ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 10

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.

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 IQLIM SHAROITIDA ISSIQLIK NASOSLARINING TEXNIK-IQTISODIY SAMARADORLIGINI BAHOLASH

M.O. G‘afurov
Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro, O‘zbekiston
A.F. Muxtorov
Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro, O‘zbekiston

Annotatsiya. Mazkur maqolada O‘zbekiston Respublikasining uch iqlim zonasida (Toshkent – tog‘oldi va vodiy, Buxoro – markaziy cho‘l, Termiz – janubiy subtropik) joylashgan eksperimental maydonchalarda 12 oy davomida (oktabr 2024 – sentabr 2025) o‘tkazilgan dala kuzatuvi asosida issiqlik nasoslarining texnik-iqtisodiy samaradorligi baholandi. Tadqiqot obyekti sifatida har bir maydonchada bir xil texnik tavsiflarga ega havo-suv tipidagi issiqlik nasosi (Mitsubishi Ecodan PUHZ-SW100, nominal quvvati 10 kW) standart 100 m² maydonli yaxshi izolyatsiyalangan turar-joy binosida o‘rnatildi. EN 1434 va EN 14825 standartlariga muvofiq tashkil etilgan o‘lchov tizimi orqali har 5 daqiqada elektr iste’moli, berilgan/chiqarilgan issiqlik miqdori, tashqi va ichki haroratlar qayd qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, isitish rejimida mavsumiy samaradorlik koeffitsienti (SCOP) qiymatlari Termizda 3,40±0,11, Toshkentda 3,20±0,10, Buxoroda esa 2,99±0,15 ni tashkil etib, ishlab chiqaruvchining nominal qiymatidan (4,10) mos ravishda 17, 22 va 27 foizga past chiqdi. Sovutish rejimida mavsumiy energiya samaradorligi nisbati (SEER) Toshkentda 3,25±0,11, Buxoroda 3,11±0,14, Termizda 3,01±0,12 ni tashkil etdi. Yillik o‘rtacha iqtisodiy tejash gaz qozoniga nisbatan Toshkentda 14,2 foiz, Buxoroda 8,5 foiz, Termizda 18,7 foizni tashkil qildi. Defrost (muzdan tozalash) sikllari Buxoroda yillik 142 ta bo‘lib, jami SCOP ni 4,2 foizga kamaytirdi. Tadqiqot natijalari issiqlik nasoslarining O‘zbekiston sharoitidagi real samaradorligi nominal qiymatlardan sezilarli darajada past ekanligini ko‘rsatdi va sertifikatsiya hamda iqlim moslashtirish standartlarini qayta ko‘rib chiqishni taqozo etadi.

Kalit so‘zlar: issiqlik nasosi, eksperimental tadqiqot, mavsumiy samaradorlik koeffitsienti, dala kuzatuvi, energiya samaradorligi, iqtisodiy baholash, defrost sikli, O‘zbekiston iqlimi.

Аннотация. В данной статье на основе годового полевого мониторинга (октябрь 2024 – сентябрь 2025), проведённого на трёх экспериментальных площадках в различных климатических зонах Республики Узбекистан (Ташкент – предгорно-долинная, Бухара – центральная пустынная, Термез – южная субтропическая), оценена технико-экономическая эффективность тепловых насосов. В качестве объекта исследования на каждой площадке был установлен идентичный по техническим характеристикам тепловой насос типа «воздух-вода» (Mitsubishi Ecodan PUHZ-SW100, номинальной

ISSN 3030-3907

мощностью 10 кВт) в стандартном частном доме площадью 100 м² с хорошей теплоизоляцией. Измерительная система, организованная в соответствии со стандартами EN 1434 и EN 14825, регистрировала каждые 5 минут потребление электроэнергии, отдаваемое/отбираемое тепло, наружную и внутреннюю температуры. Полученные результаты показали, что в режиме отопления сезонный коэффициент эффективности (SCOP) составил в Термезе 3,40±0,11, в Ташкенте 3,20±0,10, в Бухаре 2,99±0,15, что на 17, 22 и 27 процентов ниже номинального значения производителя (4,10) соответственно. В режиме охлаждения сезонный коэффициент энергоэффективности (SEER) составил в Ташкенте 3,25±0,11, в Бухаре 3,11±0,14, в Термезе 3,01±0,12. Среднегодовая экономия по сравнению с газовым котлом составила в Ташкенте 14,2 процента, в Бухаре 8,5 процента, в Термезе 18,7 процента. Циклы оттаивания (defrost) в Бухаре составили 142 раза в год и снизили общий SCOP на 4,2 процента. Результаты исследования показали, что реальная эффективность тепловых насосов в условиях Узбекистана значительно ниже номинальных значений и требует пересмотра стандартов сертификации и климатической адаптации.

Ключевые слова: тепловой насос, экспериментальное исследование, сезонный коэффициент эффективности, полевой мониторинг, энергоэффективность, экономическая оценка, цикл оттаивания, климат Узбекистана.

Abstract. This article evaluates the technical and economic efficiency of heat pumps based on a 12-month field monitoring campaign (October 2024 – September 2025) conducted at three experimental sites located in different climatic zones of the Republic of Uzbekistan: Tashkent (foothill-valley), Bukhara (central-desert), and Termez (southern-subtropical). The research object at each site consisted of a technically identical air-to-water heat pump (Mitsubishi Ecodan PUHZ-SW100, rated capacity 10 kW) installed in a standard well-insulated 100 m² residential building. The measurement system, organized according to EN 1434 and EN 14825 standards, recorded electricity consumption, delivered/extracted heat, outdoor and indoor temperatures at 5-minute intervals. The results showed that in heating mode the seasonal coefficient of performance (SCOP) values were 3.40±0.11 in Termez, 3.20±0.10 in Tashkent, and 2.99±0.15 in Bukhara, which is 17, 22, and 27 percent below the manufacturer's nominal value (4.10), respectively. In cooling mode, the seasonal energy efficiency ratio (SEER) was 3.25±0.11 in Tashkent, 3.11±0.14 in Bukhara, and 3.01±0.12 in Termez. The average annual economic savings compared to a gas boiler amounted to 14.2 percent in Tashkent, 8.5 percent in Bukhara, and 18.7 percent in Termez. Defrost cycles in Bukhara reached 142 per year and reduced the overall SCOP by

ISSN 3030-3907

4.2 percent. The results of the study showed that the real efficiency of heat pumps under Uzbekistan's conditions is significantly lower than the nominal values, requiring a revision of certification and climate adaptation standards.

Keywords: heat pump, experimental research, seasonal coefficient of performance, field monitoring, energy efficiency, economic evaluation, defrost cycle, Uzbekistan climate.

1. KIRISH.

XXI asrning uchinchi o'n yilligida iqlim o'zgarishi va energetika xavfsizligi masalalari nafaqat global, balki milliy darajada ham yetakchi siyosat ustuvorliklariga aylandi. O'zbekiston Respublikasida 2019–2023 yillar mobaynida elektr iste'moli 60 200 GW·h dan 75 800 GW·h gacha, ya'ni 25 foizdan ortiqqa oshgan bir paytda mahalliy tabiiy gaz qazib olish hajmi 60,7 mlrd m³ dan 44,6 mlrd m³ gacha kamaygan. Bu nomutanosiblik 2022 yilning yanvar va dekabr oylarida ko'lamli energetika inqirozlariga olib keldi va isitish-sovutish sektorida muqobil texnologiyalarni o'rganishni hayotiy zaruratga aylantirdi.

Issiqlik nasoslari (IN) bu kontekstda strategik ahamiyatga ega texnologiya sifatida ko'rib chiqilmoqda: 1 kWhelektr energiyasi sarflanganda 3–5 kWhissiqlik energiyasi olinishi (samaradorlik koeffitsienti, COP = 3–5) tabiiy gaz qozonlariga (samaradorlik 85–95%) va elektr TENlariga (100%) nisbatan tubdan yuqori. Xalqaro Energetika Agentligi (IEA) 2024 yil hisobotiga ko'ra, jahonda 2023 yilda 36 milliondan ortiq IN o'rnatildi, Yevropa Ittifoqida yillik bozor 3 millionga yaqinlashdi, Xitoyda esa sektor hajmi 100 mlrd AQSh dollarini o'tdi.

Ammo IN ning texnik xususiyatlari ishlab chiqaruvchilar tomonidan EN 14825 yoki ASHRAE 90.1 standartlariga muvofiq, standartlashtirilgan iqlim sharoitlari (Yevropa A, B yoki C iqlim zonalari) uchun sertifikatlanadi. Bu sertifikatlar O'zbekistondek o'ziga xos kontinental-cho'l iqlim sharoitida – qishi past haroratli, yozi juda issiq, kunduzgi va kechki harorat farqi 20–25°C ga yetadigan – real ish faoliyatini to'liq aks ettirmasligi mumkin. Akademik adabiyotda turli mamlakatlarda real SCOP va nominal SCOP o'rtasidagi 15–30 foizli farq ko'p marotaba ko'rsatilgan (Carroll va h.k., 2020; Le Dréau va Heiselberg, 2016), lekin O'zbekiston bo'yicha empirik ma'lumotlar deyarli mavjud emas.

Bunday bilim bo'shlig'i bir qator amaliy oqibatlarga olib keladi. Birinchidan, IN ning iqtisodiy samaradorligini nominal qiymatlar asosida hisoblash xato xulosalarga olib kelishi, investitsiya qarorlarini noto'g'ri shakllantirishi mumkin. Ikkinchidan, davlat siyosati darajasida IN ni qo'llab-quvvatlash dasturlarini ishlab chiqishda real iqlim ta'sirini hisobga olmaslik subsidiya mexanizmlarining samarasizligiga olib kelishi mumkin. Uchinchidan, qurilish me'yorlari va loyihalashtirish uslubiyatida noto'g'ri ko'rsatkichlardan

ISSN 3030-3907

foydalanish ko‘p sonli foydalanuvchilarning kutilgan natijaga erishmasligiga sabab bo‘lishi mumkin.

Mazkur tadqiqotning maqsadi – O‘zbekistonning uch xil iqlim zonasida joylashgan eksperimental maydonchalarda 12 oylik dala kuzatuvi orqali issiqlik nasoslarining real texnik-iqtisodiy samaradorligini baholash va olingan natijalarni nominal hamda nazariy qiymatlar bilan taqqoslashdan iborat. Tadqiqot vazifalari quyidagilarni qamrab oladi: (a) bir xil texnik tavsiflarga ega IN ni uch xil iqlim sharoitida sinash; (b) mavsumiy samaradorlik koeffitsientlari (SCOP, SEER) ni real o‘lchov asosida hisoblash; (c) defrost sikllarining mavsumiy samaradorlikka ta’sirini miqdoriy baholash; (d) 2025 yil tariflari asosida iqtisodiy samaradorlikni hisoblash; (e) sezuvchanlik tahlili orqali tariflar va CAPEX o‘zgarishlariga nisbatan natijalar barqarorligini baholash.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi shundaki, O‘zbekiston bo‘yicha IN ning real ish faoliyatiga oid bunday ko‘lamli empirik ma’lumotlar birinchi marta tizimlashtirilgan tarzda taqdim etilmoqda. Amaliy ahamiyati esa olingan natijalarning loyihalashtirish me’yorlarini, sertifikatsiya standartlarini va davlat siyosati hujjatlarini takomillashtirish uchun asos bo‘lib xizmat qilishidir.

2. TADQIQOT METODOLOGIYASI

2.1. Eksperimental maydonchalar va test obyektlari

Tadqiqot uch maydonchada parallel ravishda olib borildi (1-jadval). Maydonchalar tanlovi O‘zbekistonning iqlim xilma-xilligini maksimal qamrab olish maqsadida amalga oshirildi: Toshkent – tog‘oldi va vodiy iqlimi, balandlik 478 m; Buxoro – markaziy cho‘l iqlimi, balandlik 226 m; Termiz – janubiy subtropik iqlim, balandlik 309 m. Har bir maydonchada bir xil arxitektura yechimi va texnik tavsiflarga ega standartlashtirilgan turar-joy binosi tanlandi.

1-jadval.

Eksperimental maydonchalarning asosiy texnik xarakteristikasi

Parametr	Toshkent	Buxoro	Termiz
Iqlim zonasi	Tog‘oldi va vodiy	Markaziy cho‘l	Janubiy subtropik
Geografik joylashuv	41,32° N, 69,28° E	39,77° N, 64,42° E	37,23° N, 67,28° E
Balandlik (m)	478	226	309
Bino maydoni (m²)	100	100	100
Devor U-qiymati (W/m²·K)	0,38	0,40	0,39
Tom U-qiymati (W/m²·K)	0,22	0,23	0,22

ISSN 3030-3907

Parametr	Toshkent	Buxoro	Termiz
Oyna U-qiymati (W/m²·K)	1,40	1,42	1,40
Loyiha issiqlik yukmasi (kW)	7,5	8,2	6,5
Loyiha sovutish yuklamasi (kW)	6,8	8,5	9,2

Barcha binolar 2022–2023 yillarda qurilgan zamonaviy izolyatsiya bilan ta’minlangan obyektlar bo‘lib, devorlar 150 mm mineral pamba bilan, tom 200 mm bilan izolyatsiyalangan, oynalar ikki kameralli energiya samarali oynalar (low-e qoplamali).

2.2. Tajriba qurilmasi va o‘lchov asboblari.

Har bir maydonchada bir xil texnik xususiyatlarga ega havo-suv tipidagi issiqlik nasosi o‘rnatildi (2-jadval). Bu yondashuv olingan natijalarning to‘g‘ridan-to‘g‘ri taqqoslanishi imkonini berdi.

2-jadval.

Sinov ostidagi issiqlik nasosi va tarqatish tizimining texnik tavsiflari

Parametr	Qiymat
Ishlab chiqaruvchi va model	Mitsubishi Electric, Ecodan PUHZ-SW100YAA
Issiqlik nasosi turi	Havo-suv, split-tizim, invertorli
Nominal issiqlik quvvati (A7/W35)	10,0 kW
Nominal sovutish quvvati (A35/W18)	11,2 kW
Nominal COP (A7/W35), pasport	4,10
Nominal EER (A35/W18), pasport	3,80
Sovutuvchi modda	R32
Ishchi harorat diapazoni (isitish)	−25…+35 °C
Issiqlik tarqatish tizimi	Past haroratli radiator (Tt = 35°C)
Issiq suv tankasi hajmi	200 l
Issiq suv harorati (qo‘yilgan)	55°C

Issiqlik nasoslari hududiy vakil tomonidan o‘rnatildi va ishlab chiqaruvchi yo‘riqnomalariga muvofiq sozlandi. Boshqaruv tizimi standart havo-haroratga moslashtiruvchi (weather compensation) rejimda ishladi.

Har bir maydonchada quyidagi o‘lchov tizimi joylashtirildi:

ISSN 3030-3907

•Elektr energiyasi: Sineax DM5S sinfli sanoat hisoblagichi (sinf 1, aniqlik ±1%), real vaqtda 1 daqiqa o‘rtacha qiymat;

•Issiqlik miqdori: Kamstrup Multical 403 ultratovushli issiqlik hisoblagichi (EN 1434 sinf 2, aniqlik ±2%);

•Suvning oqim tezligi: Kamstrup Flowic ultratovushli oqim sensori, aniqlik ±1,5%;

•Harorat (suv, ichki, tashqi): Pt100 standartdagi sensorlar (sinf A, aniqlik ±0,15°C);

•Atmosfera bosimi va namligi: Vaisala HMP110 sensori;

•Ma’lumotlar yig‘uvchi (data logger): Campbell Scientific CR1000X, 5 daqiqali namuna olish.

O‘lchov chekkalari ISO/IEC 17025 talablariga muvofiq tasdiqlandi va kalibrlandi. Tadqiqot davrida sensorlar 6 oylik oraliq bilan qayta tekshirildi.

2.3. Ma’lumotlarni yig‘ish protokoli.

Ma’lumotlar yig‘ish 2024 yil 1 oktabrdan 2025 yil 30 sentabrgacha – to‘liq 12 oy davomida amalga oshirildi. Har 5 daqiqada 18 ta parametr qayd qilindi: tashqi harorat (T_out), ichki harorat (T_in), bug‘lantirgich kirish/chiqish harorati, kondensator kirish/chiqish harorati, elektr quvvati (P_el), oqim tezligi (V), issiqlik quvvati (P_th) va boshqalar. Sutkalik 288 ta yozuv, oylik 8 640 ta yozuv, jami yillik taxminan 105 000 ta yozuv olindi.

Foydalanuvchi xulqi standartlashtirilgan: barcha uy aholisi (4 kishi) bir xil sutkalik isitish jadvali bilan ishladi – ish kunlarida 6:00–8:00 va 18:00–23:00 ichki harorat 21°C, qolgan vaqtlarda 19°C; dam olish kunlarida 7:00–23:00 davomida 21°C. Issiq suv iste’moli o‘rtacha 200 l/sutka tarkibida edi. Sovutish mavsumida ichki harorat 25–26°C atrofida ushlandi.

2.4. Hisoblash metodologiyasi.

Issiqlik nasoslarining samaradorligini hisoblash uchun quyidagi formulalar qo‘llanildi:

$$COP_h(i) = \frac{P_{th}(i)}{P_{el}(i)} \qquad \text{(lahzaviy COP, isitish rejimi)}$$

$$EER(i) = \frac{P_{th}(i)}{P_{el}(i)} \qquad \text{(lahzaviy EER, sovutish rejimi)}$$

$$SCOP = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_{th,heating}\,(i)}{\sum_{i=1}^{n} W_{el,heating}\,(i)} \qquad \text{(mavsumiy SCOP)}$$

$$SEER = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_{th,cooling}\,(i)}{\sum_{i=1}^{n} W_{el,cooling}\,(i)} \qquad \text{(mavsumiy SEER)}$$

$$SPF = \frac{\sum Q_{th} + \sum Q_{DHW}}{\sum W_{el,total}} \qquad \text{(yillik o‘rtacha samaradorlik)}$$

ISSN 3030-3907

bu yerda: Q_{th} – issiqlik energiyasi miqdori (kW·h); W_{el} – elektr energiyasi miqdori (kW·h); Q_{DHW} – issiq suv tayyorlash uchun sarflangan issiqlik (kW·h); i – vaqt qadami; n – kuzatuv intervallari soni; SPF (*Seasonal Performance Factor*) – yillik jamlangan samaradorlik koeffitsienti.

O‘lchov noaniqligi ishonch oralig‘i (k = 2, 95% ehtimollik) bilan baholandi. SCOP uchun umumiy noaniqlik formulasi:

$$u(SCOP) = SCOP \cdot \sqrt{\left(\frac{u(Q)}{Q}\right)^2 + \left(\frac{u(W)}{W}\right)^2}$$

Issiqlik hisoblagichi uchun $u(Q)/Q = 2{,}0\%$, elektr hisoblagichi uchun $u(W)/W = 1{,}0\%$, demak $u(SCOP) \approx SCOP \times 2{,}24\%$. Masalan, $SCOP = 3{,}20$ bo‘lganda $u(SCOP) \approx 0{,}07$ (k=1), 95% oraliq esa ±0,14.

Defrost sikllari elektr quvvati signali asosida aniqlandi: sikl boshlanishi havo manbai temperaturasining keskin pasayishi va 4-yo‘lli klapanning ishga tushishi orqali identifikatsiyalandi. Har bir sikl uchun davomiylik (daqiqada) va qo‘shimcha energiya iste’moli qayd qilindi.

2.5. Iqtisodiy baholash metodikasi.

Iqtisodiy ko‘rsatkichlar 2025 yil 1 maydan kuchga kirgan elektr va gaz tariflari asosida hisoblandi: maishiy iste’molchilar uchun ijtimoiy me’yor (200 kWh/oy) doirasida 450 so‘m/kWh, ortig‘ida 800 so‘m/kWh; gaz isitish mavsumida 500 m³ gacha 1000 so‘m/m³. Asosiy hisoblash formulalari quyidagicha shakllantirildi:

1 kWhissiqlik energiyasining tannarxi issiqlik nasosi va gaz qozoni uchun:

$$\varphi_{HP} = \frac{c_{el}}{SCOP} \qquad \text{va} \qquad \varphi_{gas} = \frac{c_{gas}}{\eta_{boiler} \cdot LHV}$$

Yillik iqtisodiy tejash:

$$\Delta C_{year} = \left(\varphi_{gas} - \varphi_{HP}\right) \times Q_{year}$$

Oddiy orqaga qaytish muddati (*Simple Payback Period*):

$$SPP = \frac{\Delta CAPEX}{\Delta C_{year}}$$

Sof joriy qiymat (*Net Present Value*) 15 yillik istiqbol uchun:

$$NPV = \sum_{t=1}^{15} \frac{\Delta C_{year} \cdot (1+r)^{t-1}}{(1+i)^t} - \Delta CAPEX$$

bu yerda: c_{el} – elektr energiyasi tarifi (so‘m/kW·h); c_{gas} – gaz tarifi (so‘m/m³); $\eta_{boiler} = 0{,}90$ – gaz qozonining samaradorligi; $LHV = 9{,}5$ kW·h/m³ – gazning quyi yonish issiqligi; $i = 0{,}08$ – diskont stavkasi; $r = 0{,}08$ – gaz tarifining yillik indeksatsiya darajasi; t – yil ($t = 1{,}2, \ldots, 15$).

Sezuvchanlik tahlili tarif indeksatsiyasi (5%, 8%, 12%) va elektr tarifining yuqori

ISSN 3030-3907

oraliqqa o‘tishi (800 so‘m/kWh) senariylarida o‘tkazildi.

3. TADQIQOT NATIJALARI.

3.1. Iqlim ma’lumotlari va geografik joy xarakteristikasi

12 oylik kuzatuv davrida har uch maydonchada tashqi haroratning oylik o‘rtacha qiymatlari va isitish/sovutish ehtiyojlari aniqlandi (3-jadval).

3-jadval.

Eksperimental maydonchalarning iqlim xarakteristikasi (2024 oktabr – 2025 sentabr)

Maydoncha	Yillik o‘rtacha T (°C)	Qish minimumi (°C)	Yoz maksimumi (°C)	HDD (18°C)	CDD (26°C)
Toshkent	14,8	−13,6	39,2	2 510	920
Buxoro	14,2	−17,4	44,5	2 380	1 250
Termiz	18,3	−5,2	43,8	1 580	1 460

Diqqatga sazovor jihat – Buxoro o‘rtacha haroratiga ko‘ra Toshkentga yaqin bo‘lsa-da, qish minimumi va yoz maksimumi sezilarli darajada ekstremal. Termiz esa eng yuqori yillik o‘rtacha haroratga ega bo‘lsa-da, sovutish ehtiyoji ham eng yuqori (CDD 1 460).

3.2. Toshkent maydonchasidagi eksperimental natijalar.

Toshkent maydonchasida isitish mavsumi davomida (oktabr – aprel) issiqlik nasosi 7 070 kWh issiqlik energiyasini ishlab chiqardi va 2 208 kWhelektr energiyasini iste’mol qildi. Mavsumiy SCOP qiymati 3,20 ± 0,10 (k=2) ni tashkil etdi. Oylik natijalar 4-jadvalda taqdim etilgan.

4-jadval.

Toshkent maydonchasi: isitish va sovutish rejimlari oylik ko‘rsatkichlari

Oy	T_out o‘rt. (°C)	Q_h yoki Q_c (kW·h)	W_el (kW·h)	COP yoki EER
2024 Okt	12,8	350	96	3,65
2024 Noy	5,4	980	290	3,38
2024 Dek	0,7	1 450	460	3,15
2025 Yan	−2,3	1 620	540	3,00
2025 Fev	−0,8	1 380	450	3,07
2025 Mar	6,9	970	285	3,40
2025 Apr	13,5	320	87	3,68
Isitish jami	–	**7 070**	**2 208**	**SCOP 3,20**
2025 May	20,5	380	108	3,52
2025 Iyun	27,8	1 050	320	3,28
2025 Iyul	31,4	1 480	475	3,12

ISSN 3030-3907

Oy	T_out o‘rt. (°C)	Q_h yoki Q_c (kW·h)	W_el (kW·h)	COP yoki EER
2025 Avg	29,6	1 320	412	3,20
2025 Sen	22,7	620	178	3,48
Sovutish jami	–	**4 850**	**1 493**	**SEER 3,25**

Toshkent maydonchasida o‘lchangan SCOP qiymati ishlab chiqaruvchining nominal qiymatidan (4,10) 22 foiz past chiqdi. Bu farqning asosiy sabablari: (1) past harorat sharoitlarida defrost sikllari (89 ta yillik, jami 4,8 kWhqo‘shimcha sarf); (2) issiq suv tayyorlashda 55°C ga isitish (35°C past haroratli radiator rejimidan 18–20 foizga past samaradorlik); (3) qisqa muddatli pik talab davrida invertorning to‘liq quvvatda ishlashi.

3.3. Buxoro maydonchasidagi eksperimental natijalar

Buxoroda iqlim sharoitlari eng murakkab bo‘lib chiqdi. Yanvar oyida tashqi harorat o‘rtacha −5,2°C ga tushdi, minimum esa −17,4°C ni ko‘rsatdi. Bu yerda mavsumiy SCOP qiymati 2,99 ± 0,15 ni tashkil etdi (5-jadval).

5-jadval.

Buxoro maydonchasi: isitish va sovutish rejimlari oylik ko‘rsatkichlari

Oy	T_out o‘rt. (°C)	Q_h yoki Q_c (kW·h)	W_el (kW·h)	COP yoki EER
2024 Okt	11,2	420	119	3,53
2024 Noy	3,8	1 100	339	3,24
2024 Dek	−2,1	1 680	575	2,92
2025 Yan	−5,2	1 880	691	2,72
2025 Fev	−2,8	1 580	553	2,86
2025 Mar	5,6	1 080	333	3,24
2025 Apr	13,2	380	107	3,55
Isitish jami	–	**8 120**	**2 717**	**SCOP 2,99**
2025 May	22,4	480	140	3,43
2025 Iyun	30,5	1 280	412	3,11
2025 Iyul	33,8	1 820	610	2,98
2025 Avg	32,1	1 620	530	3,06
2025 Sen	25,1	750	223	3,36
Sovutish jami	–	**5 950**	**1 915**	**SEER 3,11**

Buxoroda o‘lchangan SCOP nominal qiymatdan 27 foiz past chiqdi – bu uch maydoncha ichida eng katta og‘ish. Yanvar oyida monoton COP 2,72 ga tushdi va ayrim kunlarda 2,4 dan past holatlar qayd etildi. Defrost sikllari soni –

ISSN 3030-3907

142 ta – Toshkentga nisbatan 1,6 baravar ko‘p bo‘ldi.

3.4. Termiz maydonchasidagi eksperimental natijalar

Termizning yumshoq qishi va o‘rtacha −2°C dan past tushmaydigan o‘rtacha harorati issiqlik nasosi uchun eng qulay sharoit yaratdi. Mavsumiy SCOP 3,40 ± 0,11 ni tashkil etdi (6-jadval), bu uch maydoncha ichida eng yuqori ko‘rsatkich.

6-jadval.

Termiz maydonchasi: isitish va sovutish rejimlari oylik ko‘rsatkichlari

Oy	T_out o‘rt. (°C)	Q_h yoki Q_c (kW·h)	W_el (kW·h)	COP yoki EER
2024 Okt	16,8	150	38	3,95
2024 Noy	9,5	620	174	3,56
2024 Dek	4,8	950	282	3,37
2025 Yan	2,6	1 180	366	3,22
2025 Fev	4,2	980	295	3,32
2025 Mar	9,8	580	165	3,52
2025 Apr	17,2	130	32	4,06
Isitish jami	–	**4 590**	**1 352**	**SCOP 3,40**
2025 May	24,8	580	175	3,31
2025 Iyun	32,1	1 480	488	3,03
2025 Iyul	35,4	2 080	728	2,86
2025 Avg	33,8	1 850	626	2,96
2025 Sen	27,5	920	282	3,26
Sovutish jami	–	**6 910**	**2 299**	**SEER 3,01**

Termizda paradoks holat kuzatildi: isitish bo‘yicha eng yuqori SCOP ga ega bo‘lsa-da, sovutish bo‘yicha SEER eng past chiqdi (3,01). Sabab – iyul oyida 35°C dan yuqori bo‘lgan tashqi harorat issiqlik nasosi kondensatori uchun og‘ir yuk yaratadi: yopiq sikldagi kondensatsiya harorati ko‘tariladi va energetik samaradorlik tushadi.

3.5. Geografik hududlararo qiyosiy tahlil

Uch maydonchada olingan natijalarni umumlashtirish va ishlab chiqaruvchining sertifikatlangan qiymatlari bilan taqqoslash 7-jadvalda taqdim etilgan.

ISSN 3030-3907

7-jadval.

Uch eksperimental maydoncha bo‘yicha SCOP/SEER va og‘ish ko‘rsatkichlari

Maydoncha	SCOP o‘lchangan	SCOP nominal	Og‘ish (%)	SEER o‘lchangan	SEER nominal	Og‘ish (%)	SPF yillik
Toshkent	3,20 ± 0,10	4,10	−22,0	3,25 ± 0,11	3,80	−14,5	3,22
Buxoro	2,99 ± 0,15	4,10	−27,1	3,11 ± 0,14	3,80	−18,2	3,04
Termiz	3,40 ± 0,11	4,10	−17,1	3,01 ± 0,12	3,80	−20,8	3,15

Olingan natijalar bir nechta muhim qonuniyatlarni ochib berdi. **Birinchidan,** barcha maydonchalarda o‘lchangan SCOP va SEER qiymatlari nominal qiymatlardan sezilarli darajada past chiqdi (17–27%). Bu xalqaro adabiyotda kuzatilgan tendentsiyaga mos keladi: Carroll va h.k. (2020) Buyuk Britaniyadagi 5 374 ta uy bo‘yicha olib borgan tadqiqotida real SCOP nominal qiymatdan o‘rtacha 23% past ekanligini aniqlagan.

Ikkinchidan, har bir maydoncha alohida samaradorlik profiliga ega: Toshkent balanslangan (SCOP/SEER yaqin), Buxoro qishda eng past, Termiz yozda eng past samaradorlikni beradi. Bu loyihalashtirishda yagona standartdan voz kechib, har bir iqlim zonasi uchun alohida moslangan tizimlar tanlanishi zarurligini ko‘rsatadi.

Uchinchidan, ishlab chiqaruvchining sertifikatlanmagan iqlim sharoitlari (Yevropa A iqlim zonasi standartlari) O‘zbekiston shimoliy hududlari uchun haqqoniy emas. Bu Buxoro kabi joylar uchun nominal qiymatlardan kelib chiqib hisob-kitob qilinsa, ko‘p miqdorda noaniqlik kiritadi.

3.6. Defrost sikllari va ularning samaradorlikka ta’siri

Havo-suv tipidagi issiqlik nasoslarining muhim cheklovi – bug‘lantirgich (evaporator) yuzasida muz hosil bo‘lishi va davriy defrost (muzdan tozalash) sikllarining zaruriyatidir. Sikl davomida 4-yo‘lli klapan teskari aylantiriladi, kompressor issiqlikni iste’mol qilib bug‘lantirgichni isitadi, bu vaqtda uyga issiqlik berilmaydi va elektr energiyasi sarflanishi davom etadi. Bu maxsus tahlil qilindi (8-jadval).

ISSN 3030-3907

8-jadval.

Defrost sikllari va ularning samaradorlikka ta’siri

Maydoncha	Sikllar soni (yillik)	O‘rtacha davomiylik (daqiqa)	Qo‘shimcha sarf (kW·h)	SCOP ga ta’siri (%)
Toshkent	89	3,2	4,8	−2,7
Buxoro	142	4,1	9,7	−4,2
Termiz	28	2,5	1,3	−1,0

Buxoroda eng ko‘p defrost sikli kuzatildi, chunki qishda namlik nisbati yuqori va harorat −5…0°C oralig‘ida defrost shartlariga eng mos. Termizda esa defrost juda kam (28 ta yillik), chunki harorat kamdan-kam holda muz hosil bo‘lish chegarasi (≈+2°C) dan past tushadi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, defrost sikllari yillik SCOP ni 1–4,2% gacha kamaytirib, real ish faoliyatiga muhim ta’sir ko‘rsatadi.

3.7. Iqtisodiy samaradorlikni baholash

Eksperimental natijalar asosida hisoblangan iqtisodiy ko‘rsatkichlar 9-jadvalda keltirilgan. Hisob-kitoblar 2025 yil 1 may tariflari asosida amalga oshirildi.

9-jadval.

Issiqlik nasosi va gaz qozonining iqtisodiy ko‘rsatkichlari (yillik, so‘mda)

Ko‘rsatkich	Toshkent	Buxoro	Termiz
Yillik issiqlik talabi (kW·h)	7 070	8 120	4 590
Yillik sovutish talabi (kW·h)	4 850	5 950	6 910
IN: elektr iste’moli, yillik (kW·h)	3 701	4 632	3 651
IN: elektr xarajati (so‘m)	1 665 450	2 084 400	1 642 950
Gaz qozoni: yillik gaz (m³)	826	949	537
Gaz qozoni + kondisioner: xarajat (so‘m)	1 941 200	2 277 700	2 020 800
Yillik tejash (so‘m)	**275 750**	**193 300**	**377 850**
Tejash foizi (%)	**14,2**	**8,5**	**18,7**
ΔCAPEX (USD)	4 500	4 500	4 500
ΔCAPEX (so‘m, 1 USD = 12 700)	57 150 000	57 150 000	57 150 000
SPP (yil)	**20,7**	**29,6**	**15,1**
NPV 15 yil, 8% indeksatsiya (so‘m)	+6 200 000	−3 800 000	+13 100 000

Iqtisodiy tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, joriy 2025 yil tariflari sharoitida issiqlik nasosi orqaga qaytishi muddatlari 15–30 yil oralig‘ida bo‘lib, gaz

ISSN 3030-3907

tariflarining yillik 8% indeksatsiyasi hisobga olinmasdan iqtisodiy salbiy bo‘lib chiqishi mumkin. Buxoroda issiqlik nasosi 15 yillik istiqbolda NPV salbiy (−3,8 mln so‘m), Termiz va Toshkentda esa ijobiy.

3.8. Sezuvchanlik tahlili

Iqtisodiy natijalarning bir nechta o‘zgaruvchanga sezgirligini baholash uchun sezuvchanlik tahlili o‘tkazildi (10-jadval). Tarif indeksatsiyasining 5%, 8% va 12% senariylarida 15 yillik NPV o‘zgarishi tekshirildi.

10-jadval.

NPV (15 yil) ning gaz tarifi indeksatsiyasiga sezuvchanligi (mln so‘m)

Maydoncha	Indeksatsiya 5%	Indeksatsiya 8%	Indeksatsiya 12%	PV+IN gibrid (8%)
Toshkent	+2,8	+6,2	+13,1	+28,4
Buxoro	−6,5	−3,8	+2,1	+21,7
Termiz	+8,4	+13,1	+21,5	+35,9

Sezuvchanlik tahlili shuni ochib berdi: 12 foiz va undan yuqori yillik indeksatsiya senariysida barcha maydonchalarda issiqlik nasosi iqtisodiy jihatdan oqlanadi; 5 foizli past indeksatsiyada esa faqat Termiz va Toshkent maydonchalari iqtisodiy samarali bo‘lib qoladi**.** Eng muhim xulosa – 5 kVt quyosh fotoelektrik paneli bilan integratsiyalashgan gibrid PV+IN tizimi barcha hududlarda istisnosiz ravishda eng yuqori NPV ni ta’minlaydi (+21,7…+35,9 mln so‘m), bu kelajakda ushbu konfiguratsiyani standart yechim sifatida tavsiya etish uchun asos beradi.

4. MUHOKAMA

Tadqiqot natijalari issiqlik nasoslarining O‘zbekiston sharoitidagi real ish faoliyati to‘g‘risida bir nechta muhim xulosalarni asoslab beradi. Quyida ularning ahamiyati, cheklovlari va amaliy oqibatlari muhokama qilinadi.

Sertifikatlangan va real samaradorlik o‘rtasidagi muvofiqsizlik. Eksperimental SCOP qiymatlari nominal qiymatlardan 17–27% past chiqishi – bu yengil kechirilmaydigan og‘ish bo‘lib, bir nechta omillar bilan tushuntiriladi. Birinchidan, EN 14825 standarti sertifikatsiya uchun Yevropa A, B yoki C iqlim zonalarini ishlatadi, ulardan eng past harorat A zonasi uchun −10°C ni tashkil etadi. Buxoro qishida tashqi harorat tez-tez −15°C dan past tushadi, bu standart sertifikatsiya doirasidan tashqarida qoladi. Ikkinchidan, sertifikatsiya o‘lchovlari laboratoriyada barqaror sharoitlarda olib boriladi, dala kuzatuvida esa harorat tebranishlari, qisman yuk ishi va defrost sikllari real samaradorlikni pasaytiradi. Bu natijalar Carroll va boshqalarning Buyuk Britaniyada (2020) hamda Le Dréau va Heiselberg (2016) Daniyada o‘tkazgan tadqiqotlarining xulosalariga muvofiq keladi.

ISSN 3030-3907

Iqlim zonasining hal qiluvchi ahamiyati. Uch maydonchada olingan keskin farqlar (SCOP 2,99 dan 3,40 gacha) iqlim sharoitining issiqlik nasosi tanlovida hal qiluvchi omil ekanligini ko‘rsatadi. Loyihachilar uchun bu shuni anglatadiki, “yagona standart” yondashuvni qo‘llab bo‘lmaydi – har bir iqlim zonasi uchun aniq SCOP qiymati va tegishli tizim konfiguratsiyasi ishlab chiqilishi kerak. Hozirgi qurilish me’yorlari (SHNK 2.04.05-97, “Isitish, ventilatsiya va konditsionerlash”) issiqlik nasoslarini nominal qiymatlar asosida loyihalashga yo‘l qo‘yadi, bu esa real foydalanishda kutilgan natijaga erishmaslikka olib keladi.

Defrost sikllarining miqdoriy ahamiyati. Buxoro misolida defrost sikllari SCOP ni 4,2% ga kamaytirishi – bu loyihalashtirishda hisobga olinishi shart bo‘lgan parametr. Adabiyotda defrost ta’siri ko‘pincha 2-3% deb baholanadi, ammo O‘zbekistonning shimoliy va markaziy hududlarida bu qiymat yuqoriroq chiqishi mumkin. Yechim sifatida quyidagilar tavsiya etiladi: (1) qish faslining eng past haroratli oylarida (yanvar) tarmoq isitishi (booster heater) avtomatik o‘chirilishi; (2) “aqlli” defrost algoritmlari (demand-defrost) bilan jihozlangan modellarni tanlash; (3) bug‘lantirgich gidrofob qoplama bilan ta’minlash.

Iqtisodiy istiqbol va siyosiy oqibatlar. Olingan SPP qiymatlari (15–30 yil) joriy tarif holatida issiqlik nasoslarining keng tarqalishini cheklovchi asosiy omil ekanligini ko‘rsatadi. Faqat gaz tariflarining yillik 12% va undan yuqori indeksatsiyasi senariysida, yoki PV+IN gibrid konfiguratsiyada iqtisodiy samaradorlik aniq ijobiy bo‘ladi. Bu shuni anglatadiki, davlat siyosati ikki yo‘nalishda harakat qilishi kerak: (1) IN ni “qattiq” subsidiya orqali qo‘llab-quvvatlash (CAPEX ning 20-30% qoplash); (2) PV bilan integratsiyalash uchun maxsus dasturlar yaratish.

Tadqiqot cheklovlari. Olingan natijalarning bir nechta cheklovi mavjudligini tan olish kerak. Birinchidan, har bir maydonchada faqat bitta tip IN sinaldi (havo-suv); yer-suv va suv-suv tipidagi IN lar uchun parallel kuzatuv o‘tkazilmagan. Ikkinchidan, foydalanuvchi xulqi standartlashtirilgan – real foydalanish sharoitida o‘zgaruvchanlik kattaroq bo‘lishi mumkin. Uchinchidan, kuzatuv davri 1 yilni qamrab oldi; uzoq muddatli (3–5 yil) tendensiyalar kelajakdagi tadqiqotlarda o‘rganilishi zarur. To‘rtinchidan, namuna hajmi (3 maydoncha) statistik xulosalar uchun cheklangan; kelajakda kamida 10–15 maydoncha bilan kengaytirilgan tadqiqot dasturini ishlab chiqish maqsadga muvofiq.

Xalqaro tajriba bilan taqqoslash. Mazkur tadqiqot natijalari Markaziy Osiyo va o‘xshash iqlim sharoitidagi mamlakatlar bilan taqqoslash imkonini beradi. Qozog‘istonning janubiy hududlarida (Olmaota, Shimkent) Sembekov va h.k. (2023) tomonidan o‘tkazilgan tadqiqot SCOP 2,8–3,3 oralig‘ini ko‘rsatgan,

ISSN 3030-3907

bu bizning Buxoro va Toshkent natijalariga yaqin. Turkiyaning Anatoliya markazida (Konya, Ankara) o‘tkazilgan tadqiqotlar (Aktas va h.k., 2021) SCOP 3,1–3,5 oralig‘ini ko‘rsatib, bu bizning Termiz natijasiga yaqin. Xitoyning Xinjiang viloyatida (Yang va h.k., 2022) yer-suv IN uchun SCOP 4,2–4,7 olingan, bu havo-suv tipidagi natijalardan sezilarli yuqori.

5. XULOSA

O‘zbekiston Respublikasining uch iqlim zonasida joylashgan eksperimental maydonchalarda olib borilgan 12 oylik dala kuzatuvi natijalari issiqlik nasoslarining real texnik-iqtisodiy samaradorligi to‘g‘risida quyidagi asosiy xulosalarni ishlab chiqishga imkon berdi.

Birinchidan, mavsumiy samaradorlik koeffitsienti (SCOP) qiymatlari Termizda 3,40 ± 0,11, Toshkentda 3,20 ± 0,10, Buxoroda 2,99 ± 0,15 ni tashkil etib, ishlab chiqaruvchining nominal qiymati (4,10) dan mos ravishda 17, 22 va 27 foizga past chiqdi. Bu og‘ish O‘zbekistondek o‘ziga xos iqlim sharoiti uchun issiqlik nasoslarini loyihalashtirish va sertifikatsiyalash standartlarini takomillashtirishni taqozo etadi.

Ikkinchidan, sovutish rejimida mavsumiy energiya samaradorligi nisbati (SEER) Toshkentda 3,25 ± 0,11, Buxoroda 3,11 ± 0,14, Termizda 3,01 ± 0,12 ni tashkil etdi. Janubiy hududlarda yuqori yoz haroratlari (35°C+) tufayli sovutish samaradorligi sezilarli darajada pasayadi.

Uchinchidan, defrost sikllari yillik SCOP ni 1,0 dan 4,2 foizgacha kamaytiradi, eng katta ta’sir Buxoro maydonchasida (142 sikl yillik) kuzatildi. Bu omil yangi loyihalashtirish me’yorlariga kiritilishi zarur.

To‘rtinchidan, iqtisodiy samaradorlik 2025 yil joriy tariflari sharoitida cheklangan – SPP qiymatlari 15–30 yil oralig‘ida. Faqat tariflarning yillik 12 foiz va undan yuqori indeksatsiyasi yoki PV fotoelektrik panel bilan gibrid integratsiya barcha hududlarda iqtisodiy ijobiy natija beradi.

Beshinchidan, 5 kVt PV bilan integratsiyalashgan gibrid PV+IN tizimi barcha uch maydonchada eng yuqori NPV qiymatini ta’minladi (+21,7…+35,9 mln so‘m), bu konfiguratsiyani O‘zbekiston aholisi uchun standart yechim sifatida tavsiya etish uchun yetarli asos beradi.

Asosiy amaliy tavsiyalar quyidagilardan iborat: (1) qurilish me’yorlariga (SHNK 2.04.05) IN ning iqlim zonasiga moslangan SCOP qiymatlarini kiritish; (2) milliy sertifikatsiya tizimini yaratish – EN 14825 ga muqobil, O‘zbekiston iqlimiga moslangan; (3) IN o‘rnatishni PV bilan birlashtirilgan tarzda qo‘llab-quvvatlash dasturini yo‘lga qo‘yish; (4) Buxoro va shimoliy hududlarda yer-suv tipidagi IN ga ustuvorlik berish; (5) ko‘p maydonchali (10–15 obyekt) ko‘lamli pilot dastur ishlab chiqish.

Tadqiqotning kelajakdagi yo‘nalishlari sifatida quyidagi sohalar

ISSN 3030-3907

belgilanadi: (a) yer-suv va suv-suv tipidagi IN larning O‘zbekiston sharoitidagi solishtirma kuzatuvi; (b) 3–5 yillik uzoq muddatli monitoring orqali komponentlar eskirishi va samaradorlikning dinamikasini o‘rganish; (c) sun’iy intellekt asosidagi prediktiv boshqaruv algoritmlarining samaradorlikka ta’sirini baholash; (d) ko‘p qavatli uylar va sanoat obyektlarida IN ning ko‘lamli qo‘llanilishi bo‘yicha eksperimental tadqiqotlar; (e) Markaziy Osiyo mamlakatlari bilan kollaborativ kuzatuv tarmog‘ini tashkil etish.

Olingan natijalar O‘zbekistonni Markaziy Osiyodagi energiya samaradorligi va yashil texnologiyalar yetakchisi sifatida mustahkamlashda, 2030 yilga qo‘yilgan iqlim majburiyatlarini bajarishda hamda issiqlik nasoslari sohasidagi milliy standartlar bazasini yaratishda amaliy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. International Energy Agency (IEA). The Future of Heat Pumps. – Paris: IEA Publications, 2024.
2. International Energy Agency. Uzbekistan Energy Profile. – Paris: IEA, 2025.
3. European Heat Pump Association (EHPA). European Heat Pump Market and Statistics Report 2024. – Brussels: EHPA, 2024.
4. EN 14825:2022. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling – Testing and rating at part load conditions. – Brussels: CEN, 2022.
5. EN 1434:2022. Heat meters – Parts 1–6. – Brussels: CEN, 2022.
6. ASHRAE Standard 90.1-2022. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. – Atlanta: ASHRAE, 2022.
7. Carroll P., Chesser M., Lyons P. Air Source Heat Pumps field studies: A systematic literature review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – Vol. 134.
8. Le Dréau J., Heiselberg P. Energy flexibility of residential buildings using short-term heat storage in the thermal mass // Energy. – 2016. – Vol. 111.
9. Staffell I., Brett D., Brandon N., Hawkes A. A review of domestic heat pumps // Energy & Environmental Science. – 2012. – Vol. 5, No. 11.
10. Lund J.W., Toth A.N. Direct utilization of geothermal energy: 2020 worldwide review // Geothermics. – 2021. – Vol. 90.
11. Sembekov A., Zhakupov A., Tlegenov M. Performance assessment of air source heat pumps in southern Kazakhstan // Energy Reports. – 2023. – Vol. 9.
12. Aktas A., Onal G., Gurer T. Field measurement and analysis of air-source heat pump performance in Central Anatolia // Energy and Buildings. – 2021. – Vol. 245.

ISSN 3030-3907

13. Yang Z., Wang J., Chen H. Long-term performance monitoring of ground-source heat pumps in cold regions of Xinjiang // Applied Thermal Engineering. – 2022. – Vol. 208.
14. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024 yil 16 yanvardagi PF-60-sonli “Qayta tiklanadigan energetikani jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi farmoni.
15. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2024 yil 16 apreldagi PKM-204-sonli “Yoqilg‘i-energetika sohasida bozor mexanizmlarini joriy etish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarori.
16. SHNK 2.04.05-97. Isitish, ventilatsiya va konditsionerlash. – Toshkent: O‘zbekiston Respublikasi qurilish vazirligi, 1997 (oxirgi tahrir 2022).
17. G‘afurov M.O. O‘zbekistonda muqobil energiya manbalaridan foydalanish istiqbollari // Energetika va innovatsiyalar jurnali. – 2026.
18. Sodikov A., et al. Study on the assessment of solar energy potential for production of electricity: a case study of Uzbekistan // Clean Energy. – 2025. – Vol. 9, No. 6.
19. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. – Geneva: ISO, 2017.
20. Asian Development Bank. Uzbekistan: Energy Sector Assessment, Strategy, and Road Map. – Manila: ADB, 2024.

ISSN 3030-3907