

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

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

2026-YIL

AVGUST 8-SON, II-QISM



Milliy nashrlar

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

05.00.00 - Texnika fanlari

08.00.00 - Iqtisodiyot fanlar



Google
Scholar

ISSN
INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

OpenAIRE



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ФИЛИАЛ В г. ТАШКЕНТЕ



muhandislik & iqtisodiyot

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

Elektron nashr, 2026-yil, avgust.

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 (DSc), 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

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 modellash
- 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

RAQAMLI TRANSFORMATSIYA VA INNOVATSION IQTISODIYOT SHAROITIDA SANOATLASHUVNING USTUVOR YO'NALISHLARI.....	9
Erkayev Akrom Normuxammadovich	
ALIGNING NATIONAL AND INTERNATIONAL UNIVERSITY RANKING INDICATORS: A CROSSWALK METHODOLOGY.....	16
Mamajonova Mukhlisakhon Muzaffar kizi	
O'ZBEKISTONDA ENERGETIKA TIZIMINI RAQAMLASHTIRISH VA SAMARADORLIGINI OSHIRISHNING USTUVOR YO'NALISHLARI.....	28
Bobobekov Ergash Abdumalikovich	
QURILISH MATERIALLARI ISHLAB CHIQUARUVCHI KORXONALARDA INNOVATSION BOSHQARUVNI SHAKLLANTIRISH METODOLOGIYASINI RIVOJLANTIRISH	34
Fayzullayev Jonibek Mambetsaliy o'g'li	
SANOAT KORXONASINING ATROF-MUHIT VA AHOLI SOG'LIQLIGIGA TA'SIRINI BAHOLASH.....	40
Imomnazarov Farrux Saibjabbor o'g'li	
O'ZBEKISTON TIJORAT BANKLARIDA CHAKANA BANK XIZMATLARI RIVOJLANISHINING ZAMONAVIY HOLATI VA TAHLILI	44
Abdiraxmonov Farxod Arabboyevich	
MACHINE LEARNING-ASSISTED PREDICTION OF FIRE-RETARDANT AND PRESERVATIVE PERFORMANCE OF CHEMICALLY MODIFIED WOOD: AN ECO-FRIENDLY APPROACH.....	52
Usmanova Maftunakhon Abror qizi	
TEMIR YO'L AVTOMATIKA VA TELEMEXANIKA MAYDON QURILMALARINI MASOFAVIY NAZORAT QILISH ISHONCHLILIGINI UYALI ALOQA TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA OSHIRISH.....	60
Botirov Abdulaziz Temir o'g'li	
QO'SHILGAN QIYMAT SOLIG'IDA NOL STAVKANI QO'LLASHNING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI	66
A.A. Bobomurodov	
KERAMIKA ISHLAB CHIQUARISH KORXONALARIDA MEHNAT SHAROITLARINI SANITAR-GIGIYENIK VA INTEGRAL BAHOLASH («OZIQ-OVQAT STANDART KARTON» MCHJ TARKIBIDAGI «TOSHKENT KAFEL» KORXONASI MISOLIDA)	71
S. Sulaymanov, N.A. Erdonova	
PYTHON-BASED NUMERICAL ANALYSIS OF THE LOGISTIC POPULATION GROWTH MODEL	76
Berdiyev Shohjahon, Khayitova Fayza	
O'ZBEKISTONDA NORASMIY VA YASHIRIN IQTISODIYOT HAJMIGA SOLIQ OMILINING TA'SIRI: EKONOMETRIK TAHLIL	85
Fayziyeva Nargiza Rabimovna	
ISHLAB CHIQUARISH KICHIK BIZNESINI HUDUDIY JOYLASHTIRISH OMILLARI VA IXTISOSLASHUV YO'NALISHLARINI BAHOLASH	93
Salimov Burxoniddin	
OLIY TA'LIM TASHKILOTLARIDA AKADEMIK FAOLIYATNI BOSHQARISHNING TASHKILIY-IQTISODIY MEXANIZMLARINI TAKOMILLASHTIRISHNING DOLZARB MASALALARI	98
Ixtiyorov Bekzod Zulfiqor o'g'li	
CHUQUK O'RGANISH ARXITEKTURALARI ASOSIDA O'ZBEK TILIDAGI SOXTA XABARLARNI ANIQLASH ALGORITMINI ISHLAB CHIQUISH	105
Uzoqov Lochinbek Mamurjon o'g'li	
XIZMAT KO'RSATISH TARMOQLARIDA SUN'IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA INNOVATSION BOSHQARUV SAMARADORLIGINI OSHIRISH	111
Almanov Ilhom Sultonovich	



TIBBIY XIZMAT KO'RSATUVCHI KORXONALAR IQTISODIY SAMARADORLIGINI BAHOLASH METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH	118
O'roqov Firdavs Ortiqniyoz o'g'li	
TIBBIY XIZMAT KO'RSATUVCHI KORXONALAR IQTISODIY SAMARADORLIGINI BAHOLASH METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH	118
O'roqov Firdavs Ortiqniyoz o'g'li	
EKSPORTGA YO'NALTIRILGAN ISHLAB CHIQRISHNI MAXSUS IQTISODIY ZONALARDA RIVOJLANTIRISH STRATEGIYASI	125
Iskandarova Dilorom Xayrullayevna	
KORXONALARDA BULUTLI HISOBLASH TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISHNING GLOBAL VA MILLIY AMALIYOTI TAHLILI	130
Jumaev Sohib Baxodirovich	
YOSHLARNING RAQAMLI SAVODXONLIGINI IQTISODIY FAROVONLIKKA KONVERSIYA QILISHNING STRATEGIK BOSHQARUV MEKANIZMI	136
Palvonova Sevara Baxromovna	
QISHLOQ XO'JALIGI VAZIRLIGI TIZIMIDA INSON KAPITALINI BOSHQARISHNING AMALDAGI HOLATI TAHLILI	141
Djalilova Dilbar Abdikarim qizi	
ЗЕЛЁНАЯ ЭКОНОМИКА КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ УЗБЕКИСТАНА: ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.....	148
Mўminjonov Anvarbek Сайфитдин угли	
NOQISHLOQ XO'JALIGINING TOMORQA XO'JALIGI FAOLIYATIGA TA'SIRINI BAHOLASHDA ILMIY- USLUBIY YONDASHUVLAR	156
Nurullayev Ulug'bek	
TURIZM SOHASINI DAVLAT TOMONIDAN MOLIVAVIY QO'LLAB-QUVVATLASHDA SOLIQ IMTIYOZLARINING ROLI	161
Karimova Dilafruz Sadirdin qizi	
RAQAMLI IQTISODIYOT SHAROITIDA KREATIV XIZMATLAR BOZORINING RIVOJLANISH TENDENSIYALARI VA ISTIQBOLLARI	166
Xamroyeva Sitara Otabekovna	
ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ, ИНТЕГРИРОВАННОЙ С МАГИСТРАЛЬНЫМИ ВОДОКАНАЛАМИ.	172
Юлдошев Исроил, Ботиров Бозорбек, Жураев Обид, Курбанов Юнус, Хамдамова Ирода, Атоева Мохинур	
SOG'LIQNI SAQLASH TIZIMIDA KLINIK VA BOSHQARUV QARORLARINI QO'LLAB-QUVVATLOVCHI RAQAMLI PLATFORMALARNI RIVOJLANTIRISH	185
Turayeva Nafisa Odiljonovna	
BUDJET TASHKILOTLARIDA MOLIVAVIY XATO VA NOMUVOFIQLIKLARNING TARKIBIY KO'RINISHLARI HAMDA ULARNI ANIQLASH AMALIYOTI TAHLILI	190
Mulayev Farxod Alisherovich	
SANOATDA PORSHENLI KOMPRESSORLARNING TEXNIK-IQTISODIY SAMARADORLIGINI TA'MINLASHDA ASOSIY MUAMMOLAR TAHLILI	195
Abdixakimova Malika Amir qizi	
RAQAMLI IQTISODIYOT SHAROITIDA TIBBIY INSON KAPITALINI RIVOJLANTIRISH: RAQAMLI KOMPETENSIYALAR VA TA'LIM TRANSFORMATSIYASI	207
Nazarov Baxrom Mustafayevich	
O'ZBEKISTONDA BARQAROR TURIZMNI RIVOJLANTIRISHNING TASHKILIIY-IQTISODIY MEKANIZMLARINI TAKOMILLASHTIRISH	213
Qahramonova Maftuna Davronovna	



XIZMAT KO'RSATISH KORXONALARIDA SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA MIJOZLARGA XIZMAT KO'RSATISH MEKANIZMINI TAKOMILLASHTIRISH	220
Jamalova Dilnoza Egamberdiyevna	
KO'P FAKTORLI AVTENTIFIKATSIYA VA KRIPTOGRAFIK HIMOYA MEKANIZMLARI ASOSIDA AXBOROT TIZIMLARI XAVFSIZLIGINI OSHIRISH	227
Babakulov Bekzod Mamatkulov	
AHOLIGA ALOQA VA AXBOROTLASHTIRISH XIZMAT KO'RSATISH TARMOG'INI TIZIMLI RIVOJLANTIRISHNING EMPIRIK TADQIQOTI	234
Nasrullayev Feruz	
SOLIQDAN BO'YIN TOVLASH HOLATLARINI KAMAYTIRISHDA SOLIQ TO'LOVCHILARNING SOLIQ XAVFINI BOSHQARISH METODOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH.....	238
Ismailov Bobir Salomovich	
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГИБРИДНОЙ СОЛНЕЧНО-КОТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ..	245
Файзиев Зафар, Юзбаева Шохид	
O'ZBEKISTONDA DAVLAT-XUSUSIY SHERIKLIKNI RIVOJLANTIRISH: INSTITUTSIONAL ASOSLAR, INVESTITSIYAVIY IMKONIYATLAR VA IJTIMOY-IQTISODIY SAMARADORLIK.....	250
Sh. Qurbonova	
XULQ-ATVORGА ASOSLANGAN SUG'URTA KONSEPSIYASI ORQALI SUG'URTA TARIFLARINI PERSONALLASHTIRISH MEKANIZMLARINI TAKOMILLASHTIRISH.....	260
Xakimzoda Maftuna Yusuf qizi	
MILLIY IQTISODIYOTNI RIVOJLANTIRISHDA TURIZMNING O'RNI VA AHAMIYATI	265
N.K. Muxitdinova, Raxmatova Sevinch	
YUQORI TEXNOLOGIYALI SANOAT TARMOQLARIDA QO'SHILGAN QIYMATNI OSHIRISH MASALALARI: O'ZBEKISTON VA JANUBIY KOREYA TAJRIBASI MISOLIDA	269
Ashirmetova Ozoda Farxod qizi	
KINEMATIC SIMULATION OF SPINDLE AND PRESSING-SECTOR MOTION IN AN ELLIPTICAL-DRUM VERTICAL-SPINDLE COTTON PICKER.....	277
Rajapbayev Umidjon Alisher o'g'li	
O'ZBEKISTONDA INNOVATSION MAHSULOTLARGA ICHKI TALABNI SHAKLLANTIRISH VA ILMIY ISHLANMALARNI TIJORATLASHTIRISH MEKANIZMLARINI TAKOMILLASHTIRISH	283
Azizova Maliha Farrux qizi	
AGLOMERATSIYALAR VA YIRIK SHAHARLAR ATROFIDAGI HUDUDLARNI KOMPLEKS RIVOJLANTIRISHNING SHAHARSOZLIK MODEL I	290
Azamiddin Quldashev	
ZAMONAVIY SHAHARLAR EKOLOGIK INFRATUZILMASINING XALQARO STANDARTLAR ASOSIDA BARQAROR RIVOJLANISH MEKANIZMLARINI TAKOMILLASHTIRISH.....	295
Jo'rayev Muxriddin, Olimova Mohinur, Tugalov Bobur	
BYUDJET YO'QOTISHLARINING JARAYONLI LOKALIZATSIYASI: DAVLAT XARIDLARI TRANSAKSION SIKLINING XARITASI (PROCESS MAPPING).....	301
Jasur Nurmatov	
QUYOSH ENERGIYASI ASOSIDAGI ISSIQXONA MIKROIQLIMINI TA'MINLASH QURILMASINING PARAMETRLARI VA ISH REJIMLARINI OPTIMALLASHTIRISH.....	307
Qulboyev Zohid Xo'jamuradovich	
O'ZBEKISTON IQTISODIYOTIDA SANOATLASHUV DARAJASINING ZAMONAVIY HOLATI VA TARKIBIY O'ZGARISHLARI	312
Erkayev Akrom Normuxammadovich	
RIVOJLANGAN MAMLAKATLARDA HUDUDIY INVESTITSIYAVIY JOZIBADORLIKNI OSHIRISH VA INVESTITSIYALARNI JALB QILISHNING USTUVOR YO'NALISHLARI	317
Muxamadjanov Shaxriyor Solijon o'g'li	



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЕКТНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ И ЛИЗИНГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	324
--	-----

Исомов Б.С.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА.....	330
--	-----

Ботиров Бозорбек, Тураев Фарходжон

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА



Ботиров Бозорбек Мусурмон угли

Ташкентский государственный технический университет
Доцент кафедры «Альтернативные источники энергии», PhD
ORCID: 0000-0003-2515-6274



Тураев Фарходжон Шухратжон угли

Ташкентский государственный технический университет
Ассистент кафедры «Альтернативные источники энергии»
ORCID: 0009-0006-1573-2249

Аннотация: В работе выполнена экспериментальная верификация математической модели теплового режима фотоэлектрического модуля с испарительным охлаждением в условиях жаркого климата. Проведён уточнённый перерасчёт термического сопротивления многослойной структуры ФЭМ, а полученные расчётные температуры сопоставлены с результатами четырёх экспериментальных режимов. Согласованность расчётных и экспериментальных температур оценивалась с использованием квадрата коэффициента корреляции Пирсона (r^2), средней абсолютной ошибки (MAE) и среднеквадратичной ошибки (RMSE). Получены значения $r^2=0,949$, MAE = 3,33 °C и RMSE = 3,36 °C. Установлена высокая линейная согласованность расчётных и экспериментальных температур, при этом модель систематически занижает температуру на 3,08–4,08 °C. Полученные результаты показывают необходимость дальнейшего уточнения модели с учётом конвективного, радиационного и испарительного теплообмена.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, испарительное охлаждение, математическая модель, экспериментальная верификация, температура, корреляция, MAE, RMSE.

Annotatsiya: Maqolada issiq iqlim sharoitida bug'lanishli sovitish qo'llanilgan fotoelektrik modulning issiqlik rejimini tavsiflovchi matematik model eksperimental verifikatsiya qilindi. Ko'p qatlamli fotoelektrik modulning issiqlik qarshiligi aniqlashtirilgan holda qayta hisoblendi va hisobiy haroratlari to'rtta eksperimental rejim natijalari bilan taqqoslandi. Hisobiy va eksperimental haroratlarning chiziqli muvofiqligi Pearson korrelyatsiya koeffitsiyenti kvadrati (r^2), o'rtacha mutlaq xatolik (MAE) va o'rtacha kvadratik xatolik (RMSE) yordamida baholandi. Natijada $r^2 = 0,949$, MAE = 3,33 °C va RMSE = 3,36 °C qiymatlari olindi. Natijalar matematik model eksperimental haroratlarning o'zgarish tendentsiyasini yuqori darajada aks ettirishini, biroq hisobiy haroratlarning 3,08–4,08 °C ga tizimli ravishda pastligini ko'rsatdi. Model aniqligini oshirish uchun konvektiv, radiatsion va bug'lanishli issiqlik almashinuvini yanada to'liq hisobga olish zarurligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: fotoelektrik modul, bug'lanishli sovitish, matematik model, eksperimental verifikatsiya, harorat, korrelyatsiya, MAE, RMSE.

Abstract: This study presents an experimental verification of a mathematical model describing the thermal behavior of an evaporatively cooled photovoltaic (PV) module under hot-climate conditions. The thermal resistance of the multilayer PV structure was recalculated using a refined approach, and the resulting calculated temperatures were compared with measurements obtained under four experimental operating conditions. The agreement between calculated and experimental temperatures was evaluated using the squared Pearson correlation coefficient (r^2), mean absolute error (MAE), and root



mean square error (RMSE). The results yielded $r^2=0.949$, MAE = 3.33°C, and RMSE = 3.36°C. A high linear agreement between calculated and experimental temperatures was observed; however, the model systematically underestimated the measured temperature by 3.08–4.08°C. The results indicate that further improvement of the model should account more comprehensively for convective, radiative, and evaporative heat-transfer mechanisms.

Keywords: photovoltaic module, evaporative cooling, mathematical model, experimental verification, temperature, correlation, MAE, RMSE.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность фотоэлектрических модулей (ФЭМ) существенно зависит от рабочей температуры. Значительная часть солнечного излучения преобразуется в теплоту, вызывая нагрев ФЭМ и снижение их выходной мощности и КПД [1, 2]. Особенно актуальна эта проблема для регионов с жарким и засушливым климатом.

Для снижения температуры ФЭМ применяются воздушное и водяное охлаждение, тепловые трубы, материалы с фазовым переходом и комбинированные системы [3, 4]. Для жаркого и сухого климата перспективно испарительное охлаждение, обеспечивающее отвод теплоты при испарении воды с относительно низкими энергетическими затратами [5].

В предыдущих исследованиях авторов предложена система испарительного охлаждения с многослойным капиллярно-пористым материалом на тыльной поверхности ФЭМ. При температуре воздуха 39–42°C, относительной влажности 20–25% и скорости воздуха 0–8 м/с температура влажной тыльной поверхности составляла 24–29°C, а защитного стекла — 34–39°C. Для описания теплового режима разработана стационарная математическая модель многослойной конструкции «стекло–EVA–кремний–EVA–тыльный защитный слой» [6].

Однако количественная статистическая верификация разработанной модели ранее не проводилась. Для оценки согласованности расчётных и экспериментальных температур в настоящей работе использованы квадрат коэффициента корреляции Пирсона r^2 , средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратичная ошибка (RMSE).

Цель исследования — экспериментальная верификация математической модели теплового режима ФЭМ с испарительным охлаждением путём сопоставления расчётных и экспериментальных температур и количественной оценки степени их согласованности.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

Повышение рабочей температуры снижает эффективность фотоэлектрических модулей (ФЭМ). Skoplaki и Palyvos [1] показали выраженную зависимость мощности и КПД ФЭМ от температуры, что обосновывает необходимость регулирования их теплового режима.

Для охлаждения ФЭМ применяются воздушные, водяные и испарительные методы, а также капиллярно-пористые материалы [2–4]. При выборе системы охлаждения необходимо учитывать не только снижение температуры, но и расход воды, энергопотребление и сложность эксплуатации.

Для жаркого и сухого климата перспективно испарительное охлаждение. В исследованиях авторов установлено, что влажный капиллярно-пористый слой на тыльной поверхности ФЭМ эффективно снижает его температуру. Эксперименты проводились на двух одинаковых модулях-с охлаждением и без него [5]. Последующие исследования показали, что снижение относительной влажности и увеличение скорости воздуха усиливают охлаждение [6].

Сравнение различных схем показало, что активное распыление воды обеспечивает снижение температуры примерно на 32–35°C и повышение эффективности на 18–22%, тогда как пассивные капиллярные и капельные системы снижают температуру примерно на 23–25°C и повышают эффективность на 10–15 % без внешнего энергопотребления [7].

Для теоретического описания процесса авторами разработана одномерная стационарная модель пассивного испарительного охлаждения ФЭМ с влажным текстильным слоем. Модель учитывает теплопроводность многослойной структуры, испарительный массообмен и психрометрические параметры воздуха и позволяет определять температуру кремниевого слоя и изменение КПД [8].

Анализ существующих подходов показывает, что отдельные модели не учитывают одновременно многослойную теплопроводность, капиллярный перенос влаги, психрометрические параметры и фотоэлектрические характеристики. Разработанная модель объединяет эти процессы, однако ранее не проходила количественную статистическую верификацию.

Таким образом, в настоящем исследовании расчётные и экспериментальные температуры

сопоставляются с использованием квадрата коэффициента корреляции Пирсона r^2 , средней абсолютной ошибки (MAE) и среднеквадратичной ошибки (RMSE), что позволяет оценить согласованность результатов и величину ошибки модели.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для экспериментальной верификации использована ранее разработанная математическая модель температурного режима фотоэлектрического модуля с испарительным охлаждением [6]. Экспериментальные значения температуры поверхности ФЭМ сопоставлялись с расчётными значениями, полученными после уточнённого перерасчёта теплового сопротивления многослойной структуры.

Экспериментальная установка состояла из фотоэлектрического модуля, алюминиевой рамки, ёмкости с водой, многослойного марлевого полотна и металлической прижимной сетки. Верхняя часть полотна погружалась в ёмкость с водой, а основная часть прилегала к тыльной поверхности ФЭМ. Поступление воды происходило за счёт капиллярного эффекта, а испарение влаги обеспечивало отвод теплоты от модуля.

Эксперименты проводились при температуре окружающего воздуха 39–42°C, относительной влажности 20–25% и скорости воздуха 0–8 м/с. Измерялись температура влажной тыльной поверхности и температура защитного стекла ФЭМ. Экспериментальные значения составляли соответственно 24–29°C и 34–39°C.

Математическая модель основана на стационарной одномерной теплопередаче через многослойную структуру ФЭМ. Рассматриваются последовательно расположенные слои: защитное стекло, EVA-плёнка, кремниевый фотоэлектрический слой, второй слой EVA и тыльный защитный слой. Температура влажного охлаждающего материала принимается граничным температурным условием со стороны тыльной поверхности.

При стационарном режиме плотность теплового потока одинакова для всех слоёв:

$$q = \frac{\lambda_i}{\delta_i} (T_i - T_{i+1}) \quad (1)$$

где q — плотность теплового потока, Вт/м²; λ_i — коэффициент теплопроводности i -го слоя, Вт/(м·К); δ_i — толщина слоя, м; T_i и T_{i+1} — температуры на его границах. Данное условие использовано в исходной математической модели.

$$t_1 - t_6 = q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \right) \quad (2)$$

В ранее опубликованной работе [6] для данной модели был приведён температурный перепад 8,3 °C. В настоящем исследовании выполнен уточнённый перерасчёт суммарного термического сопротивления непосредственно по опубликованным значениям толщины и коэффициента теплопроводности каждого слоя.

Суммарное термическое сопротивление определяется:

$$R_{\Sigma} = \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \right)$$

После подстановки исходных значений:

$$R_{\Sigma} = \frac{0,004}{1,0} + \frac{0,0002}{0,35} + \frac{0,0002}{14} + \frac{0,003}{1,7} = 0,006922 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

При плотности теплового потока $q=1000$ Вт/м²:

$$\begin{aligned} \Delta T &= q R_{\Sigma} \\ \Delta T &= 6,92^\circ \text{C} \end{aligned}$$

Следовательно, расчётная температура поверхности защитного стекла для каждого экспериментального режима определяется:

$$T_{\text{расч},i} = T_{\text{охл},i} + 6,92 \quad (3)$$

Верификация выполнялась путём прямого сопоставления расчётной температуры поверхности ФЭМ $T_{\text{расч}}$ с экспериментально измеренной температурой защитного стекла $T_{\text{экс}}$ при одинаковых



условиях проведения опыта.

Для четырёх экспериментальных режимов использованы следующие данные (Таблица 1).

Таблица 1. Исходные экспериментальные данные для верификации математической модели¹

№ опыта	Температура окружающего воздуха $T_{в}$, °C	Относительная влажность ϕ , %	Скорость воздуха V , м/с	Температура влажной тыльной поверхности $T_{охл}$, °C	Экспериментальная температура защитного стекла $T_{эксп}$, °C
1	39	22	0	28	38
2	42	22	0	29	39
3	40	20	8	24	34
4	42	25	8	26	37

Для каждого режима формировалась пара:

$$(T_{эксп}; T_{расч}).$$

Экспериментальные температуры при проведении верификации не корректировались и не подгонялись под математическую модель.

Средняя абсолютная ошибка:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_{эксп,i} - T_{расч,i}| \quad (4)$$

Среднеквадратичная ошибка:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{эксп,i} - T_{расч,i})^2} \quad (5)$$

Квадрат коэффициента корреляции Пирсона:

$$r^2 = \left[\frac{\sum (T_{эксп,i} - \bar{T}_{эксп})(T_{расч,i} - \bar{T}_{расч})}{\sum (T_{эксп,i} - \bar{T}_{эксп})^2 \sum (T_{расч,i} - \bar{T}_{расч})^2} \right]^2 \quad (6)$$

Значение r^2 , близкое к единице, характеризует высокую линейную согласованность расчётных и экспериментальных температур, тогда как MAE и RMSE характеризуют абсолютную величину отклонения расчётных значений от экспериментальных.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

По уточнённой математической модели расчётные температуры поверхности защитного стекла составили 34,92; 35,92; 30,92 и 32,92 °C соответственно. Экспериментальные значения составляли 38; 39; 34 и 37 °C (Таблица 2).

Таблица 2. Сопоставление расчётных и экспериментальных температур ФЭМ²

№ опыта	$T_{охл}$, °C	$T_{эксп}$, °C	$T_{расч}$, °C	Абсолютная ошибка, °C
1	28	38	34,92	3,08
2	29	39	35,92	3,08
3	24	34	30,92	3,08
4	26	37	32,92	4,08

Для количественной оценки согласованности определён квадрат коэффициента корреляции Пирсона:

$$r^2=0,949.$$

Средняя абсолютная ошибка:

$$MAE = \frac{1}{4} (3,08 + 3,08 + 3,08 + 4,08) = 3,33^\circ\text{C}$$

1 Источник: разработка автора.

2 Источник: разработка автора.

Среднеквадратичная ошибка:

$$RMSE = \sqrt{\frac{3,08^2 + 3,08^2 + 3,08^2 + 4,08^2}{4}} = 3,36^\circ\text{C}$$

Линейная аппроксимация расчётных и экспериментальных значений имеет вид:

$$T_{\text{расч},i} = T_{\text{охл},i} + 3,33$$

при

$$r^2=0,949.$$

Для наглядной оценки согласованности расчётных и экспериментальных температур построена диаграмма рассеяния с линией линейной аппроксимации и линией идеального совпадения $y=x$ (Рисунок 1).

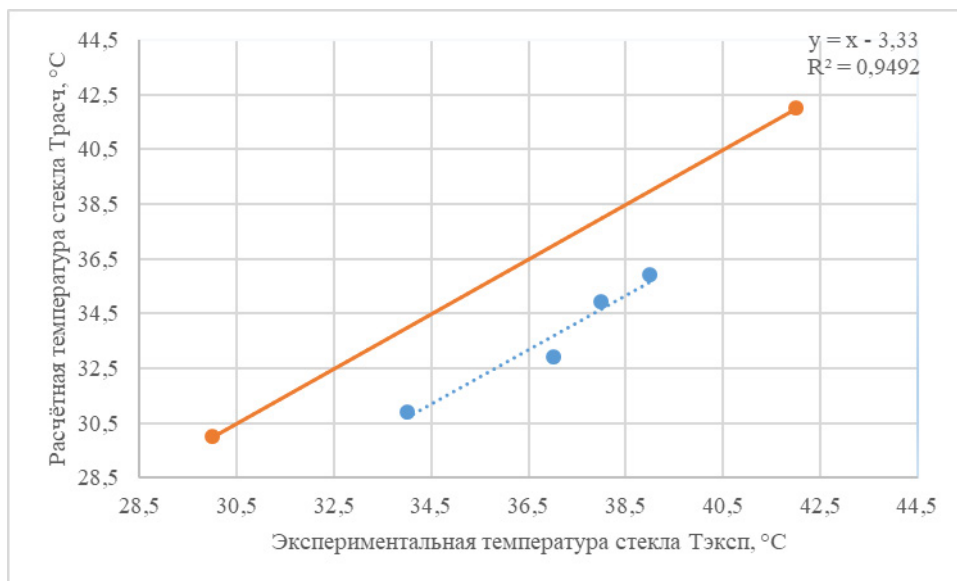


Рисунок 1. Сопоставление расчётных и экспериментальных температур поверхности ФЭМ при испарительном охлаждении³

Полученная линейная зависимость $T_{\text{расч}} = T_{\text{эксп}} - 3,33$ при $r^2=0,9492$ свидетельствует о высокой линейной согласованности расчётных и экспериментальных температур. При этом расположение расчётных значений ниже линии идеального совпадения $y=x$ указывает на систематическое занижение температуры моделью.

Полученное значение r^2 свидетельствует о высокой линейной согласованности изменения расчётных и экспериментальных температур. При этом расчётные значения систематически ниже экспериментальных на 3,08–4,08 °C. Близкие значения $MAE = 3,33^\circ\text{C}$ и $RMSE = 3,36^\circ\text{C}$ свидетельствуют об отсутствии резко выраженных единичных отклонений.

Следует подчеркнуть, что r^2 характеризует **линейную согласованность изменения температур**, тогда как абсолютная точность модели оценивается с использованием MAE и $RMSE$.

Систематическое занижение расчётной температуры может быть обусловлено упрощениями стационарной одномерной модели. В реальных условиях тепловой режим ФЭМ дополнительно зависит от конвективного и радиационного теплообмена, интенсивности солнечного излучения, скорости воздуха, относительной влажности и равномерности смачивания охлаждающего материала.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

В работе выполнена экспериментальная верификация ранее разработанной математической модели испарительного охлаждения фотозлектрического модуля.

Уточнённый перерасчёт показал, что суммарное термическое сопротивление многослойной структуры составляет:

$$R_{\Sigma} = 0,006922 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт}.$$

3 Источник: разработка автора.



а при $q=1000 \text{ Вт/м}^2$ температурный перепад равен:

$$\Delta T = 6,92^\circ\text{C}$$

Для четырёх экспериментальных режимов получено:

$$r^2 = 0,949, MAE = 3,33^\circ\text{C}, RMSE = 3,36^\circ\text{C}$$

Полученные результаты свидетельствуют о высокой линейной согласованности расчётных и экспериментальных температур. Вместе с тем систематическое занижение расчётной температуры на $3,08\text{--}4,08^\circ\text{C}$ показывает необходимость дальнейшего совершенствования модели с учётом конвективного, радиационного и испарительного теплообмена, а также изменяющихся условий окружающей среды.

Список использованной литературы:

1. Skoplaki E., Palyvos J.A. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations // *Solar Energy*. – 2009. – Vol. 83, No. 5. – P. 614–624. DOI: 10.1016/j.solener.2008.10.008.
2. Skoplaki E., Palyvos J.A. Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations // *Renewable Energy*. – 2009. – Vol. 34, No. 1. – P. 23–29. DOI: 10.1016/j.renene.2008.04.009.
3. Chandrasekar M., Rajkumar S., Valavan D. A review on the thermal regulation techniques for non integrated flat PV modules mounted on building top // *Energy and Buildings*. – 2015. – Vol. 86. – P. 692–697. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.10.071.
4. Tiwari G.N., Mishra R.K., Solanki S.C. Photovoltaic modules and their applications: A review on thermal modelling // *Applied Energy*. – 2011. – Vol. 88, No. 7. – P. 2287–2304. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.01.005.
5. Chow T.T. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology // *Applied Energy*. – 2010. – Vol. 87, No. 2. – P. 365–379. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.06.037.
6. Ndiaye A., Kébé C.M.F., Charki A., Ndiaye P.A., Sambou V., Kobi A. Degradation evaluation of crystalline-silicon photovoltaic modules after a few operation years in a tropical environment // *Solar Energy*. – 2014. – Vol. 103. – P. 70–77. DOI: 10.1016/j.solener.2014.02.006.
7. Yuldoshev I.A., Turaev F.Sh., Botirov B.M., Kurbanov Y.M., Kakharova D.R., Juraev J.B. Evaporative cooling photovoltaic panel in the conditions of a hot period // *Problems of Energy and Sources Saving*. – 2024. – No. 4. – P. 115–123. DOI: 10.5281/zenodo.14580468.
8. Turaev F., Yuldoshev I., Botirov B., Fazliddinov S. Experimental Comparative Study on the Use of Photovoltaic Converters for Cooling Photovoltaic Modules // *Proceedings of the 13th International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIIT)*. – 2025. – P. 249–253.
9. Turaev F.Sh., Yuldoshev I.A., Botirov B.M., Juraev Kh.N., Masharipova G.A. Mathematical Modeling of Passive Evaporative Cooling of a Photovoltaic Module Using a Wet Textile Layer Under Hot Climate Conditions // *Alternative Energy*. – 2026. – No. 2(23). – P. 170–182. DOI: 10.70769/2181-284.ME.2(23).2026.16.
10. Juraev K., Turaev F., Yuldoshev I., Botirov B., Fazliddinov S., Yakubov D., Tyugay O. Development and experimental comparison of evaporative cooling methods for photovoltaic modules // *International Journal of Energy and Water Resources*. – 2026. – Vol. 10. – Article 114. DOI: 10.1007/s42108-026-00542-4.
11. Abdelrazik A.S., Al-Sulaiman F.A., Saidur R., Ben-Mansour R. A review on recent development for the design and packaging of hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) solar systems // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2018. – Vol. 95. – P. 110–129. DOI: 10.1016/j.rser.2018.07.013.
12. Chow T.T., Pei G., Fong K.F., Lin Z., Chan A.L.S., Ji J. Energy and exergy analysis of photovoltaic-thermal collector with and without glass cover // *Applied Energy*. – 2009. – Vol. 86. – P. 310–316. DOI: 10.1016/j.apenergy.2008.04.016.

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. № 8

© 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