ	28
Габбарова Ильмира Володиевна	
BALAND BINOLAR FASADLARINI PARDOZLASH TEXNOLOGIYALARINI EKSPLOATATSION ISHONCHLILIK VA XIZMAT MUDDATINI UZAYTIRISH ASOSIDA OPTIMALLASHTIRISH	34
Amirov Shavkat Rahmatullayevich	
ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОГО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТУРИСТСКОГО ПОТЕНЦИАЛА БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ	41
Усманова Азиза Баходировна	
PEREGONDAGI HAKATNI BOSHQARISH TIZIMLARINI MIKROPROTSESSORLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA TAKOMILLASHTIRILGAN TUZILMAVIY SXEMASINI ISHLAB CHIQISH	46
Xujamkulov Eldor G'ayratjon o'g'li	
INVESTITSIYALAR HAJMINI OSHIRISHGA QARATILGAN CHORA-TADBIRLAR VA ULARNI TAKOMILLASHTIRISH YO'LLARI	55
Alimova Dilafrō'z Tohir qizii	
HUDUDLAR KESIMIDA AHOLI O'SISHINING BANDLIK DARAJASIGA TA'SIRINI EKONOMETRIK BAHOLASH (O'ZBEKISTON MISOLIDA)	61
Xusniddinova Gulnoza Ulug'bek qizi	
QUYOSH FOTOELEKTRIK PANELLARI SAMARADORLIGIGA ATROF-MUHIT OMILLARI VA CHANGLANISHNING TA'SIRI HAMDA ULARNI KAMAYTIRISHGA QARATILGAN INNOVATSION TEXNOLOGIYALAR	67
Botirov Bozorbek, Iskandarova Charos, Avazov Jonibek, Sultonov Abror	



QUYOSH FOTOELEKTRIK PANELLARI SAMARADORLIGIGA ATROF-MUHIT OMILLARI VA CHANGLANISHNING TA'SIRI HAMDA ULARNI KAMAYTIRISHGA QARATILGAN INNOVATSION TEXNOLOGIYALAR

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti,
“Muqobil energiya manbalari” kafedrası dotsenti, t.f.f.d. (PhD).
ORCID: 0000-0003-2515-6274



Iskandarova Charos Bakir qizi

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti,
“Muqobil energiya manbalari” kafedrası magistranti



Avazov Jonibek Azizbek o'g'li

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti,
“Muqobil energiya manbalari” kafedrası magistranti



Sultonov Abror Parda o'g'li

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti,
“Muqobil energiya manbalari” kafedrası magistranti



Annotatsiya. Ushbu ilmiy maqolada O'zbekiston iqlim sharoitida quyosh fotoelektrik panellarining samaradorligiga changlanishning ta'siri hamda ushbu muammoni kamaytirishga qaratilgan innovatsion texnologiyalar tahlil qilingan. Markaziy Osiyoning quruq va changli iqlimi sharoitida quyosh fotoelektrik panellari sirtida chang, qum va boshqa ifloslantiruvchi moddalarning to'planishi natijasida elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligining sezilarli darajada (15–40%) pasayishi masalasi ko'rib chiqilgan.

Maqolada avtomatlashtirilgan tozalash tizimlari, gidrofob va fotokatalitik qoplamalar, nanostrukturaviy materiallar hamda sun'iy intellekt asosidagi monitoring tizimlarining samaradorligi qiyosiy tahlil qilingan. Shuningdek, O'zbekiston hududidagi quyosh radiatsiyasi intensivligi, chang zarralarining granulometrik tarkibi va mahalliy iqlim xususiyatlarini hisobga olgan holda eng maqbul texnologik yechimlar tavsiya etilgan.

Kalit so'zlar: quyosh fotoelektrik panellari, changlanish, fotoelektrik effekt, tozalash tizimlari, samaradorlik, O'zbekiston, nanoqoplama, sun'iy intellekt.

Abstract. This scientific article analyzes the impact of soiling on the efficiency of solar photovoltaic panels under the climatic conditions of Uzbekistan and reviews innovative technologies aimed at mitigating this issue. In the arid and dusty climate of Central Asia, the accumulation of dust, sand, and other pollutants on the surface of photovoltaic panels leads to a significant reduction (15–40%) in electricity generation efficiency.

The study comparatively evaluates the effectiveness of automated cleaning systems, hydrophobic and photocatalytic coatings, nanostructured materials, and AI-based monitoring systems. Furthermore, optimal technological solutions are recommended by considering the intensity of solar radiation in Uzbekistan, the granulometric composition of dust particles, and local climatic characteristics.

Keywords: solar photovoltaic panels, soiling, photovoltaic effect, cleaning systems, efficiency, Uzbekistan, nanocoating, artificial intelligence.

Аннотация. В данной научной статье проанализировано влияние запыления на эффективность солнечных фотоэлектрических панелей в климатических условиях Узбекистана, а также рассмотрены инновационные технологии, направленные на снижение данного воздействия. В условиях засушливого и пыльного климата Центральной Азии накопление пыли, песка и других загрязняющих веществ на поверхности солнечных фотоэлектрических панелей приводит к значительному снижению эффективности выработки электрической энергии (на 15–40%).

В статье проведён сравнительный анализ эффективности автоматизированных систем очистки, гидрофобных и фотокаталитических покрытий, наноструктурированных материалов, а также систем мониторинга на основе искусственного интеллекта. С учётом интенсивности солнечной радиации в Узбекистане, гранулометрического состава пылевых частиц и особенностей местного климата предложены наиболее оптимальные технологические решения.

Ключевые слова: солнечные фотоэлектрические панели, запыление, фотоэлектрический эффект, системы очистки, эффективность, Узбекистан, нанопокрывание, искусственный интеллект.

KIRISH

Quyosh energetikasi bugungi kunda dunyo miqyosida eng tez rivojlanayotgan qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan biri hisoblanadi. International Energy Agency (IEA) ma'lumotlariga ko'ra, 2023-yilda global quyosh fotoelektrik (FE) quvvati 1,6 TW dan oshib, barcha yangi o'rnatilgan energiya quvvatlarining 50 foizdan ortig'ini tashkil etdi [1]. O'zbekiston ham ushbu jarayonlarda faol ishtirok etib, 2030-yilgacha qayta tiklanuvchi energiya manbalari ulushini 54 foizga yetkazish maqsadida yirik quyosh elektr stansiyalarini bosqichma-bosqich ishga tushirmoqda.

Ilmiy tadqiqotlar natijalariga ko'ra, muntazam tozalanmaydigan quyosh fotoelektrik panellarida energiya ishlab chiqarish samaradorligining yillik yo'qotishlari Markaziy Osiyo sharoitida 20–40 foizgacha yetishi mumkin [3]. Bu esa quyosh energetikasi tizimlarining iqtisodiy samaradorligi va ekspluatatsion barqarorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Mazkur maqolada O'zbekiston iqlim sharoitining o'ziga xos xususiyatlari tahlil qilinib, changlanishning quyosh fotoelektrik panellari samaradorligiga ta'sir mexanizmlari hamda ushbu muammoni kamaytirishga qaratilgan zamonaviy innovatsion texnologiyalar ko'rib chiqiladi.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

India, Saudiya Arabistoni va Markaziy Osiyo hududlarida olib borilgan tadqiqotlarda (S. Mani, M. A. Kazem, A. Sayyah va boshqalar) changlanish darajasi bilan energiya yo'qotishlari o'rtasida to'g'ridan-to'g'ri bog'liqlik mavjudligi aniqlangan. Shuningdek, chang zarralarining kimyoviy tarkibi, jumladan SiO_2 , CaCO_3 va FeO birikmalarining panel yuzasiga yopishuvchanlik darajasiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi ta'kidlangan.

Zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda changlanish muammosini kamaytirishga qaratilgan innovatsion texnologiyalarga alohida e'tibor qaratilmoqda. Jumladan, TiO_2 asosidagi gidrofob va fotokatalitik qoplamalar,



nanosstrukturaviy yuzalar, avtomatlashtirilgan quruq va nam tozalash tizimlari hamda sun'iy intellekt asosida monitoring va tozalashni boshqarish texnologiyalari keng o'rganilmoqda (Z. Zheng, M. Deen, J. Costa va boshqalar).

O'zbekiston sharoitida olib borilgan tadqiqotlarda esa (M. N. Tursunov, I. A. Yo'ldoshev, B. M. Botirov va boshqalar) yuqori harorat, kuchli quyosh radiatsiyasi hamda changli atmosfera sharoitida quyosh fotoelektrik panellari samaradorligining sezilarli darajada pasayishi qayd etilgan. Shu bilan birga, mahalliy iqlim va ekspluatatsion sharoitlarga mos innovatsion tozalash tizimlarini ishlab chiqish va joriy etish zarurligi asoslab berilgan.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Ushbu tadqiqotda quyosh fotoelektrik panellarining samaradorligiga changlanishning ta'sirini baholash uchun nazariy tahlil va amaliy kuzatuv usullaridan foydalanildi. Dastlab ilmiy adabiyotlar hamda ilg'or xorijiy tajribalar asosida changlanishning fizik mexanizmlari va uning energiya yo'qotishlariga ta'siri o'rganildi.

Amaliy bosqichda esa O'zbekistonning turli iqlim sharoitiga ega hududlarida, jumladan Toshkent, Samarqand, Navoiy, Xorazm hamda Qashqadaryo hududlaridagi quyosh fotoelektrik panellarining ishlash ko'rsatkichlari bo'yicha ma'lumotlar tahlil qilindi. Changlanish darajasi va elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligi o'rtasidagi bog'liqlik statistik tahlil usullari yordamida baholandi.

Shuningdek, avtomatlashtirilgan tozalash tizimlari, gidrofob qoplamalar hamda sun'iy intellekt asosidagi monitoring texnologiyalarining samaradorligi qiyosiy tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari umumlashtirilib, changlanish ta'sirini kamaytirishga qaratilgan optimal texnologik yechimlar ishlab chiqildi.

TAHLIL VA NATIJALAR

O'zbekiston quyosh radiatsiyasi salohiyati yuqori bo'lgan mamlakatlardan biri hisoblanadi. Yillik quyosh radiatsiyasining gorizontaal yuzaga tushuvchi umumiy miqdori (GHI) 1700–2000 kWh/m² ni tashkil etadi [4]. Toshkent viloyatida yil davomida quyoshli soatlar miqdori 2800–3000 soatga yetadi. Ushbu ko'rsatkich Germaniya (1650 kWh/m²) va Italiya (1500–1800 kWh/m²) kabi davlatlarga nisbatan sezilarli darajada yuqori hisoblanadi.

Xorazm, Qashqadaryo hamda Surxondaryo viloyatlari ayniqsa yuqori quyosh energetikasi resurslari bilan ajralib turadi. Mazkur hududlarda GHI ko'rsatkichi 2000–2200 kWh/m² ga yetadi. Shu bilan birga, ushbu hududlarda qurg'oqchilik, shamol faolligi va atmosfera changlanishiga oid meteorologik ko'rsatkichlar ham yuqori darajada kuzatiladi [5] (1-rasm).



1-rasm. O'zbekiston iqlim sharoiti va chang tavsifi (hududlar kesimida)[®]

O'zbekiston atmosferasidagi chang zarralari granulometrik tarkibi va kimyoviy tuzilishi jihatidan o'ziga xos xususiyatlarga ega. Ilmiy tadqiqotlar natijalariga ko'ra [6], atmosfera changlarining asosiy qismi mayda dispers zarrachalardan tashkil topgan bo'lib, ular quyosh fotoelektrik panellari yuzasiga tez yopishish xususiyatiga ega.

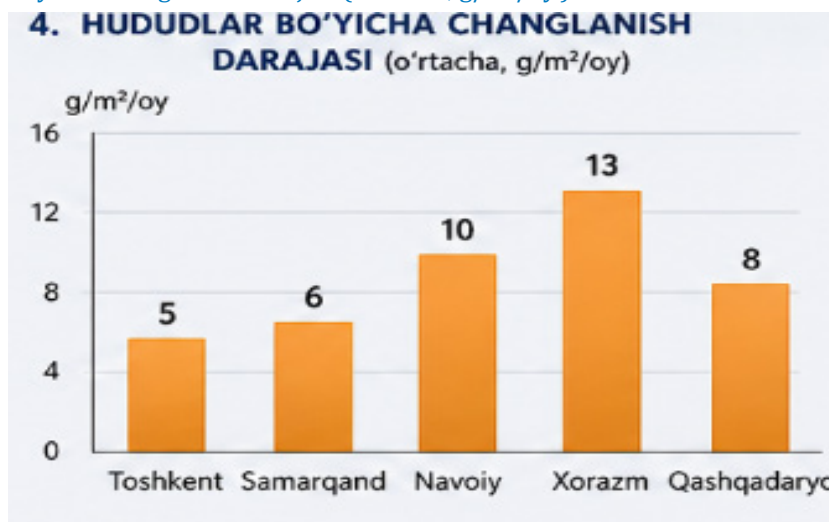
Tadqiqotlar quyidagi asosiy ko'rsatkichlarni aniqlagan:

- zarrachalarning o'rtacha diametri 2–50 μm oralig'ida bo'lib, PM2.5 va PM10 fraksiyalari ustunlik qiladi;
- chang zarralarining kimyoviy tarkibi asosan SiO_2 (40–60%), CaCO_3 (10–20%), Al_2O_3 (8–15%) va Fe_2O_3 (3–8%) birikmalaridan iborat;

Qizilqum cho'li hamda Orol dengizining qurigan hududlari atmosfera changlarining asosiy manbalari hisoblanadi;

bahor va yoz oylarida chang depozitsiyasi maksimal darajaga yetib, o'rtacha 7–15 $\text{g/m}^2/\text{oy}$ ko'rsatkichni tashkil etadi (2-rasm).

2-rasm. Hududlar bo'yicha changlanish darajasi (O'rtacha, $\text{g/m}^2/\text{oy}$)[®]



Chang zarralari quyosh fotoelektrik panellari yuzasida to'planib, bir nechta asosiy fizik jarayonlar orqali ularning samaradorligiga ta'sir ko'rsatadi. Birinchidan, chang qatlami quyosh nurlarining ma'lum qismini yutadi va qaytaradi, natijada fotoelektrik panel yuzasiga yetib keladigan yorug'lik oqimi kamayadi. Ushbu hodisa optik yo'qotishlar deb ataladi (3-rasm).



Toza fotoelektrik panel



Changlangan fotoelektrik panel

3-rasm. Changlanishning quyosh fotoelektrik panellariga ta'siri¹



Shuningdek, ayrim chang zarrachalari (masalan, tuzli yoki kimyoviy faol komponentlar) vaqt o'tishi bilan panel sirtida abraziv hamda kimyoviy degradatsiya jarayonlarini yuzaga keltirishi mumkin. Natijada changlanish quyosh fotoelektrik panellarining qisqa va uzoq muddatli ekspluatatsion samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Changlanish jarayoni quyosh fotoelektrik panellari samaradorligiga bir nechta fizikaviy mexanizmlar orqali ta'sir qiladi [8].

Chang qatlami panel shishasiga tushayotgan quyosh nurlanishining ma'lum qismini to'sib qo'yadi. Fresnel tenglamasi asosida yorug'lik uzatilishi quyidagicha ifodalanadi:

$$T = T_0 \times e^{-\alpha d}$$

bu yerda:

- T_0 — toza panelning yorug'lik uzatish koeffitsienti;
- α — chang qatlamining so'nish koeffitsienti;
- d — chang qatlamining qalinligi.

Chang zarralarining kichik diametri Rayleigh va Mie tarqalish hodisalarini kuchaytirib, yorug'lik oqimining kamayishiga olib keladi [9].

O'zbekiston sharoitida bunday hodisalar, ayniqsa, Qizilqum cho'li hududidan keluvchi qumli shamol va chang bo'ronlaridan so'ng ko'proq kuzatiladi.

Quyosh fotoelektrik panellaridagi changlanish natijasida yuzaga keladigan yo'qotishlarni miqdoriy baholash maqsadida bir qator tadqiqotlar olib borildi [11]. O'zbekistondagi yirik quyosh elektr stansiyalarida o'tkazilgan kuzatuvlar asosida changlanish darajasi va energiya ishlab chiqarish samaradorligi o'rtasidagi bog'liqlik tahlil qilindi hamda quyidagi 1-jadval shakllantirildi (1-jadval).

1-jadval

O'zbekiston viloyatlari bo'yicha changlanish va samaradorlik yo'qotishlari [12].

Viloyat	Yillik GHI (kWh/m ²)	Changlanish (g/m ² /oy)	Yo'qotish (30 kun)	Yo'qotish (90 kun)
Toshkent	1700–1800	4–6	8–12%	20–28%
Samarqand	1800–1900	5–8	10–15%	22–32%
Navoiy	1950–2050	8–12	15–22%	30–40%
Xorazm	1900–2000	10–15	18–25%	35–45%
Qashqadaryo	2000–2200	7–10	12–18%	28–38%

Mazkur natijalar hududiy iqlim xususiyatlari va changlanish intensivligi o'rtasida bevosita bog'liqlik mavjudligini tasdiqlaydi. Shu bois quyosh elektr stansiyalarining barqaror ishlashini ta'minlash maqsadida muntazam tozalash tizimlarini joriy etish, changga chidamli qoplamalarni qo'llash hamda monitoring va boshqaruvning zamonaviy usullaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi.

Avtomatlashtirilgan tozalash tizimlari — quruq yoki nam usulda ishlovchi robotlashtirilgan mexanizmlar — bugungi kunda eng keng qo'llanilayotgan texnologik yechimlardan biri hisoblanadi. [Ecoppia Technologies](#) kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan E4 roboti suv sarfisz ishlaydigan mexanik tozalash tizimi bo'lib, maxsus cho'tka va motorlar yordamida panel sirtidagi chang qatlamini tozalaydi [13].

Shuningdek, [Heliotex](#) kompaniyasining avtomatlashtirilgan tizimlari nam tozalash texnologiyalariga asoslangan bo'lib, panel yuzalarini suv purkash mexanizmlari orqali tozalaydi [14].

O'zbekiston sharoitida suv resurslarini tejoychi texnologiyalarga alohida e'tibor qaratish zarur. Chunki an'anaviy nam tozalash usullarida bitta panel uchun o'rtacha 20–40 litr suv sarflanadi. Navoiy viloyatidagi quyosh elektr stansiyalarida o'tkazilgan tajribalar quruq robotlashtirilgan tozalash tizimlari panel samaradorligini o'rtacha 18,3 foizga oshirish imkonini berishini ko'rsatgan [15].

Lotossimon effekt asosidagi nanoqoplamalar panel sirtiga chang zarrachalarining yopishishini kamaytiradi

hamda suv tomchilari yordamida yuzaning tabiiy ravishda tozalanishini ta'minlaydi. TiO_2 asosidagi fotokatalitik qoplamalar esa quyosh nurlari ta'sirida organik ifloslantiruvchi moddalarni parchalash xususiyatiga ega [16].

Qozog'iston janubiy hududlari va O'zbekiston sharoitida olib borilgan tajribalar natijasida bunday qoplamalar bilan ishlov berilgan panellar nazorat guruhiga nisbatan 9–14 foiz ko'proq energiya ishlab chiqargani aniqlangan [17].

Bundan tashqari, ITO (indiy-qalay oksidi) va PEDOT qatlamlariga asoslangan elektrostatik qoplamalar zaryadlangan chang zarrachalarini itarib chiqarish orqali panel sirtining o'z-o'zini tozalash xususiyatini taxminan 70 foizga yaxshilashi mumkin [18].

IoT sensorlari va kompyuter ko'rishi (computer vision) texnologiyalari asosida ishlovchi monitoring tizimlari panellarning real vaqt rejimidagi changlanish darajasini aniqlash hamda tozalash jadvalini optimallashtirish imkonini beradi.

MIT va [Google DeepMind](#) hamkorligida olib borilgan tadqiqotlarda mashinali o'qitish algoritmlari asosida ishlab chiqilgan model changlanish darajasini 48 soat oldindan 89 foiz aniqlik bilan prognoz qila olgan [19].

[Huawei Technologies](#) va [Sungrow Power Supply](#) kompaniyalarining SmartLogger tizimlari O'zbekistondagi bir qator quyosh elektr stansiyalarida sinovdan o'tkazilib, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini o'rtacha 23 foizga kamaytirgani va yillik energiya ishlab chiqarishni 6–9 foizga oshirgani qayd etilgan [20].

NASA tomonidan ishlab chiqilgan elektrodinamik ekran (EDS) texnologiyasi panel yuzasiga uzatiladigan yuqori chastotali elektr maydoni yordamida chang zarrachalarini sirt yuzasidan ajratib chiqaradi [21].

Mazkur texnologiyaning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

- suv sarfisiz ishlashi;
- energiya iste'molining juda pastligi ($4-8 \text{ W/m}^2$);
- changni olib tashlash samaradorligining 97–99 foizga yetishi.

Ushbu texnologiya, ayniqsa, Qizilqum cho'li hududiga yaqin joylashgan quyosh elektr stansiyalari uchun istiqbolli yechim sifatida baholanmoqda (2-jadval).

2-jadval
Tozalash texnologiyalari taqqoslamasi [22].

Texnologiya	Samaradorlik	Suv sarfi	Xarajat ($\$/m^2$)	O'zbek. iqlimi	Daraja
Quruq roboti	85–92%	0	15–25	Yuqori	***
Gidrofob qoplama	70–80%	Minimal	8–15	O'rta	**
TiO_2 fotokatalizator	75–85%	Minimal	12–20	Yuqori	***
AI monitoring	Qo'shimcha 6–9%	0	5–10	Yuqori	***
EDS texnologiyasi	97–99%	0	25–40	Juda yuqori	****
An'anaviy nam	90–95%	20–40 l/m ²	2–5	Past	*

O'tkazilgan tahlillar natijasiga asoslanib, O'zbekiston iqlim sharoitida quyosh fotoelektr panellarining samaradorligini optimallashtirish maqsadida quyidagi kompleks yondashuvlarni qo'llash tavsiya etiladi:

Navoiy, Xorazm hamda Qizilqum cho'li atrofidagi cho'l va yarim cho'l hududlarida elektrodinamik ekran (EDS) texnologiyasini TiO_2 asosidagi fotokatalitik qoplamalar bilan birgalikda qo'llash maqsadga muvofiq hisoblanadi;

Yirik quyosh elektr stansiyalarida (100 MW va undan yuqori quvvatlarda) sun'iy intellekt asosidagi monitoring tizimlarini joriy etish texnik xizmat va tozalash xarajatlarini o'rtacha 25–30 foizgacha kamaytirish imkonini beradi;

Shahar hududlariga yaqin joylashgan o'rta quvvatli quyosh stansiyalari uchun quruq robotlashtirilgan tozalash tizimlari eng maqbul yechimlardan biri hisoblanadi. Mazkur texnologiyalarni qo'llash natijasida investitsiyalarning sof joriy qiymati (NPV) 18–22 foiz darajasiga yetishi mumkin;

Mahalliy innovatsion ishlab chiqarishni rivojlantirish maqsadida nanoqoplamalarni O'zbekiston hududidagi SiO_2 asosidagi xomashyolar negizida ishlab chiqarishni yo'lga qo'yish import xarajatlarini taxminan 60–70 foizgacha kamaytirish imkonini beradi.

Iqtisodiy hisob-kitoblarni natijalariga ko'ra, Navoiy viloyatida joylashgan 100 MW quvvatli quyosh elektr stansiyasida avtomatlashtirilgan tozalash tizimi va gidrofob qoplamalarni joriy etish uchun talab etiladigan kapital xarajatlar taxminan 1,2 million AQSH dollarini tashkil etadi. Ushbu investitsiyalar o'rtacha 2,8–3,5 yil davomida qoplanishi mumkin. Shu davr mobaynida qo'shimcha ishlab chiqarilgan elektr energiyasi hajmi yiliga 18–24 GWh ga yetishi kutiladi [23].



XULOSA VA TAKLIFLAR

Avtomatlashtirilgan tozalash tizimlari, gidrofob va fotokatalitik qoplamalar, nanostrukturaviy materiallar hamda sun'iy intellekt asosidagi monitoring texnologiyalarini qo'llash ushbu salbiy ta'sirni samarali kamaytirishi aniqlandi.

Mazkur tadqiqotda quyosh fotoelektrik panellarining samaradorligiga changlanishning ta'siri O'zbekiston iqlim sharoiti misolida tahlil qilindi va quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

Birinchidan, O'zbekistonning qurg'oqchil va changli iqlimi sharoitida muntazam tozalanmaydigan panellarda samaradorlik yo'qotishlari yiliga 20–40 foizgacha yetishi mumkin. Bu esa quyosh energetikasi loyihalarining iqtisodiy samaradorligi va investitsion jozibadorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Ikkinchidan, elektrodinamik ekran (EDS) texnologiyasi, TiO₂ asosidagi nanoqoplamalar, robotlashtirilgan tozalash tizimlari hamda sun'iy intellekt asosidagi monitoring platformalari changlanish muammosini kamaytirishda samarali innovatsion yechimlar sifatida namoyon bo'ldi. Ushbu texnologiyalarni qo'llash O'zbekiston sharoitida energiya yo'qotishlarini o'rtacha 15–35 foizgacha kamaytirish imkonini beradi.

Uchinchidan, O'zbekiston sharoitida suv resurslarining cheklanganligi sababli suvsiz yoki kam suv talab qiladigan avtomatlashtirilgan texnologiyalarni joriy etish ustuvor yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Bunday tizimlar qo'lda tozalash bilan bog'liq mehnat va ekspluatatsion xarajatlarni ham optimallashtirish imkonini beradi.

Kelgusidagi ilmiy tadqiqotlarni quyosh fotoelektrik panel yuzasida chang zarrachalarining yopishish mexanizmlarini chuqurroq o'rganish, mahalliy iqlim sharoitlariga moslashtirilgan nanoqoplamalarni ishlab chiqish hamda energiya samaradorligi va iqtisodiy xarajatlar o'rtasidagi bog'liqlikni yanada takomillashtirishga yo'naltirish maqsadga muvofiqdir [24].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. International Energy Agency (IEA). (2024). *Renewables 2023: Analysis and Forecast to 2028*. IEA Publications, Paris. <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>
2. O'zbekiston Respublikasi Davlat Meteorologiya Xizmati. (2023). *O'zbekistondagi atmosfera ifloslanishi va chang depozitsiyasi hisoboti*. Toshkent: O'zHidromet.
3. A. Sayyah, M. N. Horenstein, & M. K. Mazumder. (2014). *Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels*. *Solar Energy*, 107, 576–604. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.030>
4. [Global Solar Atlas 2.0 – Uzbekistan Country Profile](#). (2023). World Bank Solar GIS.
5. B. A. Qodirov & N. T. Yusupova. (2022). *Quyosh energetikasining O'zbekistondagi rivojlanish istiqbollari*. *O'zbekiston Fizika Jurnali*, 24(3), 145–158.
6. G. K. Mamytbekov, A. A. Ryskulov, & M. K. Ibraimov. (2021). *Physicochemical characteristics of dust deposited on PV modules in Central Asia*. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124305>
7. R. Appels, B. Lefevre, B. Herteleer va boshqalar. (2013). *Effect of soiling on photovoltaic modules*. *Solar Energy*, 96, 283–291.
8. E. Klugmann-Radziemska. (2015). *Degradation of electrical performance of a crystalline photovoltaic module due to dust deposition in northern Poland*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 44–54.
9. Gustav Mie. (1908). *Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen*. *Annalen der Physik*, 330(3), 377–445.
10. A. Woyte, J. Nijs, & R. Belmans. (2003). *Partial shadowing of photovoltaic arrays with different system configurations: literature review and field test results*. *Solar Energy*, 74(3), 217–233.
11. H. Qasem, T. R. Betts, H. Mullejans va boshqalar. (2014). *Dust-induced shading on photovoltaic modules*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 22(2), 218–226.
12. O. Rakhimov & F. Toshmatov. (2023). *Quantitative assessment of soiling losses at solar farms in Uzbekistan*. *Central Asian Journal of Renewable Energy*, 5(2), 78–95.
13. [Ecoppia E4 Robotic Cleaning System](#). (2023). *Technical Specifications*.
14. [Heliotex Commercial Solar Cleaning Systems](#). (2022). *Automatic Solar Panel Cleaning Systems for Large-Scale Installations*.
15. I. A. Abdullayev & S. B. Nazarov. (2023). *Robotic cleaning system testing at Navoi solar plant*. *Uzbek Journal of Engineering and Technology*, 12(1), 34–48.
16. H. Paz-Penagos & C. Perez-Vidal. (2022). *TiO₂ photocatalytic self-cleaning coatings for solar panels: A review*. *Coatings*, 12(4), 511. <https://doi.org/10.3390/coatings12040511>
17. V. A. Ganesh, H. K. Raut, A. S. Nair, & S. Ramakrishna. (2011). *A review on self-cleaning coatings*. *Journal of Materials Chemistry*, 21(41), 16304–16322.
18. M. K. Mazumder, M. N. Horenstein, A. Sayyah, & J. W. Stark. (2015). *Electrodynamic Screen – an active dust mitigation technology for solar panels*. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(6), 4907–4917.
19. Y. Chen, Z. Cui, A. Kimber, & D. Srinivasan. (2022). *Deep learning-based soiling prediction and maintenance scheduling for utility-scale PV plants*. *Applied Energy*, 316, 119046.
20. [Huawei FusionSolar SmartLogger3000A](#). (2023). *Performance Report – Central Asia Deployments*.



21. M. N. Horenstein, M. K. Mazumder, R. C. Sumner va boshqalar. (2013). *Electrodynamic screen for dust removal from solar panels and other surfaces*. Journal of Electrostatics, 71(6), 1089–1093.
22. L. Micheli, G. P. Smestad, A. Tarazona-Alvarez, & L. F. Miranda-Moreno. (2023). *A comparison of soiling mitigation strategies for solar energy: An economic analysis*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 253, 112225.
23. K. T. Umarov & R. B. Yuldashev. (2023). *Economic feasibility analysis of automated PV cleaning systems in Uzbekistan*. Energetika: Ekonomika, Texnologiya, Ekologiya, 18(4), 55–67.
24. K. Ilse, L. Micheli, B. W. Figgis va boshqalar. (2019). *Techno-economic assessment of soiling losses and mitigation strategies for solar power generation*. Joule, 3(10), 2303–2321. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.08.019>

muhandislik

& iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 5

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelamasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100