

**QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY  
DARAJA BERUVCHI PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY  
KENGASH ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

---

**QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**MIRZAYOROVA SEVARA UBAYDULLAYEVNA**

**KOMBINATSIYALASHGAN KO‘P POG‘ONALI QUYOSH SUV  
CHUCHUTGICH QURILMASINI ISHLAB CHIQISH**

**05.05.04 – Sanoat issiqlik energetikasi**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Qarshi – 2025**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati  
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

<b>Mirzayorova Sevara Ubaydullayevna</b> Kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasini ishlab chiqish .....	3
<b>Мирзаярова Севара Убайдуллаевна</b> Разработка комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки .....	21
<b>Mirzayarova Sevara Ubaydullaevna</b> Development of a combined multi-stage solar desalination plant .....	41
<b>E'lon qilingan ishlar ro'uxati</b> Список опубликованных работ List of published works .....	45

**QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY  
DARAJA BERUVCHI PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY  
KENGASH ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

---

**QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**MIRZAYOROVA SEVARA UBAYDULLAYEVNA**

**KOMBINATSIYALASHGAN KO‘P POG‘ONALI QUYOSH SUV  
CHUCHUTGICH QURILMASINI ISHLAB CHIQISH**

**05.05.04 – Sanoat issiqlik energetikasi**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Qarshi – 2025**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.PhD/T5373 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya ishi Qarshi davlat texnika universitetida bajarilgan.  
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida ([www.qmii.uz](http://www.qmii.uz)) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:** **Fayziyev Tulqin Amirovich**  
texnika fanlari nomzodi, professor

**Rasmiy opponetlar:** **Samiyev Kamoliddin A'zamovich**  
texnika fanlari doktori, professor;  
**Sattorov Bobonazar Nuftillayevich**  
texnika fanlari nomzodi, professor.

**Yetakchi tashkilot:** **Toshkent Davlat Texnika Universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Qarshi davlat texnika universiteti huzuridagi ilmiy daraja beruvchi PhD.03/30.09.2020.t.111.03 raqamli ilmiy kengash asosidagi bir martalik ilmiy kengashda 2025 yil "23" 10 soat 15<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 180100, Qarshi shahri, Mustaqillik ko'chasi, 225-uy. Qarshi davlat texnika universiteti konferensiyalar zali. Tel.: (+99875) 224-02-89, faks: (8375) 224-13-95, e-mail: [kief\\_info@edu.uz](mailto:kief_info@edu.uz)).

Dissertatsiya bilan Qarshi davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 154 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 180100, Qarshi shahri, Mustaqillik ko'chasi, 225-uy. Tel.: (+99875) 224-02-89, faks: (8375) 224-13-95 e-mail: [kief\\_info@edu.uz](mailto:kief_info@edu.uz)).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «03» 10 kuni tarqatildi.  
(2025 yil «03» 10 dagi № 35 raqamli reestr bayonnomasi).



**G.N. Uzoqov**  
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik ilmiy kengash raisi, texnika fanlari doktori, professor

**X.A. Davlonov**  
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik ilmiy kengash kotibi, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

**B.E. Xayriddinov**  
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori, professor

## KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati.** Jahonda aholini chuchuk suv bilan ta'minlashda quyosh energetik qurilmalari asosidagi energiya samarador texnologiyalardan foydalanish muhim yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Yer yuzasidagi suvning 97% qismini sho'r suv, qolgan 2% qismi shimoliy va janubiy qutblardagi muzliklarga tegishli bo'lib, faqatgina 1% qismi ichimlik suvi hisoblanadi<sup>1</sup>. Hisob-kitoblarga ko'ra, 2035 yilga borib dunyo aholisining 1/4 qismi suv tanqisligidan aziyat chekadi, 2/3 qismi esa suv tanqisligini hamda 2050 yilga borib dunyo aholisining 1/2 qismi kuchli suv tanqisligini boshdan kechiradi<sup>2</sup>. Shu sababli, aholini chuchuk suv bilan ta'minlashda energiya samarador va yuqori unumdorlikka ega bo'lgan kombinatsiyalashgan quyosh suv chuchutgich qurilmalarini ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda quyosh energetik qurilmalari asosida ishlovchi kombinatsiyalashgan energiya samarador quyosh suv chuchutgich qurilmalarini ishlab chiqish, chuchuk suv ishlab chiqarish unumdorligini oshirish hamda qurilmaning energetik va eksergetik parametrlarini yaxshilashga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, quyosh suv chuchutgich qurilmalarining maqbul geometrik va konstruktiv parametrlarini aniqlash, qurilmadagi issiqlik va massa almashinuv jarayonlarini, energetik va eksergetik balanslarini modellashtirish va quyosh suv chuchutgich qurilmasining energetik va eksergetik samaradorliklarini hamda unumdorligini oshirish bo'yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanadi. Shu sababli, chuchuk suv olish uchun kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmalarini ishlab chiqish va ularning energetik, eksergetik, ekologik va iqtisodiy samaradorligini oshirishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda aholini ichimlik suvi bilan ta'minlash tizimini takomillashtirish, quyosh energetik qurilmalari asosidagi sho'r suvni chuchuklantirish texnologiyalarini ishlab chiqish, an'anaviy yoqilg'ilarni tejash imkonini beradigan kombinatsiyalashgan quyosh suv chuchutgich qurilmalarining samaradorligini oshirish bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlari amalga oshirilmoqda. 2019-2030 yillar davrida O'zbekiston Respublikasining "yashil" iqtisodiyotga o'tish strategiyasida "...energiya resurslari iste'molini diversifikatsiyalash va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni rivojlantirish..."<sup>3</sup> bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmalarini ishlab chiqish va joriy qilish dolzarb ilmiy-texnik masalalardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi "2022-2026 yillarda Yangi O'zbekistonni taraqqiyot strategiyasi to'g'risidagi" PF-60-son, 2020 yil 10 iyuldagi PF-4779-son "Iqtisodiyotning energiya samaradorligini

---

<sup>1</sup> <https://doi.org/10.3390/su141610136>

<sup>2</sup> <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.068>

<sup>3</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 4 oktabrdagi PQ-4477-son "2019-2030 yillar davrida O'zbekiston Respublikasining "yashil" iqtisodiyotga o'tish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi Qarori.

o'shish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg'i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" gi Farmonlari, 2019 yil 22 avgustdagi PQ-4422-son "Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanadigan energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to'g'risida" gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi.** Dissertatsiya ishi bo'yicha tadqiqotlar Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. "Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish usullarini rivojlantirish, nanotexnologiyalar, fotonika va boshqa ilg'or texnologiyalar va qurilmalarni yaratish" ustuvor yo'nalishiga mos keladi.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** Kombinatsiyalashgan quyosh suv chuchutgich qurilmalarining energiya samaradorligi va unumdorligini oshirish, issiqlik-texnik parametrlarini optimallashtirish bo'yicha sohaning yetakchi olimlari M. Dashtban (Eron), U. Caldera (Germaniya), T. Arunkumar (Hindiston), L. Mu (Xitoy), A. Kabeel (Misr), R. Sathyamurthy (Hindiston), A.M. Manokar (Hindiston), F.A. Essa (Misr), S.W. Sharshir (Xitoy), G.N. Tiwari(Hindiston), H.A. Kumar (Hindiston), G. Raj (Hindiston), S. Yadav (Hindiston) va R. Bayramov (O'zbekiston)lar katta hissa qo'shgan.

Respublikamizda energiya samarador quyosh suv chuchutgich qurilmalarini ishlab chiqish bo'yicha yetakchi olimlar R.A. Zaxidov, R.R. Avezov, A.B. Vardiyashvili, B.M. Achilov, T.D. Jo'rayev, S.Q. Qahhorov, Sh.M. Mirzayev, J.S. Axatov, O.S. Komilov va M.S. Mirzayevlar tomonidan tadqiqotlar olib borilgan.

Quyosh suv chuchutgich qurilmalarining energiya samaradorligi va unumdorligini oshirish bo'yicha o'tkazilgan ilmiy tadqiqotlarda erishilgan ijobiy natijalarga qaramasdan, ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining unumdorligini oshirish, kombinatsiyalashgan quyosh kollektorli va tashqi kondensatorli ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasini ishlab chiqish, suv chuchutgich qurilmasining shaffof qoplamasi, sho'r suv asosida sodir bo'ladigan issiqlik almashinuv jarayonlarining issiqlik balansini matematik modellashtirish, kombinatsiyalashgan quyosh suv chuchutgich qurilmasining energetik va eksergetik balanslarini modellashtirish, chuchuk suv bo'yicha unumdorlikni oshirish uchun sho'r suvni quyosh suv kollektorlari yordamida dastlabki qizdirish hamda bug'latish kamerasidagi bug'ni tashqi kondensatorida kondensatsiyalash asosida energiya samaradorlikni oshirish masalalari yetarlicha o'rganilmagan. Shu sababli, energiya samarador kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmalarini ishlab chiqish va joriy etish dolzarb ilmiy-texnik masala hisoblanadi.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarini bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Qarshi davlat texnika universitetining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining "Qayta tiklanadigan energiya manbalari asosidagi energiya samarador qurilmalarni

yaratish va ulardan foydalanishning ilmiy-amaliy asoslarini ishlab chiqish” mavzusidagi ilmiy-tadqiqot ishlari doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasini ishlab chiqish va energiya samaradorligini asoslashdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

ko‘p pog‘onali va kombinatsiyalashgan quyosh suv chuchutgich qurilmalari konstruksiyalarining zamonaviy holatini tahlil qilish;

quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli kombinatsiyalashgan ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining prinsipial sxemasini ishlab chiqish va issiqlik-texnik parametrlarini asoslash;

kombinatsiyalashgan ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining energetik va eksergetik balanslarini modellashtirish va sonli tadqiqot qilish;

kombinatsiyalashgan ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasida issiqlik almashinuv jarayonlarini va chuchuk suv bo‘yicha unumdorlikni tajribaviy tadqiqot qilish;

kombinatsiyalashgan ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining energetik, eksergetik, ekologik va iqtisodiy samaradorligini asoslash.

**Tadqiqotning ob‘yekti** sifatida kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasi olingan.

**Tadqiqotning predmeti** ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining energetik va eksergetik balanslari, quyosh suv chuchutgich qurilmasidagi issiqlik va massa almashinuv jarayonlari, quyosh suv kollektor va bak-akkumulyatorli tizimning issiqlik almashinuv rejimlari hisoblanadi.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida matematik modellashtirish, termodinamika, issiqlik va massa almashinuvi asoslari, o‘xshashlik nazariyasi, energetik va eksergetik tahlil, quyosh energetik qurilmalarini tajribaviy tadqiqot qilish va tajriba natijalarini umumlashtirish usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

quyosh suv chuchutgich qurilmasi, quyosh suv kollektori va tashqi kondensatorni kombinatsiyalashtirish asosida quyosh nurlanish energiyasi, quyosh suv kollektori va bak-akkumulyatorda zahiralangan issiqlikdan bir vaqtda foydalanish imkonini beradigan takomillashtirilgan ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasi ishlab chiqilgan (FAP 02365);

ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining chuchuk suv bo‘yicha unumdorligini oshirish maqsadida tashqi kondensator, quyosh suv kollektori va bak-akkumulyatorda olingan qo‘shimcha issiqlik hisobiga quyosh energiyasi asosida ishlovchi sho‘r suvni chuchuklantirish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining bug‘lanish kamerasining shaffof qoplamasi, ichki qismidagi sho‘r suv va absorberining haroratlarini vaqt bo‘yicha o‘zgarishini hisoblash imkonini beradigan, energiya va eksergiya balansi tenglamalari asosidagi matematik model ishlab chiqilgan;

quyosh nurlanish intensivligi, tashqi havo harorati, sho‘r suvning kirish va chiqishdagi haroratlarini inobatga olgan holda kombinatsiyalashgan ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining bug‘latish kamerasining shaffof qoplamasi,

absorberi va sho‘r suv haroratlarini aniqlash imkonini beradigan dasturiy ta‘minot ishlab chiqilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

sho‘r suv dastlabki qizdiriladigan, quyosh suv kollektori, bak-akkumulyatori va tashqi kondensatorlardan tashkil topgan kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasi ishlab chiqilgan;

kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmalari asosida sho‘r suvni chuchuklantiruvchi energiya samarador chuchuklantirish texnologiyasi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi matematik modellashtirish, zamonaviy tadqiqot va o‘lchash usullaridan foydalanish asosida olingan natijalar bilan asoslanadi, nurlanishli issiqlik almashinuv nazariyasi, issiqlik almashinuv tajribalarni o‘tkazish va natijalarni umumlashtirish usullari qo‘llanilganligi hamda quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasini tajriba natijalarining ishonchliligi va nazariy natijalarga mos kelishi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasi bug‘lanish kamerasining shaffof qoplamasi, ichki qismidagi sho‘r suv va qoraytirilgan asoslarining haroratlari o‘zgarishini hisoblash imkonini beradigan, energetik va eksergetik balans tenglamalari asosida tuzilgan matematik model ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining energiya samaradorligini va chuchuk suv olish bo‘yicha unumdorligini oshirish uchun kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasi ishlab chiqilgan bo‘lib, tabiiy yoqilg‘ilar sarfini kamaytirishga imkon berishi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasini ishlab chiqish bo‘yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

chuchuk suv olish uchun quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli kombinatsiyalashgan ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasi uchun O‘zbekiston Respublikasi intellektual mulk agentligidan foydali modelga patent olingan (№FAP 02365; 23.11.2023). Natijada, ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining unumdorligini oshirish usuli va yuqori samarador quyosh suv chuchutgich qurilmasining konstruksiyasi ishlab chiqilgan;

kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasi Qashqadaryo viloyati, “Aloye-m” XKda joriy etilgan (Energetika vazirligining 2024 yil 27 noyabrdagi №04/13-9914-son ma‘lumotnomasi). Natijada, umumiy foydali maydoni 1 m<sup>2</sup> bo‘lgan ko‘p pog‘onali quyosh suv chuchutgich qurilmasidan bir mavsumda foydalanilganda 1476,6 l chuchuk suv olishiga hamda 5334960 so‘mlik iqtisodiy samaradorlikka erishilgan.

**Tadqiqot natijalarining aprotasiyasi.** Tadqiqot natijalari 6 ta ilmiy-amaliy anjumanlarda, shu jumladan, 2 ta halqaro va 6 ta respublika anjumanlarida aprotasiyadan o'tgan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 15 ta ilmiy ishlar chop etilgan bo'lib, shu jumladan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya qilingan 1 ta xalqaro va 4 ta respublika jurnallarida ilmiy maqolalar nashr qilingan hamda O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligining 1 ta foydali modelga patent va EHM uchun 3 ta dasturiy mahsulotga mualliflik guvohnomasi olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, adabiyotlar ro'yhati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 112 betni tashkil etadi.

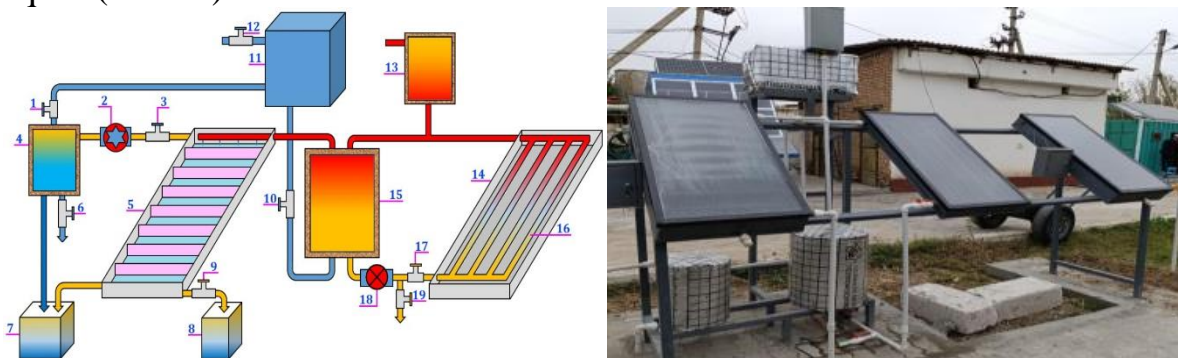
## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan, tadqiqot obyekti va predmeti tavsiflangan hamda respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi aniqlangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy qilinishi, ishning aprotasiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Kombinatsiyalashgan quyosh suv chuchutgich qurilmalarining zamonaviy holati”** deb nomlangan birinchi bobida jahon amaliyotida quyosh suv chuchutgich qurilmalaridan foydalanishning zamonaviy holati, kombinatsiyalashgan quyosh suv chuchutgich qurilmalarining konstruksiyalari tahlili va ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmalarini takomillashtirish bo'yicha tadqiqotlarning ilmiy-texnikaviy tahlili keltirilgan. Bajarilgan ilmiy tadqiqotlarda erishilgan ijobiy natijalarga qaramasdan, kombinatsiyalashgan quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasini ishlab chiqish, suv chuchutgich qurilmasining shaffof qoplamasi, sho'r suv va qoraytirilgan asosida sodir bo'ladigan issiqlik almashinuv jarayonlarining issiqlik balansini matematik modellashtirish, kombinatsiyalashgan quyosh suv chuchutgich qurilmasining energetik va eksergetik balanslarini modellashtirish hamda bug'latish kamerasidagi bug'ni tashqi kondensatorida kondensatsiyalash asosida energiya samaradorlikni oshirish masalalari yetarlicha o'rganilmagan. Mavjud ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmalarida olib borilgan tadqiqot va tahlillar asosida tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirildi.

Dissertatsiyaning **“Kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasini modellashtirish va sonli tadqiqoti”** deb nomlangan ikkinchi bobida kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich (KKPQSch) qurilmasining prinsipial sxemasini ishlab chiqilgan va parametrlari asoslangan, KKPQSch qurilmasining energetik va eksergetik balanslarini matematik modellari va sonli tadqiqoti natijalari keltirilgan. Sho'r suvdan chuchuk

suv olish jarayonlarida energiya resurslarini tejash va quyosh energiyasidan maksimal foydalanish maqsadida KPQSch qurilmasi, quyosh suv kollektori (QSK), quyosh fotoelektrik paneli (FEP), suv-bug‘li va suv-suvli issiqlik almashinuv qurilmalari asosida ishlovchi KKPQSch qurilmasining texnologik sxemasi ishlab chiqildi (1-rasm).



1, 3, 6, 9, 10, 12, 17, 19-ventillar; 2-ventilyator; 4-bug‘-suvli issiqlik almashinuv qurilmasi (tashqi kondensator); 5-ko‘p pog‘onali QSK qurilmasi; 7-chuchuk suvni yig‘ish idishi; 8-qoldiq sho‘r suv idishi; 11-sho‘r suv idishi; 13-kengaytiruvchi bak; 14-quyosh suv kollektori; 15-bak-akkumulyator; 16-quyosh suv kollektori quvurlari; 18-sirkulyatsion nasos

**1-rasm. KKPQSch qurilmasining prinsipial sxemasi**

KPQSch qurilmasining absorber plastinasi qalinligi 1,6 mm, o‘lchami 1000x500 mm (0,5 m<sup>2</sup>). Absorber plastinada jami 9 ta pog‘ona mavjud. Absorber plastina uzunligi 1000 mm, kengligi 500 mm va balandligi 100 mm bo‘lgan metal korpusni ichiga joylashtirilgan va usti 1000x500x4 mm o‘lchamli shaffof qoplama bilan yopilgan. Qurilma korpusining yon va orqa tomonlari penopleks bilan izolyatsiya qilingan. QSK absorber plastinasi qalinligi 1,6 mm, o‘lchami 1000x500 mm (0,5 m<sup>2</sup>). Kollektor ichida diametri 15 mm bo‘lgan jami 5 dona quvurlar joylashtirilgan. Bak-akkumulyator silindrik shaklda bo‘lib, hajmi 0,063 m<sup>3</sup>. Issiqlik almashinuv qurilmasi botirilgan zmeevik turidagi bo‘lib, zmeevik quvur diametri 25 mm, umumiy uzunligi 1100 mm va o‘ramlar soni 10 dona. Tashqi kondensator silindrik shaklda bo‘lib, hajmi 0,028 m<sup>3</sup>. Tashqi kondensator botirilgan zmeevikli turidagi bo‘lib, zmeevik quvur diametri 20 mm, umumiy uzunligi 800 mm va o‘ramlar soni 10 dona.

KKPQSch qurilmasida sho‘r suvni chuchuklantirish jarayonlarini optimal rejimini tashkil etish uchun KPQSch qurilmasi, bak-akkumulyator va tashqi kondensatorlarning energetik va eksergetik balanslari matematik modellashtirildi.

KKPQSch qurilmasi uchun umumiy energiya balansi tenglamasi:

$$\sum En_k - \sum En_{ch} = \left( \frac{dEn}{d\tau} \right)_{nh} \quad (1)$$

Shaffof qoplama uchun energiya balansi tenglamasi:

$$m_{sh} C_{p,sh} \frac{dt_{sh}}{d\tau} = \alpha_{sh} I A_{sh} + h_{s-sh} A_s (t_s - t_{sh}) - h_{k,sh-t.h} A_{sh} (t_{sh} - t_{t.h}) - h_{r,sh-o} A_{sh} (t_{sh} - t_o) \quad (2)$$

Bug‘lanayotgan sho‘r suv uchun energiya balansi tenglamasi:

$$I \tau_{sh} \alpha_s A_s + h_{a-s} A_a (t_a - t_s) - h_{s-sh} A_s (t_s - t_{sh}) = m_s C_{p,s} \frac{dt_s}{d\tau} \quad (3)$$

Absorber plastinasi uchun energiya balansi tenglamasi:

$$\tau_{sh} \tau_s \alpha_a A_a I = h_{a-s} A_a (t_a - t_s) + U_a A_a (t_a - t_{t.h}) + m_a C_{p,a} \frac{dt_a}{d\tau} \quad (4)$$

Yuqoridagi (1)-(4) tenglamalar asosida shaffof qoplama, bug‘lanayotgan sho‘r suv va absorber plastinaning haroratlarini vaqt bo‘yicha o‘zgarishini aniqlash imkonini beradigan tenglamalarga ega bo‘lamiz:

$$\frac{dt_{sh}}{d\tau} = \frac{\alpha_{sh}A_{sh}}{m_{sh}C_{p,sh}} I - \frac{h_{s-sh}A_s + (h_{k,sh-t,h} + h_{r,sh-o})}{m_{sh}C_{p,sh}} t_{sh} + \frac{h_{s-sh}A_s}{m_{sh}C_{p,sh}} t_s + \frac{h_{k,sh-t,h}A_{sh}}{m_{sh}C_{p,sh}} t_{sh} + \frac{h_{r,sh-o}A_{sh}}{m_{sh}C_{p,sh}} t_o \quad (5)$$

$$\frac{dt_s}{d\tau} = \frac{\tau_{sh}\alpha_s A_s}{m_s C_{p,s}} I - \frac{h_{a-s}A_a + h_{s-sh}A_s}{m_s C_{p,s}} t_s + \frac{h_{a-s}A_a}{m_s C_{p,s}} t_a + \frac{h_{s-sh}A_s}{m_s C_{p,s}} t_{sh} \quad (6)$$

$$\frac{dt_a}{d\tau} = \frac{\tau_{sh}\tau_s\alpha_a A_a}{m_a C_{p,a}} I - \frac{(h_{a-s} + U_a)A_a}{m_a C_{p,a}} t_a + \frac{h_{a-s}A_a}{m_a C_{p,a}} t_s + \frac{U_a A_a}{m_a C_{p,a}} t_{t,h} \quad (7)$$

KPQSch qurilmasining umumiy issiqlik FIK qiymati:

$$\eta_{i,QSch} = \frac{LA_s(t_s - t_{sh})}{\tau_{sh}\tau_s\alpha_a I A_a} \quad (8)$$

Bak-akkumulyator qurilmasining issiqlik FIK qiymati:

$$\eta_{i,b.a} = \frac{m_2 C_{p,2}(t_2'' - t_2')}{m_1 C_{p,1}(t_1' - t_1'')} \quad (9)$$

Tashqi kondensator qurilmasining issiqlik FIK qiymati quyidagicha:

$$\eta_{i,t.k} = \frac{m_3 C_{p,3}(t_3'' - t_3')}{m_b(i_1' - i_1'')} \quad (10)$$

Yuqorida keltirilgan (8)-(10) tenglamalar asosida KKPQSch qurilmasining umumiy issiqlik FIK qiymatini aniqlash tenglamasiga ega bo‘lamiz:

$$\eta_{i,u} = \frac{LA_s(t_s - t_{sh})}{\tau_{sh}\tau_s\alpha_a I A_a + m_1 C_{p,1}(t_1' - t_1'') + m_b(i_1' - i_1'')} \quad (11)$$

Nazorat hajm uchun umumiy eksergiya balansi tenglamasi:

$$\left(\frac{dEx}{d\tau}\right)_{nh} = \sum Ex_k - \sum Ex_{ch} - \sum Ex_{yoiq} - \sum Ex_b \quad (12)$$

Kiruvchi eksergiya:

$$Ex_k = A_{sh} I \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{t_{t,h} + 273}{6000} \right)^4 - \frac{4}{3} \left( \frac{t_{t,h} + 273}{6000} \right) \right] \quad (13)$$

Issiqlik oqimi eksergiyasi:

$$Ex_s = m_s C_{p,s} (t_1'' - t_1') \left( 1 - \frac{t_{t,h} + 273}{t_s + 273} \right) \quad (14)$$

Chiquvchi eksergiya:

$$Ex_{ch} = \frac{m_b r}{3600} \left( 1 - \frac{t_{t,h} + 273}{t_s + 273} \right) \quad (15)$$

Shaffof qoplama uchun eksergiya balansi tenglamasi:

$$E_{sh} = Ex_{sh-t,h} + Ex_{b,sh} = \alpha_{sh} Ex_q + Ex_{b-sh} - \frac{dEx_{sh}}{d\tau} \quad (16)$$

Sho‘r suv uchun eksergiya balansi tenglamasi:

$$E_s = Ex_{b,s1} + Ex_{b,s2} + Ex_{y,s1-t,h} = \tau_{sh}\alpha_s A_s Ex_q + Ex_{a-s} + Ex_{s1-s2} + Ex_{b-sh} - \frac{dEx_s}{d\tau} - \frac{dEx_{s2}}{d\tau} - \frac{dEx_{s3}}{d\tau} \quad (17)$$

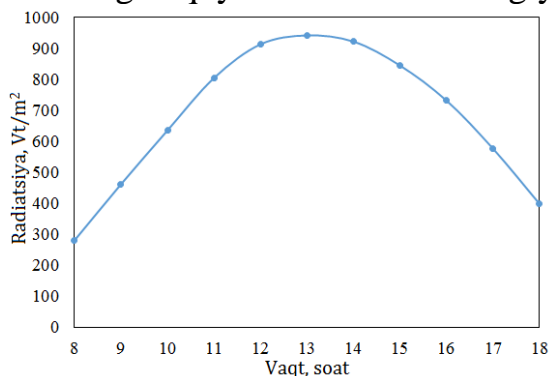
Absorber plastina uchun eksergiya balansi tenglamasi:

$$E_a = Ex_{a-t,h} + Ex_{b,a} = \alpha_a \tau_{sh} \tau_s Ex_q - Ex_{a-s} - \frac{dEx_a}{d\tau} \quad (18)$$

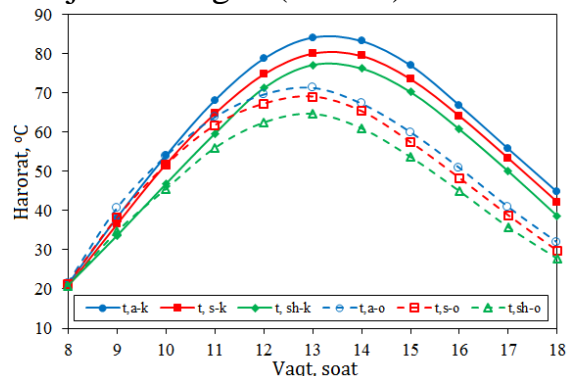
KKPQSch qurilmasining umumiy eksergetik FIK qiymati:

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{ch}}{Ex_k} = \frac{Ex_{b-sh}}{Ex_q} = \frac{Ex_{b-sh}}{Ex_q + Ex_{s1-s2} + Ex_{b-s3}} \quad (19)$$

KKPQSch qurilmasining energetik va eksergetik samaradorliklarini sonli tadqiqot qilishda Matlab/Simulink dasturiy vositasidan foydalanib blok sxema ishlab chiqildi. Sonli tadqiqot davomida olingan natijalar oddiy KPQSch qurilmasi bo'yicha olingan natijalar bilan taqqoslangan. Sonli tadqiqot jarayonida zarur quyosh nurlanish intensivligi natijalari sifatida 20.07.24 yil kuni soat 8<sup>00</sup> dan 18<sup>00</sup> gacha tushgan quyosh nurlanish energiyasi natijalari olingan (2-rasm).



**2-rasm. 20.07.24 yil kuni quyosh nurlanish intensivligini vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari**

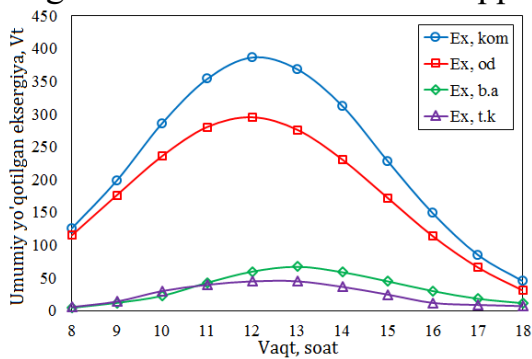


**3-rasm. QSCh qurilmasida harorat o'zgarishini matematik modellashtirishni hisoblash natijalari**

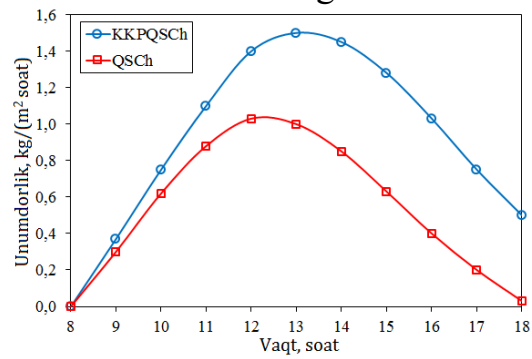
Yuqoridagi 2-rasmda keltirilgan natijalarda quyosh nurlanish intensivligi 7,5  $kVt\text{-soat}/m^2$  ni tashkil etgan. Sho'r suvni KPQSch qurilmasiga kirishdagi sarfi 0,07  $kg/min$  bo'lganda sho'r suv (s), shaffof qoplama (sh) va absorber plastina (a) haroratlarini vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari 3-rasmda ko'rsatilgan. Natijalardan ko'rinib turibdiki, sho'r suvning maksimal harorati oddiy va KKPQSch qurilmasida mos ravishda 71,2°C va 84,1°C ni tashkil etgan, bunda KKPQSch qurilmada suvning maksimal harorati 18% ga yuqori bo'lgan. Bundan tashqari, sho'r suv, absorber plastina va shaffof qoplamalarning kunlik o'rtacha haroratlari KKPQSch qurilmada oddiy KPQSch qurilmasiga nisbatan mos ravishda 17,7%, 16,8% va 19,3% ga yuqori bo'lgan.

KKPQSch qurilmasida sho'r suvga issiqlik uzatish tezligi aniqlangan bo'lib, natijalarga ko'ra, kombinatsiyalashgan tizimdagi tashqi kondensator, bak-akkumulyator, oddiy va KKPQSch qurilmalarida kunlik uzatilgan umumiy issiqlik miqdori  $Q_{t.k} = 0,59 kVt$ ,  $Q_{b.a} = 1,41 kVt$ ,  $Q_{od} = 1,86 kVt$  va  $Q_{kom} = 3,27 kVt$  bo'lib, KKPQSch qurilmasida oddiy KPQSch qurilmasiga nisbatan 1,76 marta ko'p issiqlik miqdori uzatilgan. Energetik tahlil natijalariga ko'ra, KKPQSch qurilmaga uzatilgan umumiy issiqlik miqdorini 43,1% qismi bak-akkumulyator va qolgan 56,9% qismi KPQSch qurilmasi hissasiga to'g'ri keladi. Tashqi kondensator orqali yo'qotilgan issiqlik miqdori umumiy issiqlik miqdorining 18,04% qismini tashkil etadi. Oddiy va KKPQSch qurilmalarida, tashqi kondensator va bak-akkumulyatorlarda umumiy yo'qotilgan eksergiyani vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari 4-rasmda ko'rsatilgan. Natijalardan ko'rinib turibdiki, oddiy va KKPQSch qurilmasi, tashqi kondensator va bak-akkumulyatorlarda umumiy yo'qotilgan eksergiyaning kunlik miqdori  $Ex_{kom} = 2,53 kVt$ ,  $Ex_{od} = 1,99 kVt$ ,  $Ex_{b.a} = 0,37 kVt$  va  $Ex_{t.k} = 0,26 kVt$  ni tashkil etdi. Eksergetik tahlil natijalariga ko'ra, KKPQSch qurilmasida umumiy yo'qotilgan eksergiyaning 10,44% qismi tashqi kondensator, 14,55% qismi bak-akkumulyator va qolgan 75,01% qismi KPQSch

qurilmasi hissasiga to'g'ri keladi. Oddiy va KKPQSch qurilmalardagi chuchuk suvning unumdorliklarini o'zaro taqqoslanishi 5-rasmda ko'rsatilgan.



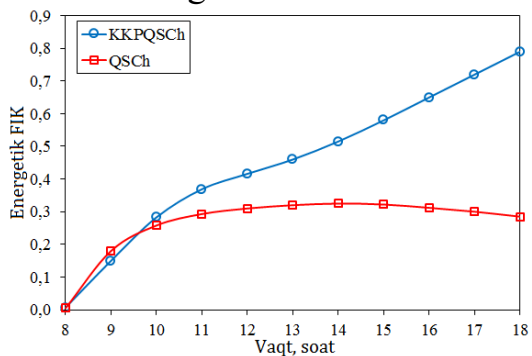
4-rasm. KPQSch qurilmasida umumiy yo'qotilgan eksergiyani vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari



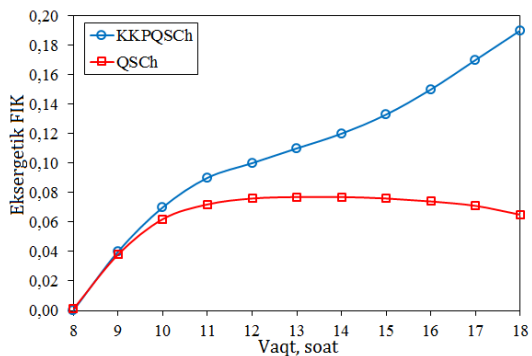
5-rasm. KPQSch qurilmasining chuchuk suv bo'yicha unumdorliklarini vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari

Tadqiqot natijalariga ko'ra, oddiy va KKPQSch qurilmalarda o'rtacha unumdorlik mos ravishda 0,5 va 0,9  $kg/(m^2 \cdot soat)$  ni tashkil etgan va KKPQSch qurilmada unumdorlik 55,6% ga yuqori bo'lgan. Chuchuk suvning kunlik chiqishi 5,94  $kg/kun$  dan 10,13  $kg/kun$  gacha, ya'ni taxminan 58,6% ga ortgan.

Oddiy va KKPQSch qurilmalarining energetik FIK qiymatlarini vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari 6-rasmda ko'rsatilgan. Natijalarga ko'ra, oddiy va KKPQSch qurilmalarida maksimal energetik FIK qiymati mos ravishda 0,33 va 0,85, o'rtacha energetik FIK qiymati 0,26 va 0,45 esa ni tashkil etgan, bunda KKPQSch qurilmasining energetik FIK qiymati 57,8% ga yuqori bo'lgan. Oddiy va KKPQSch qurilmalarining eksergetik FIK qiymatlarini vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari 7-rasmda ko'rsatilgan.



6-rasm. KPQSch qurilmalarining energetik FIK qiymatlarini vaqt bo'yicha o'zgarishi



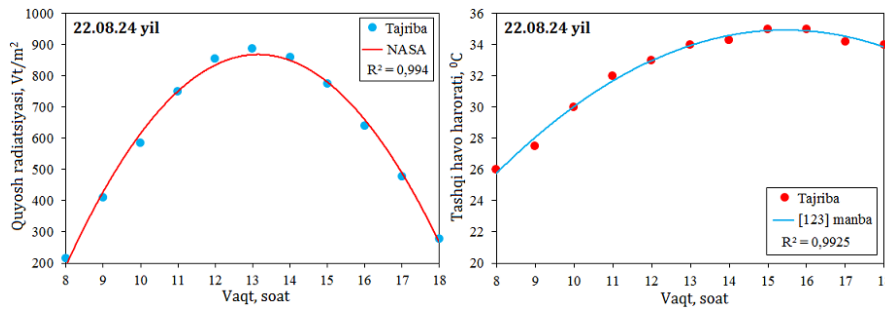
7-rasm. KPQSch qurilmalarining eksergetik FIK qiymatlarini vaqt bo'yicha o'zgarishi

Olingan natijalarga ko'ra, KKPQSch qurilmasining maksimal eksergetik FIK qiymati 0,19 ga yetgan. Oddiy KPQSch qurilmasida maksimal eksergetik FIK qiymati 0,08 ga yetgan. Oddiy va KKPQSch qurilmasining o'rtacha eksergetik FIK qiymati mos ravishda 0,06 va 0,11 ni tashkil etgan bo'lib, kombinatsiyalashgan qurilmaning o'rtacha eksergetik FIK qiymati 55% ga yuqori ekanligi aniqlandi.

Dissertatsiyaning **“Kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasini ishlab chiqish va tajribaviy tadqiqot qilish”** deb nomlangan uchinchi bobida tajriba qurilmasining umumiy tavsifi va tajriba tadqiqotlarini o'tkazish metodikasi, oddiy va KKPQSch qurilmasida issiqlik almashinuv jarayonlarini tajribaviy tadqiqoti natijalari, KKPQSch qurilmasida

Issiqlik almashinuv jarayonlarini hamda chuchuk suv bo'yicha unumdorliklarini tajribaviy tadqiqoti natijalari keltirilgan.

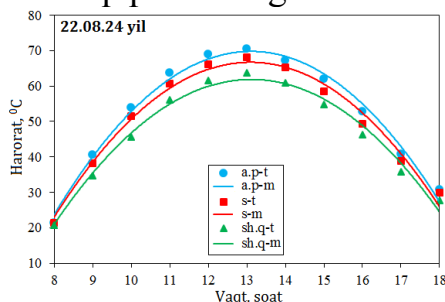
Oddiy KPQSCh qurilmasida issiqlik almashinuv jarayonlarining tajribaviy tadqiqotlari 2024 yilning 22 va 23 avgust kunlarida o'tkazilgan va avtoreferatda 22 avgustdagi natijalar keltirilgan. 2024 yilning 22 avgust kunda quyosh nurlanish intensivligi va tashqi havo haroratlarini vaqt bo'yicha o'zgarishi 8-rasmda ko'rsatilgan.



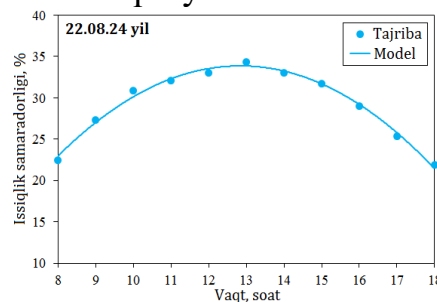
**8-rasm. Quyosh nurlanish intensivligi va tashqi havo haroratini vaqt bo'yicha o'zgarishi**

Yuqoridagi 8-rasmda keltirilgan natijalardan ko'rinib turibdiki, tajriba tadqiqotlarining natijalari manbadagi natijalardan juda kam farq qiladi. Tajriba tadqiqotlarida umumiy quyosh nurlanish energiyasi  $6,72 \text{ kVt}\cdot\text{soat}/\text{m}^2$  ni, natijalarning validatsiyasi yaqinlashish ishonchliligi bilan tekshirilganda mos ravishda  $R^2 = 0,994$  ni tashkil etgan. Tajriba tadqiqotlarida tashqi havo harorati mos ravishda  $26,7...35,4^\circ\text{C}$  oralig'ida o'zgargan, natijalarning validatsiyasi yaqinlashish ishonchliligi bilan tekshirilganda mos ravishda  $R^2 = 0,9925$  ni tashkil etgan.

Oddiy KPQSCh qurilmasiga uzatilayotgan sho'r suvning sarfi o'zgarimas  $0,07 \text{ kg}/\text{min}$  bo'lganda, sho'r suv, shaffof qoplama va absorber plastina haroratlarini vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari 9-rasmda ko'rsatilgan. Natijalardan ko'rinib turibdiki, absorber plastinaning harorati  $21,4...70,5^\circ\text{C}$ , sho'r suvning harorati  $21,3...68^\circ\text{C}$  va shaffof qoplamaning harorati  $20,8...63,7^\circ\text{C}$  oraliqda o'zgargan, bunda tajriba qiymatlarini nazariy qiymatlarga yaqinlashish ishonchliligi mos ravishda  $R^2 = 0,9866$ ,  $R^2 = 0,9829$  va  $R^2 = 0,9838$  ni tashkil etgan. Tahlil natijalaridan ko'rinib turibdiki, nazariy va tajriba natijalarining maksimal xatoligi 5% dan oshmaydi, demak ishlab chiqilgan matematik modeldan absorber plastina, sho'r suv va shaffof qoplamaning haroratlarini hisoblashda to'liq foydalanish mumkin.



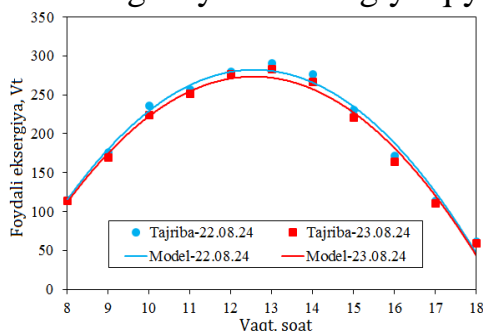
**9-rasm. Oddiy KPQSCh qurilmasida haroratni o'zgarishi natijalari**



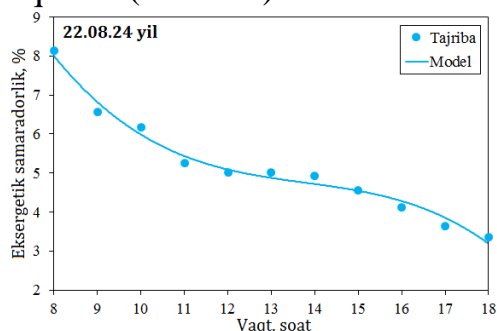
**10-rasm. Oddiy KPQSCh qurilmasining issiqlik samaradorlik koeffitsiyentini o'zgarishi natijalari**

Oddiy KPQSCh qurilmasining issiqlik samaradorlik koeffitsiyentini vaqt bo'yicha o'zgarishi 10-rasmda keltirilgan. 10-rasmdagi natijalardan ko'rinib

turibdiki, KPQSCh qurilmasining bug‘latish kamerasining kunlik o‘rtacha issiqlik samaradorligi 29,2% ga yetgan, bunda natijalarning yaqinlashish ishonchliligi  $R^2 = 0,9902$  ni tashkil etgan. Tashqi havo, sho‘r suv, shaffof qoplama va absorber plastinaning haroratlarini tajribaviy qiymatlari asosida oddiy KPQSCh qurilmasidagi foydali eksergiya qiymatlari aniqlandi (11-rasm).

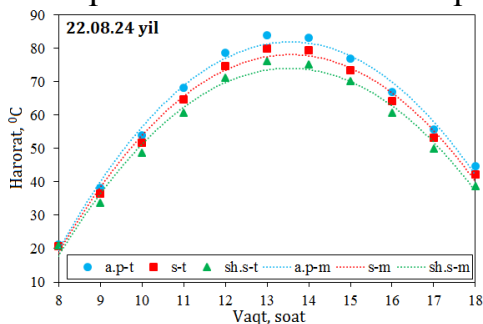


11-rasm. Oddiy KPQSCh qurilmasida foydali eksergiyani o‘zgarishi natijalari

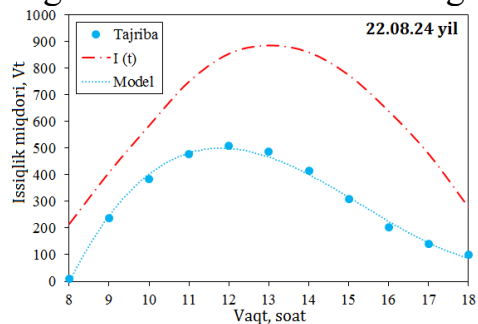


12-rasm. Oddiy KPQSCh qurilmasining eksergetik samaradorligini vaqt bo‘yicha o‘zgarishi

Yuqoridagi 11 va 12-rasmlarga ko‘ra, oddiy KPQSCh qurilmasidagi foydali eksergiya miqdori mos ravishda 60,8...295,0 Vt va 58,7...282,4 Vt oralig‘ida o‘zgargan bo‘lib, bunda natijalarning yaqinlashish ishonchliligi  $R^2 = 0,9853$  va  $R^2 = 0,9832$  ni tashkil etgan. Foydali eksergiya miqdorining nazariy va tajribaviy natijalari asosida oddiy KPQSCh qurilmasining eksergetik samaradorligi aniqlandi (12-rasm). Natijalardan ko‘rinib turibdiki, KPQSCh qurilmasining eksergetik samaradorligi 3,4...8,1% oralig‘ida o‘zgargan, bunda natijalarning yaqinlashish ishonchliligi  $R^2 = 0,9836$  ni tashkil etgan. Oddiy KPQSCh qurilmasida o‘tkazilgan nazariy va tajriba tadqiqotlari natijalaridan ko‘rinib turibdiki, taklif etilgan energetik va eksergetik modellardan KPQSCh qurilmasini loyihalashda foydalanish mumkin. KKPQSCh qurilmasining bug‘latish kamerasida shaffof qoplama, sho‘r suv va absorber plastina haroratlarini vaqt bo‘yicha o‘zgarishi 13-rasmda ko‘rsatilgan.



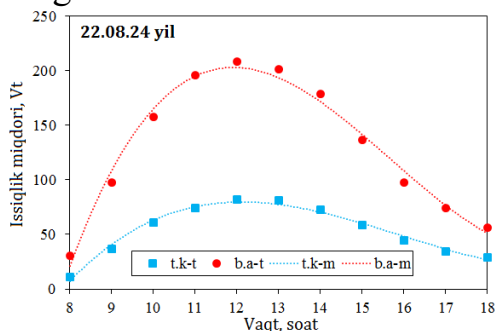
13-rasm. KKPQSCh qurilmasida haroratni o‘zgarishi natijalari



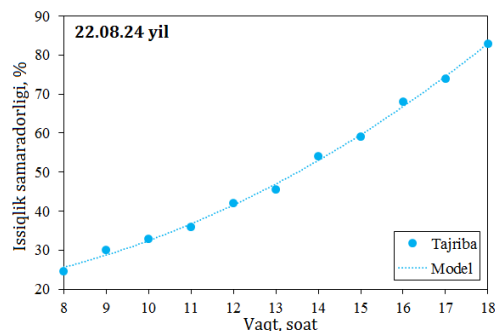
14-rasm. KKPQSCh qurilmasining bug‘latish kamerasida issiqlik miqdorini o‘zgarishi natijalari

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, absorber plastinaning harorati 21,3...83,9°C, sho‘r suvning harorati 20,7...80,0°C va shaffof qoplamaning harorati 21,0...76,1°C oraliqda o‘zgargan, bunda KKPQSCh qurilmasida maksimal haroratlar oddiy KPQSCh qurilmasiga nisbatan mos ravishda 19%, 17,6% va 19,5% ga yuqori bo‘lgan hamda natijalarning yaqinlashish ishonchliligi  $R^2 = 0,9886$ ,  $R^2 = 0,9901$  va  $R^2 = 0,9861$  ni tashkil etgan. KKPQSCh qurilmasining bug‘latish kamerasida issiqlik miqdorini o‘zgarishi natijalari 14-rasmda ko‘rsatilgan. Natijalardan ko‘rinib turibdiki, KKPQSCh qurilmasining bug‘latish kamerasiga 6,73  $kVt \cdot soat/m^2$

miqdorida quyosh nurlanish energiyasi uzatilganda jami  $3,71 \text{ kVt}\cdot\text{soat}/\text{m}^2$  energiya qabul qilingan, bu oddiy KPQSch qurilmasiga qaraganda 70,92% ga yuqori. KKPQSch qurilmasidagi bak-akkumulyator va tashqi kondensatorlarda uzatilgan issiqlik miqdorini vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari 15-rasmda ko'rsatilgan.

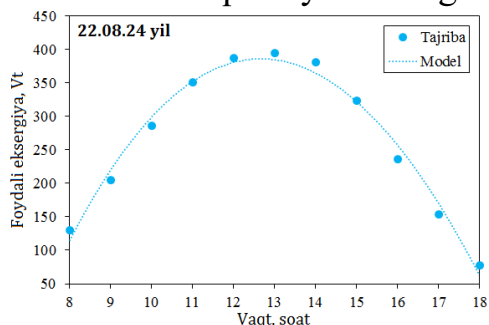


**15-rasm. Bak-akkumulyator va tashqi kondensatorlarda uzatilgan issiqlik miqdorini o'zgarishi**

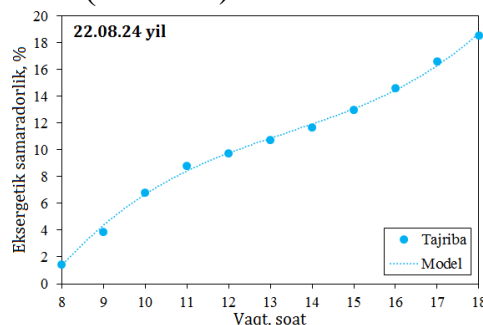


**16-rasm. KKPQSch qurilmasining issiqlik samaradorlik koeffitsiyentini o'zgarishi natijalari**

O'tkazilgan tajriba tadqiqotlarida, bak-akkumulyatordan jami  $1,43 \text{ kVt}$  issiqlik miqdori, tashqi kondensatordan jami  $0,585 \text{ kVt}$  issiqlik miqdori uzatilgan, bunda natijalarning yaqinlashish ishonchliligi mos ravishda  $R^2 = 0,9849$  va  $R^2 = 0,9847$  ni tashkil etgan. Uzatilgan issiqlik miqdorining aniqlangan qiymatlari bo'yicha KKPQSch qurilmasining issiqlik samaradorlik koeffitsiyentini vaqt bo'yicha o'zgarishi aniqlandi (16-rasm). Natijalardan ko'rinib turibdiki, KKPQSch qurilmasining kunlik o'rtacha samaradorligi 49,9%, bunda natijalarning yaqinlashish ishonchliligi  $R^2 = 0,9877$  ni tashkil etgan. Demak, KKPQSch qurilmasining kunlik o'rtacha issiqlik samaradorligi oddiy KPQSch qurilmasiga nisbatan 20,73% ga yuqori bo'lgan. KKPQSch qurilmasida tashqi havo, sho'r suv va absorberning haroratlari, quyosh nurlanish intensivligining tajribaviy qiymatlari asosida foydali eksergiya qiymatlari aniqlandi (17-rasm). 17-rasmdagi natijalardan ko'rinib turibdiki, KKPQSch qurilmasiga jami  $2,92 \text{ kVt}$  foydali eksergiya qabul qilingan. KKPQSch qurilmasida aniqlangan foydali eksergiya asosida eksergetik samaradorlikni vaqt bo'yicha o'zgarishi aniqlandi (18-rasm).



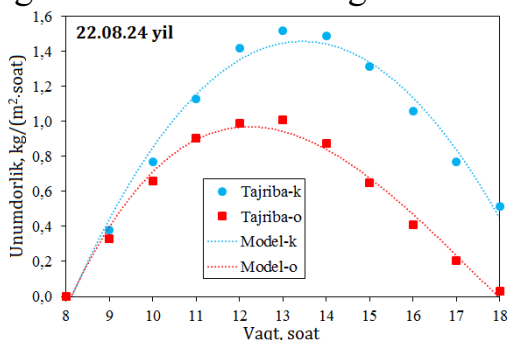
**17-rasm. KKPQSch qurilmasidagi foydali eksergiyani vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari**



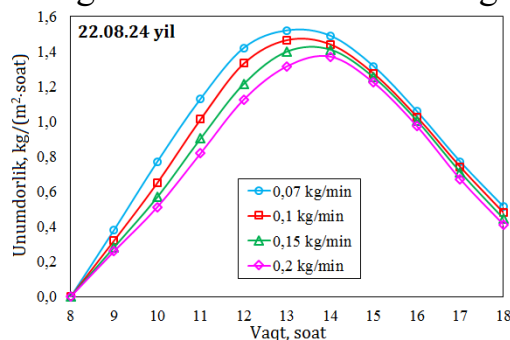
**18-rasm. KKPQSch qurilmasida eksergetik samaradorlikni vaqt bo'yicha o'zgarishi natijalari**

Natijalardan ko'rinib turibdiki, KKPQSch qurilmasining kunlik o'rtacha samaradorligi 10,53% ni tashkil etgan, natijalarning yaqinlashish ishonchliligi  $R^2 = 0,9874$  ni tashkil etgan. Demak, KKPQSch qurilmasining kunlik o'rtacha eksergetik samaradorligi oddiy KPQSch qurilmasiga nisbatan mos ravishda 5,3%

ga yuqori bo'lgan. Sho'r suvning KKPQSCh qurilmasiga kirishdagi sarfi 0,7 kg/min bo'lganda chuchuk suvning soatlik miqdorini o'zgarishi 19-rasmda ko'rsatilgan.



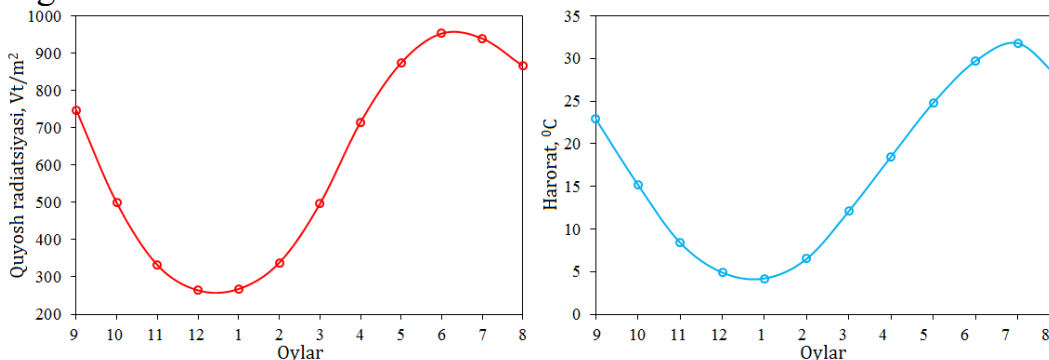
19-rasm. Chuchuk suv bo'yicha unumdorlikni soatlik miqdorlarini o'zgarishi natijalari



20-rasm. KKPQSCh qurilmasida chuchuk suv bo'yicha unumdorlikni o'zgarishi natijalari

Natijalardan ko'rinib turibdiki, KKPQSChda kunlik chuchuk suv miqdori 10,37 kg, oddiy KPQSChda kunlik chuchuk suv miqdori 6,06 kg ni tashkil etgan va unumdorlik KKPQSCh qurilmasida 1,71 marta yuqori bo'lgan. Sho'r suvning kirishdagi sarfi turlicha bo'lganda KKPQSCh qurilmasida chuchuk suv bo'yicha unumdorlikni soatlik miqdorini o'zgarishi natijalari 20-rasmda ko'rsatilgan. Natijalarga ko'ra, sho'r suvning kirishdagi sarfi 0,07, 0,1, 0,15 va 0,2 kg/min bo'lganda, kunlik o'rtacha unumdorlik 0,94, 0,88, 0,84 va 0,79 kg/min ni tashkil etgan. Oddiy KPQSCh qurilmasida sho'r suvning kirishdagi sarfi 0,07, 0,1, 0,15 va 0,2 kg/min bo'lganda, kunlik o'rtacha unumdorlik 0,55, 0,51, 0,48 va 0,45 kg/min ni tashkil etgan.

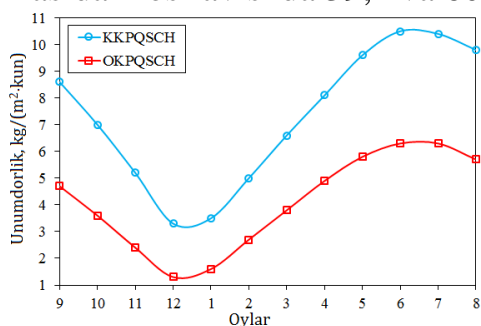
Yuqorida keltirilgan tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, KPQSCh qurilmasining unumdorligiga ta'sir etuvchi asosiy omillardan biri, sho'r suvning massaviy sarfi bo'lib, massaviy sarf 0,07 kg/min bo'lganda KPQSCh qurilmasi eng yuqori unumdorlikka erishadi. Shuning uchun oddiy va KKPQSCh qurilmalarining yillik unumdorligi bo'yicha tadqiqotlarni sho'r suvning massaviy sarfi 0,07 kg/min bo'lganda amalga oshiramiz. 2023 yil sentabrdan 2024 yil sentabrgacha Qarshi shahri sharoitida gorizontalsirtga tushgan quyosh nurlanish intensivligi 21-rasmda ko'rsatilgan.



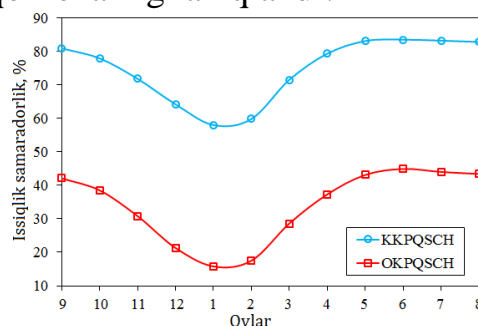
21-rasm. 2023 yil sentabrdan 2024 yil sentabrgacha quyosh nurlanish intensivligi va tashqi havo haroratini o'zgarishi

Yuqoridagi 21-rasmdan ko'rinib turibdiki, quyosh nurlanish intensivligining maksimal qiymati  $953 \text{ Vt/m}^2$  (iyun oyida) va minimal qiymati  $264,2 \text{ Vt/m}^2$  (dekabr oyida) ni tashkil etgan. Tashqi havo haroratining maksimal qiymati  $31,8^\circ\text{C}$  (iyun oyida) va minimal qiymati  $4,2^\circ\text{C}$  (yanvar oyida) ni tashkil etgan. Sho'r suvning

massaviy sarfi 0,07 kg/min bo'lganda oddiy va KKPQSch qurilmalarida chuchuk suv bo'yicha o'rtacha oylik unumdorlikni o'zgarishi 22-rasmda ko'rsatilgan. 22-rasmda keltirilgan natijalarga ko'ra, KKPQSch qurilmasida chuchuk suv bo'yicha unumdorlikning minimal qiymati qish mavsumida (dekabr oyida)  $3,3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{kun})$  va maksimal qiymati yoz mavsumida (iyun oyida)  $10,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{kun})$ , oddiy KPQSch qurilmasida unumdorlikni minimal qiymati qish mavsumida (dekabr oyida)  $1,3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{kun})$  va maksimal qiymati yoz mavsumida (iyun oyida)  $6,3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{kun})$  ni tashkil etdi. Bunda chuchuk suv bo'yicha unumdorlik KKPQSch qurilmasida mos ravishda 39,4 va 60% ga yuqori ekanligi aniqlandi.



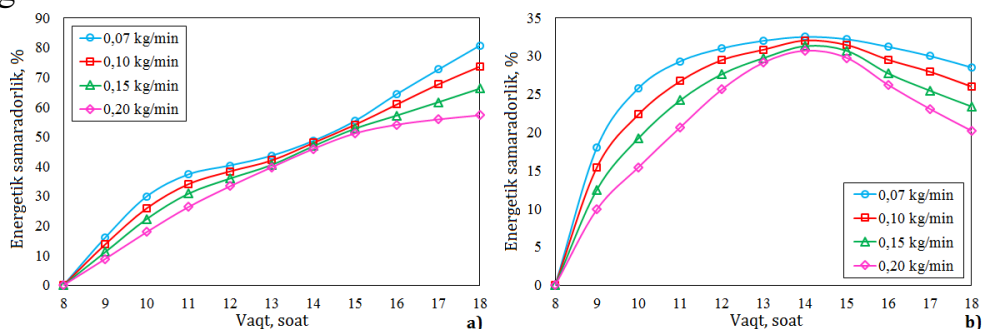
22-rasm. KKPQSch qurilmalarida oylik o'rtacha unumdorlikni taqqoslash natijalari



23-rasm. KKPQSch qurilmalarining oylik o'rtacha issiqlik samaradorlik qiymatlari

Yuqoridagi 23-rasmda keltirilgan natijalarga ko'ra, KKPQSch qurilmasida issiqlik samaradorlik qiymati qish faslida (dekabr) minimal 58% bo'lib, yoz faslida (iyun) maksimal 83,5%, oddiy KPQSch qurilmasida qish faslida (dekabr) minimal 15,8% bo'lib, yoz faslida (iyun) maksimal 44,9% ni tashkil etgan. Bunda KKPQSch qurilmaning issiqlik samaradorligi qish faslida 27,2% ga, yoz faslida 53,8% ga yuqori bo'lib, o'rtacha yillik issiqlik samaradorlik qiymati 45,5% ga yuqori ekanligi aniqlandi.

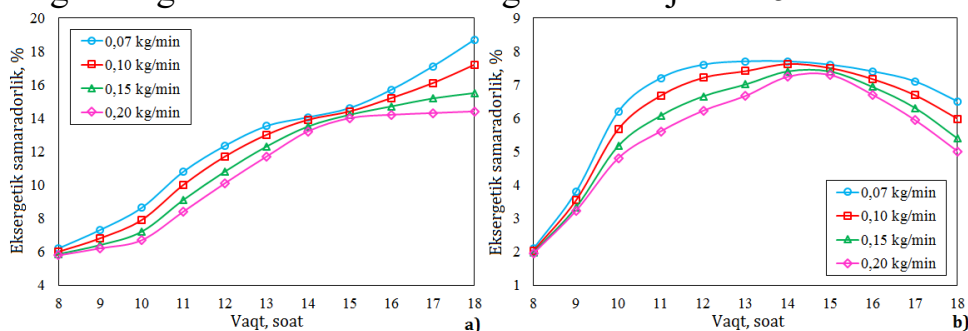
Dissertatsiyaning **“Kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining energetik, eksergetik, iqtisodiy va ekologik samaradorliklarini baholash”** deb nomlangan to'rtinchi bobida KKPQSch qurilmasining energetik eksergetik, iqtisodiy va ekologik samaradorliklarini baholash natijalari keltirilgan. Sho'r suvning kirishdagi sarfi turlicha bo'lganda KPQSch qurilmalarining energetik samaradorliklarini o'zgarishi 24-rasmda ko'rsatilgan.



24-rasm. KKPQSch (a) va oddiy KPQSch (b) qurilmasining energetik samaradorligini o'zgarishi

Natijalarga ko'ra, sho'r suvning kirishdagi sarfi 0,07, 0,1, 0,15 va 0,2 kg/min bo'lganda maksimal energetik samaradorlik qiymati KKPQSchda 80,7%, 73,6%, 66,2% va 57,2%, oddiy KPQSch qurilmasida 32,5%, 32,0%, 31,3% va 30,7% ni

tashkil etgan. Sho‘r suvning kirishdagi sarfi turlicha bo‘lganda KPQSch qurilmasining eksergetik samaradorlini o‘zgarishi natijalari 25-rasmda ko‘rsatilgan.



25-rasm. KKPQSch (a) va oddiy KPQSch (b) qurilmasining eksergetik samaradorligini o‘zgarish

Natijalarga ko‘ra, sho‘r suvning kirishdagi sarfi 0,07, 0,1, 0,15 va 0,2 kg/min bo‘lganda maksimal eksergetik samaradorlik qiymati KPQSchda 18,7%, 17,2%, 15,5% va 14,4%, oddiy KPQSch qurilmasida 7,7%, 7,6%, 7,4% va 7,3% ni tashkil etgan. Oddiy va KKPQSch qurilmasi uchun energiya asosidagi energiyani qoplash muddati qiymati mos ravishda 0,37 va 0,3 yil, eksergiya asosidagi energiyani qoplash muddati qiymati mos ravishda 3,72 va 2,86 yil ekanligi aniqlandi. Bank foiz stavkasi 10% va xizmat ko‘rsatish muddati 20 yil bo‘lganda bir litr chuchuk suvning narxi oddiy va KKPQSch qurilmalarida mos ravishda 184 va 165 so‘mni tashkil etgan va chuchuk suvning narxi KKPQSch qurilmasida 29 so‘mga (10,3%) arzon ekanligi aniqlandi. KPQSch qurilmalarining iqtisodiy va ekologik ko‘rsatkichlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

### KPQSch qurilmalarining iqtisodiy va ekologik ko‘rsatkichlari

Parametr	$S_{qmi}$ , ming so‘m	$S_{loy}$ , ming so‘m	$S_{it}$ , ming so‘m	$K$ , ming so‘m	$V_{t,g}$ , $m^3$	$M_{CO_2}$ , kg	$S_{CO_2}$ , ming so‘m	$T$ , yil	$E$
Kombinatsiyalashgan qurilma	988,5	98,9	131,8	4514,2	372,0	688,3	203,6	1,2	0,8
Oddiy qurilma	597,0	59,7	79,6	2726,3	159,6	295,3	87,3	1,7	0,6

Xizmat ko‘rsatish muddati 10 yil bo‘lganda KKPQSch qurilmasida  $CO_2$ ,  $SO_2$  va  $NO_x$  tashlamalari miqdori mos ravishda 3,19 t, 19,12 t va 73,31 t ga, OKPQSch qurilmasida mos ravishda 1,64 t, 9,84 t va 37,73 t ga kamaygan bo‘lib, KKPQSch qurilmasida  $CO_2$ ,  $SO_2$  va  $NO_x$  tashlamalari miqdorini kamayishi (ekologik samaradorligi) oddiy KPQSch qurilmaga nisbatan o‘rtacha 1,94 marta yuqori ekanligi hamda oddiy va KKPQSch qurilmalarida harajatlarni qoplash muddati mos ravishda 1,7 va 1,2 yil ekanligi aniqlandi.

### XULOSA

Dissertatsiya ishida qo‘yilgan vazifalarni hal etish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari asosida quyidagi xulosalar taklif qilindi:

1. Aholi va fermer xo‘jaliklarini chuchuk suv bilan ta‘minlash uchun quyosh suv kollektori va tashqi kondensatorlarni kombinatsiyalashtirish asosida quyosh

nurlanish energiyasi, quyosh suv kollektori va bak-akkumulyatordagi zahiralangan issiqlikdan bir vaqtda foydalanish imkonini beradigan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining texnologik sxemasi ishlab chiqildi.

2. Ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmalarining chuchuk suv bo'yicha unumdorligini, energetik va eksergetik samaradorliklarini oshirish imkonini beradigan kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasi ishlab chiqildi.

3. Kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasida shaffof qoplama, sho'r suv va absorber plastinaning haroratlarini, tashqi kondensator va bak-akkumulyatordagi sho'r suvning haroratini vaqt bo'yicha o'zgarishini energiya va eksergiya balansi tenglamalari yordamida aniqlash asosida energetik va eksergetik foydali ish koeffitsiyentlarini aniqlash imkonini beradigan matematik modellar ishlab chiqildi.

4. Kombinatsiyalashgan va oddiy ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmalarining o'rtacha energetik foydali ish koeffitsiyenti mos ravishda 0,45 va 0,26, eksergetik FIK qiymati 0,11 va 0,06 ni tashkil etdi, bunda energetik va eksergetik foydali ish koeffitsiyenti kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasida 57,8% va 55% ga yuqori ekanligi aniqlandi.

5. Kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasining issiqlik va eksergetik samaradorliklari tajribaviy tadqiqot qilinganda, o'rtacha issiqlik samaradorlik mos ravishda 49,9% bo'lib, oddiy ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasiga qaraganda 20,73% ga yuqori ekanligi, o'rtacha eksergetik samaradorlik 10,53% bo'lib, oddiy ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasiga nisbatan 5,3% ga yuqori ekanligi aniqlandi.

6. Kombinatsiyalashgan va oddiy ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmalarida chuchuk suvni chiqish miqdori tajribaviy tadqiqot qilinganda, kunlik chuchuk suv miqdori mos ravishda 10,37 va 6,06 kg bo'lib, kunlik unumdorlik kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasida 1,72 marta yuqori ekanligi, shuningdek, unumdorlikning minimal va maksimal qiymatlari 39,4 va 60% ga yuqori ekanligi aniqlandi.

7. Bank foiz stavkasi 10% va xizmat ko'rsatish muddati 20 yil bo'lganda kombinatsiyalashgan va oddiy qurilmalarda olingan bir litr chuchuk suvning o'rtacha narxi mos ravishda 253 va 282 so'm bo'lib, bu narx kombinatsiyalashgan qurilmada 29 so'mga (10,3%) arzon ekanligi hamda oddiy va kombinatsiyalashgan qurilmalarda harajatlarini qoplash muddati mos ravishda 1,7 va 1,2 yil ekanligi aniqlandi.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА  
PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ  
КАРШИНСКИЙ ГОСУДАСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  

---

**КАРШИНСКИЙ ГОСУДАСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МИРЗАЯРОВА СЕВАРА УБАЙДУЛЛАЕВНА**

**РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ  
СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

**05.05.04 – Промышленная теплоэнергетика**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Карши – 2025**

Тема диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в высшей аттестационной комиссии Министерстве при высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за B2025.1.PhD/T5373.

Диссертация выполнена в Каршинском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (русский, узбекский, английский) размещен на веб-странице Научного совета ([www.qmii.uz](http://www.qmii.uz)) и на информационно-образовательном портале «Ziynet» по адресу ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:** **Файзиев Тулкун Амирович**  
кандидат технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Самиев Камолиддин Аъзамович**  
доктор технических наук, профессор

**Сатторов Бобоназар Нуфтиллаевич**  
кандидат технических наук, профессор

**Ведущая организация:** **Ташкентский государственный технический университет**

Защита состоится « 25 » 10 2025 года в 15<sup>00</sup> часов на заседании разового Научного Совета на основе Научного совета PhD.03/30.09.2020.T.111.03 по присуждению ученых степеней при Каршинском государственном техническом университете (адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95 e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Каршинского государственного технического университета (зарегистрирована за № 154). (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95 e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)).

Автореферат диссертации разослан « 03 » 10 2025 года.  
(протокол рассылки № 35 от « 03 » 10 2025 г.)



**Г.Н. Узаков**  
Председатель разового научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

**Х.А. Давлонов**  
Ученый секретарь разового научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.т.н., доцент

**Б.Э.Хайридинов**  
Председатель научного семинара при разовом научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (PhD) диссертации)**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире использование энергоэффективных технологий на основе солнечных энергетических установок является одним из важнейших направлений в обеспечении населения пресной водой. На поверхности земли 97% воды это солёная вода, остальные 2% принадлежат ледникам северного и южного полюсов и только 1% является питьевой водой<sup>1</sup>. По оценкам, к 2035 году 1/4 населения мира будет страдать от нехватки воды, 2/3 будут испытывать нехватку воды, а 1/2 населения мира будет испытывать острую нехватку воды к 2050 году<sup>2</sup>. По этой причине, разработка энергоэффективных и высокопроизводительных комбинированных солнечных опреснительных установок важно, для обеспечения населения пресной водой.

В мире ведутся научно-исследовательские работы, направленные на разработку комбинированных энергоэффективных солнечных опреснительных установок, работающих на основе солнечных энергетических установках, повышение производительности производства пресной воды и улучшение энергетических и эксергетических параметров установок. Исследования в данном направлении считаются приоритетными, включая определение оптимальных геометрических и конструктивных параметров солнечных опреснителей, моделирование тепло- и массообменных процессов энергетических и эксергетических балансов в установке, повышение энергетической и эксергетической эффективности и производительности солнечных опреснительных установок. По этой причине, особое внимание уделяется разработке комбинированных многоступенчатых солнечным опреснительных установок с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором для получения пресной воды и повышения их энергетической, эксергетической, экологической и экономической эффективности.

В нашей республике ведутся научно-исследовательские работы по усовершенствованию системы обеспечения населения питьевой водой, разработке технологий опреснения солёной воды на основе солнечных энергетических установок, повышению эффективности комбинированных солнечных опреснительных установок, позволяющие сэкономить природные топливные ресурсы. В стратегии на 2019-2030 годах по переходу Республики Узбекистан к «зеленой» экономике, поставлены важные задачи по «...диверсификации потребления энергоресурсов и развитию использования возобновляемых источников энергии...»<sup>3</sup>. При реализации этих задач, одной из актуальных научно-технических задач является разработка и внедрение комбинированных многоступенчатых солнечных опреснительных установок с солнечным водяном коллектором и внешним конденсатором.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента

---

<sup>1</sup> <https://doi.org/10.3390/su141610136>

<sup>2</sup> <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.068>

<sup>3</sup> O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 4 oktabrdagi PQ-4477-son “2019-2030 yillar davrida O‘zbekiston Respublikasining “yashil” iqtisodiyotga o‘tish tsrategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi Qarori.

Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», №УП-4779 от 10 июля 2020 года «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов» от 10 июля 2020 года и №ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об оперативных мерах по повышению энергоэффективности экономического и социального секторов, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», а также других нормативно-правовых документов, принятых в данной области.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологии, фотоники и других передовых технологий».

**Степень изученности проблемы.** Зарубежные ведущие ученые, такие как M. Dashtban (Ирон), U. Caldera (Германия), T. Arunkumar (Индия), L. Mu (Китай), A. Kabeel (Эгипет), R. Sathyamurthy (Индия), A.M. Manokar (Индия), F.A. Essa (Эгипет), S.W. Sharshir (Китай), G.N. Tiwari (Индия), H.A. Kumar (Индия), G. Raj (Индия), S. Yadav (Индия), P. Байрамов (Узбекистан) и др. внесли большой вклад в повышение энергоэффективности и производительности, а также оптимизации теплотехнических параметров комбинированных солнечных опреснительных установок.

В нашей республике научные исследования по разработке энергоэффективных солнечных опреснительных установок проводили ряд ведущих ученых, в том числе P.A. Захидов, P.P. Аvezов, A.B. Вардияшвили, B.M. Ачилов, T.D. Джораев, C.K. Кахаров, Ш.M. Мирзаев, Ж.C. Ахатов, O.C. Комилов и M.C. Мирзаев. Несмотря на достигнутые положительные результаты научных исследований по повышению энергоэффективности и производительности солнечных опреснительных установок, повышение производительности многоступенчатых солнечных опреснительных установок, разработка комбинированных многоступенчатых солнечных опреснительных установок с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором, математическое моделирование теплового баланса процессов теплообмена, происходящих в прозрачных покрытиях, соленой воды и абсорбера опреснительных установках, моделирование энергетического и эксергетического балансов комбинированных солнечных опреснительных установок, вопросы повышения энергоэффективности на основе предварительного нагрева соленой воды с помощью солнечных водяных коллекторов и конденсации пара в испарительной камере во внешнем конденсаторе для повышения производительности опреснения воды недостаточно изучены. Поэтому разработка и внедрение эффективных комбинированных многоступенчатых солнечных опреснительных установок с

солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором является актуальной научно-технической задачей.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательской работы Каршинского инженерно-экономического института в рамках научно-исследовательских работ на тему «Создание энергоэффективных установок на основе возобновляемых источников энергии и разработка научно-практических основ их использования».

**Целью исследования** является разработка и обоснование энергоэффективности комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором.

**Задачи исследования:**

анализ современного состояния конструкций многоступенчатых и комбинированных солнечных опреснительных установок;

разработка принципиальной схемы и обоснование теплотехнических параметров комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором;

моделирование и численное исследование энергетического и эксергетического балансов комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки;

экспериментальное исследование теплообменных процессов и производительности пресной воды в комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установке;

обоснование энергетической, эксергетической, экологической и экономической эффективности комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки.

**Объектом исследования** является комбинированная многоступенчатая солнечная опреснительная установка с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором.

**Предметом исследования** являются энергетический и эксергетический балансы многоступенчатой солнечной опреснительной установки, тепломассообменные процессы в солнечной опреснительной установке, режимы теплообмена в системе бак-аккумулятора и солнечного водяного коллектора.

**Методы исследования.** В процессе исследования использованы методы математического моделирования, термодинамики, основы тепломассообмена, теория подобия, энергетический и эксергетический анализ, экспериментальные исследования солнечных энергетических установок и обобщение экспериментальных результатов.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана усовершенствованная многоступенчатая солнечная опреснительная установка на основе комбинирования солнечного

опреснительного устройства, солнечного водяного коллектора и внешнего конденсатора, что позволяет одновременно использовать энергию солнечного излучения, солнечного водяного коллектора и аккумулированной теплоты в бак-аккумуляторе (FAP 02365);

разработана высокоэффективная технология опреснения соленой воды на основе одновременного использования тепла внешнего конденсатора, солнечного водяного коллектора и бак-аккумулятора при повышении производительности пресной воды в многоступенчатой солнечной опреснительной установке для повышения использования степени интенсивности солнечного излучения;

разработаны математические модели на основе уравнений баланса энергии и эксергии, позволяющие определить изменения температуры прозрачного покрытия испарительной камеры, солёной воды внутри нее и затемненного основания комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором;

разработаны программные обеспечения, позволяющие определять изменения температуры в испарительной камере комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки с солнечным коллектором и внешним конденсатором, солнечном водяном коллекторе, внешнем конденсаторе и бак-аккумуляторе с учетом интенсивности солнечной радиации, температуры наружного воздуха, а также входной и выходной температур солёной воды.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана комбинированная многоступенчатая солнечная опреснительная установка с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором, состоящая из солнечного водяного коллектора, бак-аккумулятора и внешнего конденсатора, в которой осуществляется предварительный подогрев соленой воды;

разработана энергоэффективная технология опреснения солёной воды на основе комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования обосновывается результатами математического моделирования, современных методов исследований и измерений, теории теплообмена излучением, проведения экспериментов по теплообмену и применения методов обобщения результатов, а также подтверждается достоверностью экспериментальных результатов многоступенчатой солнечной опреснительной установки с солнечным коллектором и внешним конденсатором и их соответствии теоретическим результатам.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследований заключается в разработке математической модели на основе уравнений баланса энергии и эксергии, позволяющей определить изменения температуры прозрачного покрытия, солёной воды во внутренней части и затемненного основания испарительной

камеры многоступенчатой солнечной опреснительной установки с комбинированным солнечным коллектором и внешним конденсатором.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором для повышения энергоэффективности и производительности по производству пресной воды многоступенчатой солнечной опреснительной установки, позволяющая снизить расход природного топлива.

**Внедрение результатов исследований.** На основе полученных научных результатов по разработке комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором:

в Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан получен патент на полезную модель для комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором для получения пресной воды (№ FAP 02365; 23.11.2023). В результате были разработаны метод повышения эффективности многоступенчатой солнечной опреснительной установки и конструкция высокоэффективной солнечной опреснительной установки;

На ЧП «Алое-м» Кашкадарьинской области внедрена комбинированная многоступенчатая солнечная опреснительная установка с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором (Справка Минэнерго № 04/13-9914 от 27.11.2024 г.). В результате за один сезон эксплуатации многоступенчатой солнечной опреснительной установки общей полезной площадью 1 м<sup>2</sup> произведено 1476,6 литров пресной воды.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследований апробированы на 6 научно-практических конференциях, в том числе на 4 международных и 2 республиканских конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 15 научные работы, в том числе 1 научная статья опубликована в международном, 4 в республиканских научных журналах, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан к публикации основных научных результатов докторских диссертаций. В Агентстве по интеллектуальной собственности получены 1 патент на полезную модель и 3 авторских свидетельства на программный продукт для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 112 страниц.

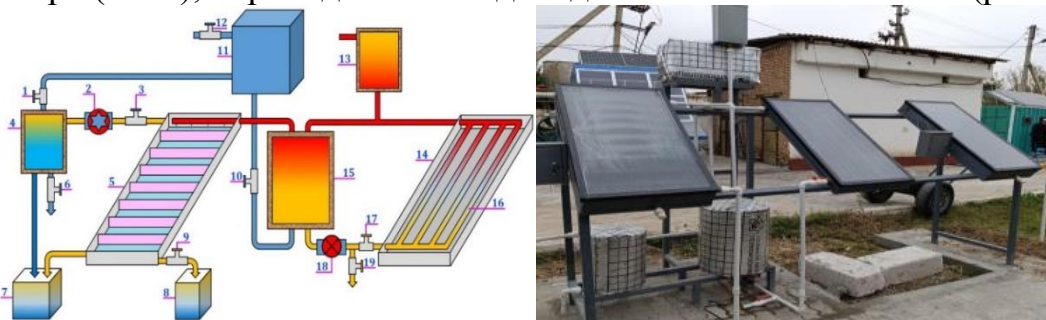
## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования, показаны его соответствие приоритетным направлениям в развитии науки и технологий в нашей республике, описаны

научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов исследования на практике, апробации работы, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Современное состояние комбинированных солнечных опреснительных установок»** представлено современное состояние применения солнечных опреснительных установок в мировой практике, анализ конструкций комбинированных солнечных опреснительных установок, а также научно-технический анализ исследований по совершенствованию многоступенчатых солнечных опреснительных установок. Несмотря на положительные результаты, достигнутые в научных исследованиях, разработка комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки с солнечным водяным коллектором и внешним конденсатором, математическое моделирование теплового баланса теплообменных процессов, происходящих в прозрачных покрытиях, солёной воды и абсорбера опреснительной установки, моделирование энергетического и эксергетического балансов комбинированной солнечной опреснительной установки, а также повышение энергоэффективности на основе конденсации пара испарительной камере во внешнем конденсаторе изучены недостаточно. Обосновываясь на исследованиях и анализе, проведённых на имеющихся многоступенчатых солнечных опреснительных установках, сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе диссертации под названием **«Моделирование и численное исследование комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки»** разработана принципиальная схема комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки (КМСОУ) и обоснованы ее параметры, математические модели энергетического и эксергетического балансов и результаты численных исследований КМСОУ. В целях экономии энергоресурсов и максимального использования солнечной энергии в процессах получения пресной воды из соленой разработана технологическая схема КМСОУ работающей на основе многоступенчатой опреснительной установки (МСОУ), солнечного водяного коллектора (СВК), пароводяных и водоводяных теплообменников (рис. 1).



1, 3, 6, 9, 10, 12, 17, 19-вентили; 2-вентилятор; 4-пароводяной теплообменник (внешний конденсатор); 5-многоступенчатая СОУ; 7-резервуар для пресной воды; 8-резервуар для остаточной солёной воды; 11-бак с солёной водой; 13-расширительный бачок; 14-солнечный водяной коллектор; 15-бак-аккумулятор; 16-трубы солнечного водяного коллектора; 18-циркуляционный насос

**Рисунок 1. Принципиальная схема КМСОУ**

Абсорбера МСОУ имеет толщину 1,6 мм и размеры 1000x500 мм (0,5 м<sup>2</sup>). На пластине абсорбера имеют 9 ступеней. Абсорбер размещён внутри металлического корпуса длиной 1000 мм, шириной 500 мм и высотой 100 мм и закрыта прозрачной крышкой размерами 1000x500x4 мм. Боковые и задняя части корпуса установки утеплены пеноплексом. Толщина пластины абсорбера СВК составляет 1,6 мм, а размер-1000x500 мм (0,5 м<sup>2</sup>). Внутри коллектора размещено всего 5 труб диаметром 15 мм. Бак-аккумулятор имеет цилиндрическую форму и объем 0,063 м<sup>3</sup>. Теплообменник с погружным змеевиком, с диаметром трубы змеевика 25 мм, общей длиной 1100 мм и количеством витков 10. Внешний конденсатор имеет цилиндрическую форму и объем 0,028 м<sup>3</sup>. Внешний конденсатор с погружным змеевиком, с диаметром трубки змеевика 20 мм, общей длиной 800 мм и количеством витков 10.

Для организации оптимального режима процессов опреснения соленой воды в КМСОУ проведено математическое моделирование энергетических и эксергетических балансов МСОУ, бак-аккумулятора и внешних конденсаторов.

Общее уравнение баланса энергии для КМСОУ:

$$\sum En_{\text{вх}} - \sum En_{\text{вых}} = \left( \frac{dEn}{d\tau} \right)_{\text{ко}} \quad (1)$$

Уравнение баланса энергии для прозрачного покрытия:

$$m_{\text{п}} C_{p,\text{п}} \frac{dt_{\text{п}}}{d\tau} = \alpha_{\text{п}} I A_{\text{п}} + h_{\text{в-п}} A_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t_{\text{п}}) - h_{\text{к,п-н.в}} A_{\text{п}} (t_{\text{п}} - t_{\text{н.в}}) - h_{\text{р,п-н}} A_{\text{п}} (t_{\text{п}} - t_{\text{н}}) \quad (2)$$

Уравнение баланса энергии для испаряющейся соленой воды:

$$I \tau_{\text{п}} \alpha_{\text{в}} A_{\text{в}} + h_{\text{а-в}} A_{\text{а}} (t_{\text{а}} - t_{\text{в}}) - h_{\text{в-п}} A_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t_{\text{п}}) = m_{\text{в}} C_{p,\text{в}} \frac{dt_{\text{в}}}{d\tau} \quad (3)$$

Уравнение баланса энергии для пластины абсорбера:

$$\tau_{\text{п}} \tau_{\text{в}} \alpha_{\text{а}} A_{\text{а}} I = h_{\text{а-в}} A_{\text{в}} (t_{\text{а}} - t_{\text{в}}) + U_{\text{а}} A_{\text{а}} (t_{\text{а}} - t_{\text{н.в}}) + m_{\text{а}} C_{p,\text{а}} \frac{dt_{\text{а}}}{d\tau} \quad (4)$$

На основе выше приведенных уравнений (1)-(4) получаем уравнения, позволяющие определить изменения температуры прозрачного покрытия, испаряющейся солёной воды и абсорбера с течением времени:

$$\frac{dt_{\text{п}}}{d\tau} = \frac{\alpha_{\text{п}} A_{\text{п}}}{m_{\text{п}} C_{p,\text{п}}} I - \frac{h_{\text{в-п}} A_{\text{в}} + (h_{\text{к,п-н.в}} + h_{\text{р,п-н}})}{m_{\text{п}} C_{p,\text{п}}} t_{\text{п}} + \frac{h_{\text{в-п}} A_{\text{в}}}{m_{\text{п}} C_{p,\text{п}}} t_{\text{в}} + \frac{h_{\text{к,п-н.в}} A_{\text{п}}}{m_{\text{п}} C_{p,\text{п}}} t_{\text{п}} + \frac{h_{\text{р,п-н}} A_{\text{п}}}{m_{\text{п}} C_{p,\text{п}}} t_{\text{н}} \quad (5)$$

$$\frac{dt_{\text{в}}}{d\tau} = \frac{\tau_{\text{п}} \alpha_{\text{в}} A_{\text{в}}}{m_{\text{в}} C_{p,\text{в}}} I - \frac{h_{\text{а-в}} A_{\text{а}} + h_{\text{в-п}} A_{\text{в}}}{m_{\text{в}} C_{p,\text{в}}} t_{\text{в}} + \frac{h_{\text{а-в}} A_{\text{а}}}{m_{\text{в}} C_{p,\text{в}}} t_{\text{а}} + \frac{h_{\text{в-п}} A_{\text{в}}}{m_{\text{в}} C_{p,\text{в}}} t_{\text{п}} \quad (6)$$

$$\frac{dt_{\text{а}}}{d\tau} = \frac{\tau_{\text{п}} \tau_{\text{в}} \alpha_{\text{а}} A_{\text{а}}}{m_{\text{а}} C_{p,\text{а}}} I - \frac{(h_{\text{а-в}} + U_{\text{а}}) A_{\text{а}}}{m_{\text{а}} C_{p,\text{а}}} t_{\text{а}} + \frac{h_{\text{а-в}} A_{\text{а}}}{m_{\text{а}} C_{p,\text{а}}} t_{\text{в}} + \frac{U_{\text{а}} A_{\text{а}}}{m_{\text{а}} C_{p,\text{а}}} t_{\text{н.в}} \quad (7)$$

Общий тепловой КПД МСОУ:

$$\eta_{\text{Т,МСОУ}} = \frac{L A_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t_{\text{п}})}{\tau_{\text{п}} \tau_{\text{в}} \alpha_{\text{а}} I A_{\text{а}}} \quad (8)$$

Тепловой КПД установки бак-аккумулятора:

$$\eta_{\text{Т,б.а}} = \frac{m_2 C_{p,2} (t_2'' - t_2')}{m_1 C_{p,1} (t_1' - t_1'')} \quad (9)$$

Тепловой КПД установки внешнего конденсаторного:

$$\eta_{Т,В,К} = \frac{m_3 c_{p,3}(t_3'' - t_3')}{m_b(i_1' - i_1'')} \quad (10)$$

На основе выше приведенных уравнений (8)-(10) имеем уравнения для определения полного теплового КПД КМСОУ:

$$\eta_{Т,П} = \frac{LA_B(t_B - t_P)}{\tau_{П}\tau_B\alpha_a LA_a + m_1 c_{p,1}(t_1' - t_1'') + m_{П}(i_1' - i_1'')} \quad (11)$$

Уравнение баланса общей эксергии для контрольного объема:

$$\left(\frac{dEx}{d\tau}\right)_{К.О} = \sum Ex_{ВХ} - \sum Ex_{ВЫХ} - \sum Ex_{ПОТ} - \sum Ex_p \quad (12)$$

Входящая эксергия:

$$Ex_{ВХ} = A_{П}I \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{t_{Н,В} + 273}{6000} \right)^4 - \frac{4}{3} \left( \frac{t_{Н,В} + 273}{6000} \right) \right] \quad (13)$$

Эксергия теплового потока:

$$Ex_B = m_B c_{p,B}(t_1'' - t_1') \left( 1 - \frac{t_{Н,В} + 273}{t_B + 273} \right) \quad (14)$$

Выходящая эксергия:

$$Ex_{ВЫХ} = \frac{m_{пар}r}{3600} \left( 1 - \frac{t_{Н,В} + 273}{t_B + 273} \right) \quad (15)$$

Уравнение баланса эксергии для прозрачного покрытия:

$$E_{П} = Ex_{П-Н,В} + Ex_{р,П} = \alpha_{П} Ex_c + Ex_{пар-П} - \frac{dEx_{П}}{dt} \quad (16)$$

Уравнение баланса эксергии для солёной воды:

$$E_B = Ex_{р,В1} + Ex_{р,В2} + Ex_{ПОТ,В1-Н,В} = \tau_{П}\alpha_{В}A_{В}Ex_c + Ex_{а-В} + Ex_{В1-В2} + Ex_{пар-П} - \frac{dEx_B}{d\tau} - \frac{dEx_{В2}}{d\tau} - \frac{dEx_{В3}}{d\tau} \quad (17)$$

Уравнение баланса эксергии для абсорбера:

$$E_a = Ex_{а-Н,В} + Ex_{р,а} = \alpha_a \tau_{П}\tau_B Ex_c - Ex_{а-В} - \frac{dEx_a}{d\tau} \quad (18)$$

Общей эксергетической КПД КМСОУ:

$$\eta_{ЭК} = \frac{Ex_{ВЫХ}}{Ex_{ВХ}} = \frac{Ex_{пар-П}}{Ex_c} = \frac{Ex_{пар-П}}{Ex_c + Ex_{В1-В2} + Ex_{пар-В3}} \quad (19)$$

Для численного исследования энергетической и эксергетической эффективности КМСОУ была разработана блок-схема с использованием программного обеспечения Matlab/Simulink. Результаты, полученные в ходе численного исследования, сравнивались с результатами, полученными для обычной МСОУ. В процессе численного исследования были получены результаты падающей энергии солнечного излучения в течение с 8<sup>00</sup> до 18<sup>00</sup> на 20.07.24 (рис. 2).

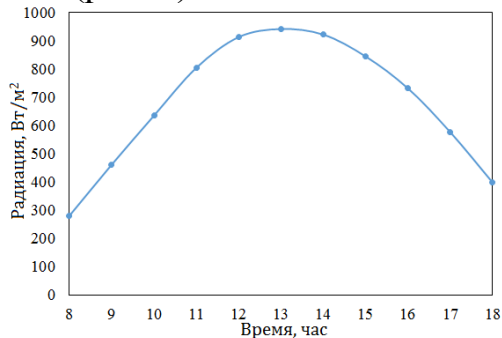


Рис. 2. Результаты изменения интенсивности солнечной радиации с течением времени на 20.07.24 г.

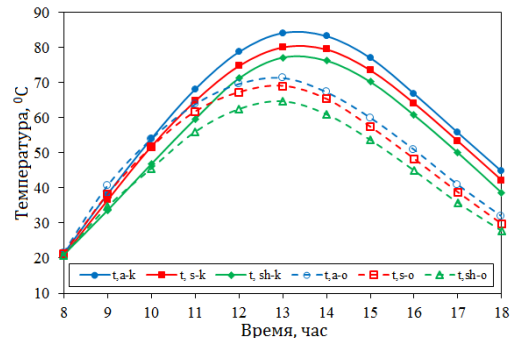


Рис. 3. Результаты расчетов математического моделирования изменения температуры в СОУ

В результатах, представленных на рис. 2, интенсивность солнечного излучения составила  $7,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . Результаты изменения температуры солёной воды (в), прозрачного покрытия (п) и абсорбера (а) с течением времени при расходе солёной воды  $0,07 \text{ кг}/\text{мин}$  в МСОУ представлены на рис. 3. Результаты показывают, что максимальная температура солёной воды составила  $71,2^\circ\text{C}$  и  $84,1^\circ\text{C}$  в обычной и КМСОУ соответственно, при этом максимальная температура воды в КМСОУ была на 18% выше. Кроме того, среднесуточные температуры солёной воды, абсорбера и прозрачного покрытия по сравнению с обычной МСОУ были выше в КМСОУ на 17,7%, 16,8% и 19,3% соответственно.

Определена скорость теплопередачи в солёную воду в КМСОУ, по результатам установлено, что общее количество теплоты переданное за сутки во внешнем конденсаторе, бак-аккумуляторе, обычной и КМСОУ составила  $Q_{в.к} = 0,59 \text{ кВт}$ ,  $Q_{б.а} = 1,41 \text{ кВт}$ ,  $Q_{об} = 1,86 \text{ кВт}$  и  $Q_{ком} = 3,27 \text{ кВт}$  соответственно, причем КМСОУ передала в 1,76 раза больше количества теплоты, чем обычная МСОУ. По результатам энергетического анализа 43,1% от общего количества тепла, переданного КМСОУ, приходится на долю бак-аккумулятора, а оставшиеся 56,9% на долю МСОУ. Количество потерянной теплоты через внешний конденсатор, составляет 18,04% от общего количества теплоты. Результаты изменения общепотерянной эксергии с течением времени в обычных и КМСОУ, во внешнем конденсаторе и бак-аккумуляторе представлены на рис. 4. Как видно из результатов, общесуточное количество потерянной эксергии, в обычной и КМСОУ, во внешнем конденсаторе и бак-аккумуляторе, составило  $Ex_{ком} = 2,53 \text{ кВт}$ ,  $Ex_{об} = 1,99 \text{ кВт}$ ,  $Ex_{б.а} = 0,37 \text{ кВт}$  и  $Ex_{в.к} = 0,26 \text{ кВт}$  соответственно. По результатам эксергетического анализа 10,44% от общей потери эксергии приходится на КМСОУ, 14,55% на бак-аккумулятор и оставшиеся 75,01% на МСОУ. Сравнение производительности пресной воды для обычных и КМСОУ показано на рис. 5.

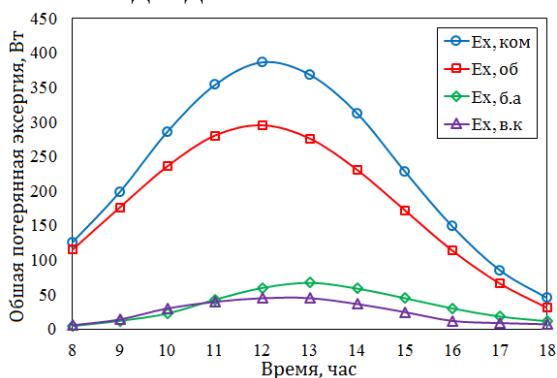


Рис. 4. Результаты изменения общих потерь эксергии с течением времени в МСОУ

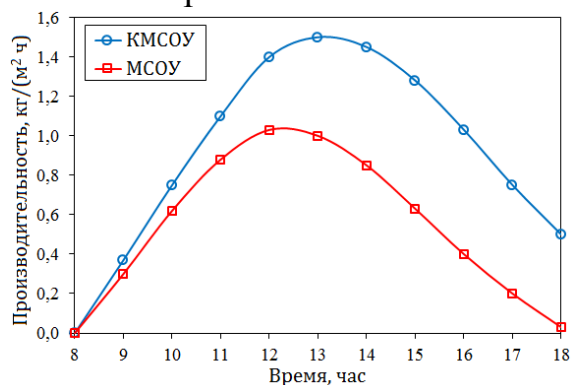


Рис. 5. Результаты изменения производительности пресной воды МСОУ с течением времени

Согласно полученным результатам, средняя производительность в обычной и КМСОУ составила  $0,5$  и  $0,9 \text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$  соответственно, производительность в КМСОУ была на 55,6% выше. Суточный выход пресной воды увеличился с  $5,94 \text{ кг}/\text{сутки}$  до  $10,13 \text{ кг}/\text{сутки}$ , увеличившись примерно на 58,6%.

Результаты изменения энергетического КПД обычной и КМСОУ с течением времени представлены на рис. 6. Согласно полученным результатам, максимальное значение энергетического КПД для обычной и КМСОУ составило 0,33 и 0,85 соответственно, а среднее значение энергетического КПД составило 0,26 и 0,45, причем значение энергетического КПД КМСОУ оказалось на 57,8% выше. Результаты изменения эксергетического КПД обычной и КМСОУ с течением времени представлены на рис. 7.

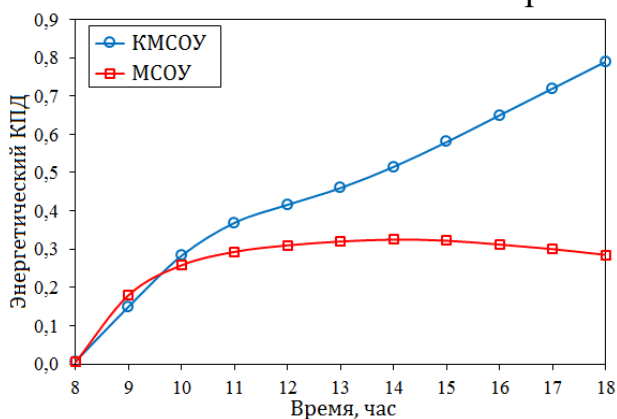


Рис. 6. Изменение энергетического КПД МСОУ с течением времени

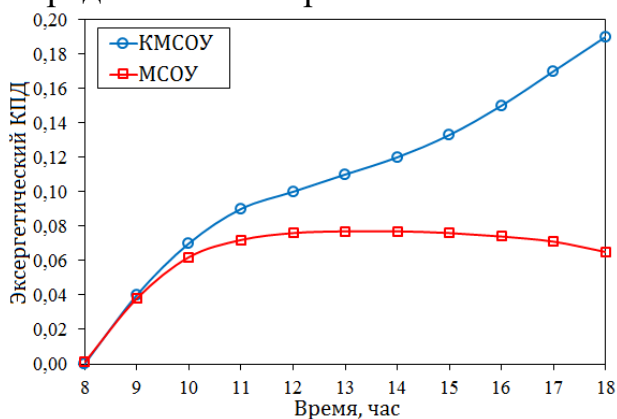
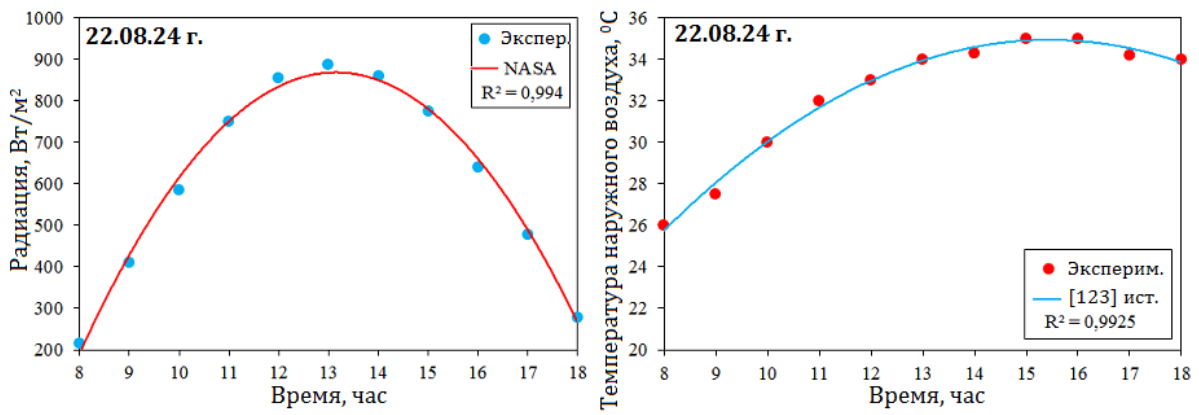


Рис. 7. Изменение эксергетического КПД МСОУ с течением времени

По полученным результатам максимальное значение эксергетического КПД КМСОУ достигало 0,19. В обычной МСОУ максимальное значение эксергетического КПД достигало 0,08. Средний эксергетический КПД обычной и КМСОУ составил 0,06 и 0,11 соответственно, а средний эксергетический КПД комбинированной установки оказался на 55% выше.

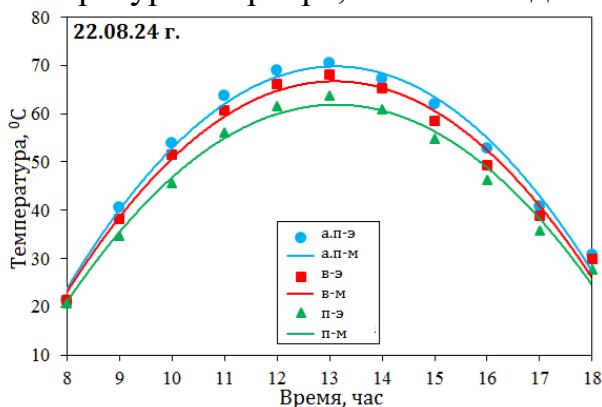
В третьей главе диссертации под названием **«Разработка и экспериментальное исследование комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки»** представлены общее описание экспериментальной установки и методика проведения экспериментальных исследований, результаты экспериментальных исследований теплообменных процессов в обычной и КМСОУ, а также результаты экспериментальных исследований теплообменных процессов и по производительности пресной воды в КМСОУ.

Экспериментальные исследования процессов теплообмена в обычной МСОУ проводились 22 и 23 августа 2024 г., в автореферате представлены результаты только на 22 августа. На рис. 8 представлены изменения интенсивности солнечного излучения и температуры наружного воздуха 22 августа 2024 года. Как видно из результатов, представленных на рис. 8, результаты экспериментальных исследований весьма мало отличаются от результатов источника. В экспериментальных исследованиях общая энергия солнечного излучения составила  $6,72 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ , а при проверке достоверности результатов по надежности аппроксимации, валидация результатов составила  $R^2=0,994$  соответственно. В экспериментальных исследованиях температура наружного воздуха варьировалась в пределах  $26,7\text{...}35,4^\circ\text{C}$  соответственно, а при проверке достоверности результатов по надежности аппроксимации, валидация результатов составила  $R^2=0,9925$ .

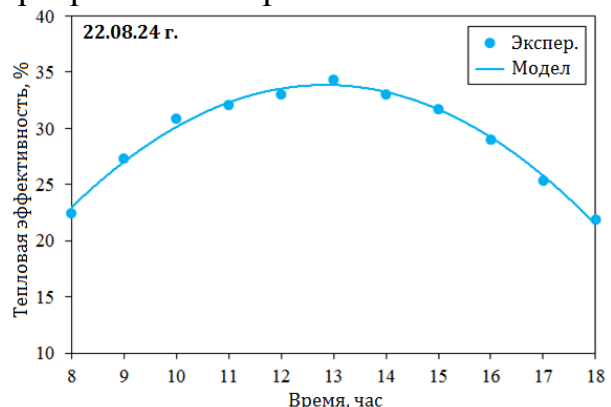


**Рис. 8. Графики изменения интенсивности солнечного излучения и температуры наружного воздуха с течением времени**

Результаты изменения температуры солёной воды, прозрачного покрытия и абсорбера с течением времени при постоянном расходе солёной воды 0,07 кг/мин в обычной МСОУ, представлены на рис. 9. Результаты показывают, что температура абсорбера изменялась в диапазоне 21,4...70,5°C, температура солёной воды в диапазоне 21,3...68°C, а температура прозрачного покрытия в диапазоне 20,8...63,7°C, при этом достоверность аппроксимации экспериментальных значений теоретическими значениями составила  $R^2=0,9866$ ,  $R^2=0,9829$  и  $R^2=0,9838$  соответственно. Результаты анализа показывают, что максимальная погрешность теоретических и экспериментальных результатов не превышает 5%, что разработанная математическая модель может быть в полной мере использована для расчета температур абсорбера, солёной воды и прозрачного покрытия.



**Рис. 9. Результаты изменения температуры в обычной МСОУ**



**Рис. 10. Результаты изменения коэффициента тепловой эффективности обычной МСОУ**

Изменение коэффициента тепловой эффективности обычной МСОУ с течением времени показано на рис. 10. Как видно из результатов, представленных на рис. 10, среднесуточная тепловая эффективность испарительной камеры МСОУ достигла 29,2%, при этом достоверность аппроксимации результатов составила  $R^2=0,9902$ . На основе экспериментальных значений температур наружного воздуха, солёной воды, прозрачного покрытия и абсорбера было определено значение полезной эксергии для обычной МСОУ (рис. 11). Результаты показанные на рис. 11 и 12 показывают, что количество полезной эксергии в обычной МСОУ изменялась

в диапазоне 60,8...295,0 Вт и 58,7...282,4 Вт соответственно, при этом достоверность аппроксимации результатов составила  $R^2=0,9853$  и  $R^2=0,9832$ .

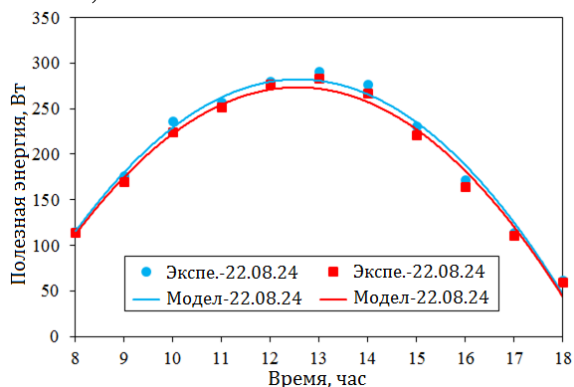


Рис. 11. Результаты изменения полезной эксергии в обычной МСОУ

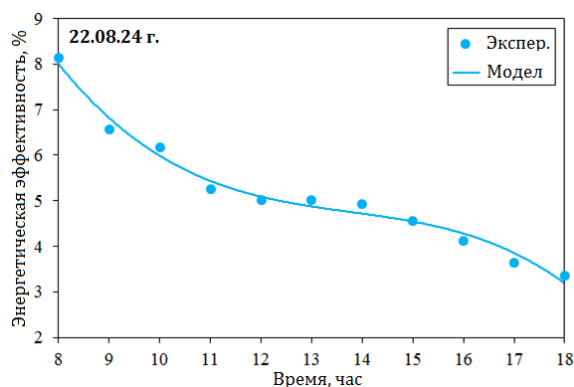


Рис. 12. Изменение энергетической эффективности с течением времени в обычной МСОУ

На основе теоретических и экспериментальных результатов количество полезной эксергии была определена энергетическая эффективность обычной МСОУ (рис. 12). Результаты показывают, что энергетическая эффективность МСОУ изменялась в диапазоне 3,4...8,1%, при этом достоверность аппроксимации результатов составила  $R^2=0,9836$ . Результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на обычной МСОУ, показывают, что предложенные энергетические и эксергетические модели могут быть использованы при проектировании МСОУ. На рис. 13 показаны изменения температур с течением времени прозрачного покрытия, солёной воды и абсорбера в испарительной камере КМСОУ.

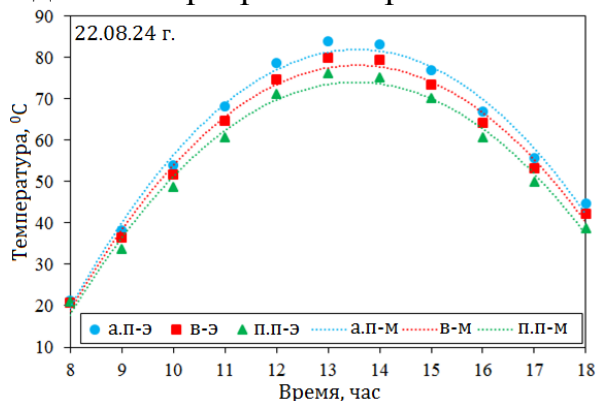


Рис. 13. Результаты изменения температуры в КМСОУ

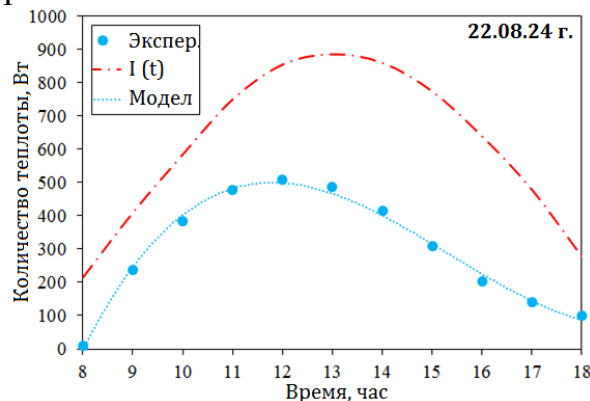
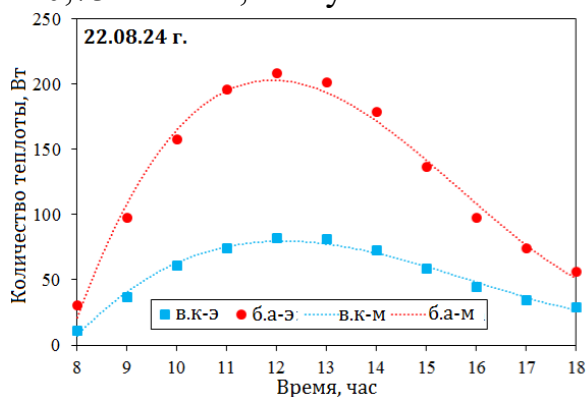


Рис. 14. Результаты изменения количества тепла в испарительной камере КМСОУ

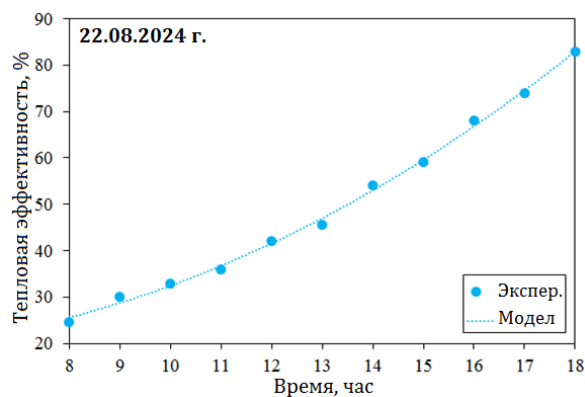
Результаты исследования показывают, что температура абсорбера изменялась в диапазоне 21,3...83,9 °C, температура солёной воды в диапазоне 20,7...80,0 °C, а температура прозрачного покрытия в диапазоне 21,0...76,1 °C, при этом максимальные температуры в КМСОУ были выше чем в обычной МСОУ на 19%, 17,6% и 19,5% соответственно, а достоверность аппроксимации результатов составила  $R^2=0,9886$ ,  $R^2=0,9901$  и  $R^2=0,9861$  соответственно. Результаты изменения количества тепла в испарительной камере КМСОУ представлены на рис. 14. Результаты показывают, что при

подаче в испарительную камеру КМСОУ  $6,73 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  энергии солнечного излучения было получено всего  $3,71 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  энергии, что на  $70,92\%$  больше, чем у обычной МСОУ. Результаты изменения количества переданного тепла с течением времени в бак-аккумулятор и внешний конденсатор КМСОУ представлены на рис. 15.

В процессе экспериментального исследования было определено, что от бак-аккумулятора было передано всего  $1,43 \text{ кВт}$  количество тепла, а от внешнего конденсатора всего  $0,585 \text{ кВт}$  количество тепла, при этом достоверность аппроксимации результатов составила  $R^2=0,9849$  и  $R^2=0,9847$  соответственно. На основе определенных значений количества переданного тепла определено изменение коэффициента тепловой эффективности с течением времени в КМСОУ (рис. 16). Результаты показывают, что среднесуточная эффективность КМСОУ составляет  $49,9\%$ , при этом достоверность аппроксимации результатов составляет  $R^2=0,9877$ . Таким образом, среднесуточная тепловая эффективность КМСОУ оказалась на  $20,73\%$  выше, чем у обычной МСОУ.

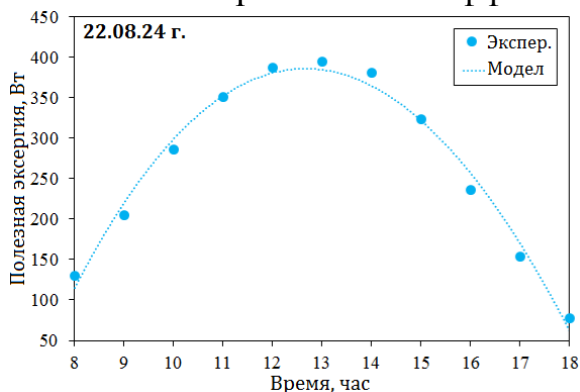


**Рис. 15.** Изменение количества переданного тепла в бак-аккумулятор и внешний конденсатор

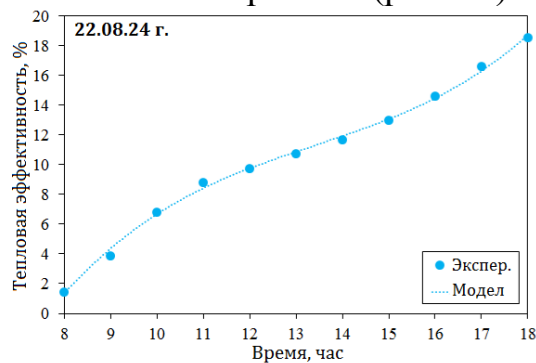


**Рис. 16.** Результаты изменения коэффициента тепловой эффективности КМСОУ

На основе экспериментальных данных интенсивности солнечной радиации, температуры наружного воздуха, солёной воды и абсорбера в КМСОУ было определено значение полезной эксергии (рис. 17). Как видно из результатов на рис. 17, в КМСОУ было получено всего  $2,92 \text{ кВт}$  полезной эксергии. На основе полезной эксергии, определенной в КМСОУ, определено изменение эксергетической эффективности с течением времени (рис. 18).



**Рис. 17.** Результаты изменения полезной эксергии в КМСОУ с течением времени



**Рис. 18.** Результаты изменения эксергетической эффективности в КМСОУ с течением времени

Результаты показывают, что среднесуточная эффективность КМСОУ составила 10,53%, а достоверность аппроксимации результатов составила  $R^2=0,9874$ . Таким образом, среднесуточная эксергетическая эффективность КМСОУ оказалась на 5,3% выше, чем у обычной МСОУ. На рис. 19 показано изменение почасового количества пресной воды при расходе солёной воды 0,7 кг/мин в КМСОУ. Результаты показывают, что суточный объем пресной воды в КМСОУ составил 10,37 кг, в обычной МСОУ составил 6,06 кг, а производительность в КМСОУ была выше в 1,71 раз. Результаты изменения почасовой производительности пресной воды КМСОУ при изменении расхода солёной воды на входе представлены на рис. 20. Согласно полученным результатам, при расходе солёной воды 0,07, 0,1, 0,15 и 0,2 кг/мин на входе, среднесуточная пресной во составила 0,94, 0,88, 0,84 и 0,79 кг/мин. В обычной МСОУ при расходе солёной воды 0,07, 0,1, 0,15 и 0,2 кг/мин на входе, средне суточная производительность составила 0,55, 0,51, 0,48 и 0,45 кг/мин.

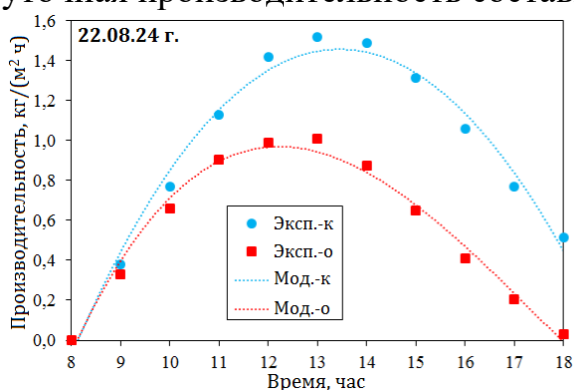


Рис. 19. Результаты изменения почасовой производительности пресной воды

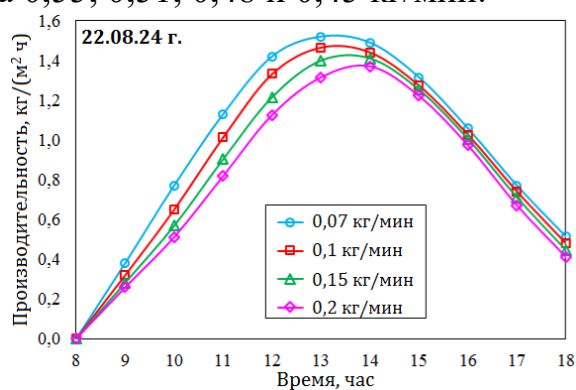


Рис. 20. Результаты изменения производительности пресной воды в КМСОУ

По результатам исследования приведенных выше видно, что одним из основных факторов, влияющих на эффективность работы КМСОУ, является массовый расход солёной воды, причем наибольшей эффективности КМСОУ достигает при массовом расходе 0,07 кг/мин. Поэтому исследования годовой производительности обычной и КМСОУ проводились при массовом расходе солёной воды 0,07 кг/мин. Интенсивность солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность в городе Карши с сентября 2023 года по сентябрь 2024 года, представлена на рис. 21.

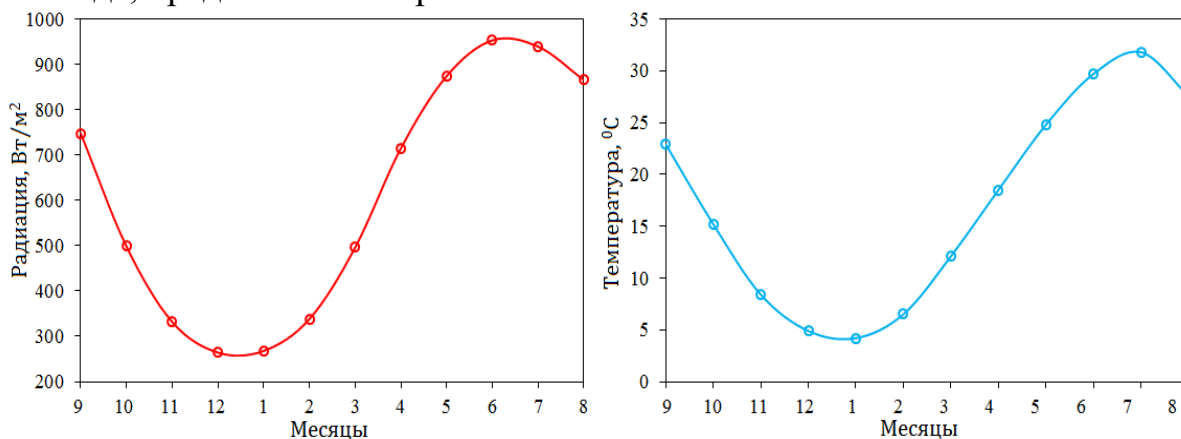


Рисунок 21. Изменения интенсивности солнечного излучения и температуры наружного воздуха с сентября 2023 г. по сентябрь 2024 г.

Как видно из результатов, представленных на рис. 21 максимальное значение интенсивности солнечной радиации составило  $953 \text{ Вт/м}^2$  (в июне), а минимальное значение  $264,2 \text{ Вт/м}^2$  (в декабре). Максимальная температура наружного воздуха составила  $31,8^\circ\text{C}$  (в июне), а минимальная  $4,2^\circ\text{C}$  (в январе). Среднемесячное изменение производительности пресной воды при массовом расходе соленой воды  $0,07 \text{ кг/мин}$  в обычных и КМСОУ представлены на рис. 22. Согласно результатам, представленным на рис. 22, минимальное значение производительности пресной воды в КМСОУ составило  $3,3 \text{ кг/(м}^2 \text{ сут)}$  в зимний сезон (декабрь), а максимальное значение составило  $10,5 \text{ кг/(м}^2 \text{ сут)}$  в летний сезон (июнь), в то время как минимальное значение производительности пресной воды в обычной МСОУ составило  $1,3 \text{ кг/(м}^2 \text{ сут)}$  в зимний сезон (декабрь), а максимальное значение составило  $6,3 \text{ кг/(м}^2 \text{ сут)}$  в летний сезон (июнь). Установлено, что производительность пресной воды в КМСОУ была выше на 39,4 и 60% соответственно.

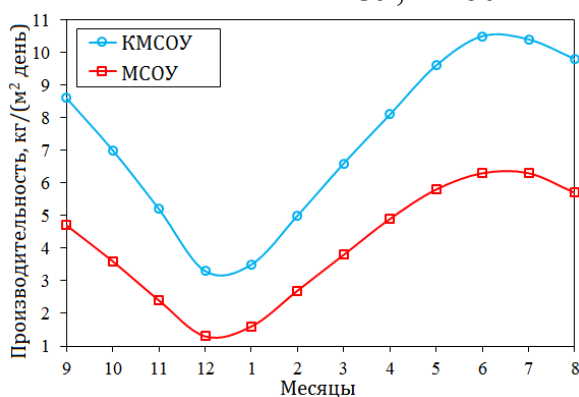


Рис. 22. Результаты сравнения среднемесячной производительности в КМСОУ

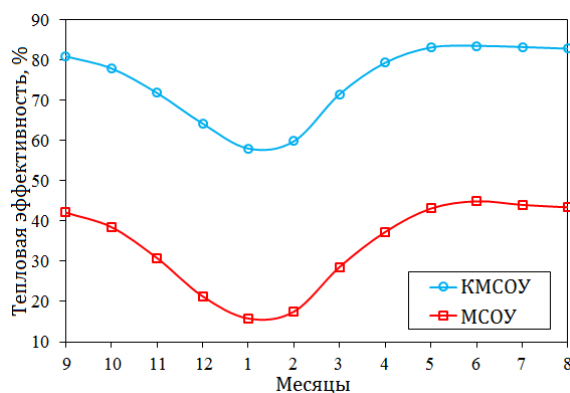


Рис. 23. Результаты среднемесячного значения тепловой эффективности КМСОУ

Согласно результатам, представленным выше на рис. 23, значение тепловой эффективности КМСОУ составило минимум 58% зимой (декабрь) и максимум 83,5% летом (июнь), в то время как минимум обычной МСОУ составил 15,8% зимой (декабрь) и максимум 44,9% летом (июнь). Установлено, что тепловой КПД КМСОУ выше на 27,2% зимой и на 53,8% летом, а среднегодовое значение теплового КПД выше на 45,5%.

В четвертой главе диссертации под названием «Оценка энергетической, эксергетической, экономической и экологической эффективности комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки» представлены результаты оценки энергетической, эксергетической, экономической и экологической эффективности КМСОУ. На рис. 24 показано изменение энергоэффективности МСОУ при изменении расхода солёной воды на входе. Согласно полученным результатам, при расходе солёной воды  $0,07$ ,  $0,1$ ,  $0,15$  и  $0,2 \text{ кг/мин}$  на входе максимальное значение энергоэффективности составило в КМСОУ  $80,7\%$ ,  $73,6\%$ ,  $66,2\%$  и  $57,2\%$ , а в обычном МСОУ  $32,5\%$ ,  $32,0\%$ ,  $31,3\%$  и  $30,7\%$  соответственно. Результаты изменения эксергетического КПД КМСОУ при изменении расхода солёной воды на входе представлены на рис. 25. Согласно полученным

результатам, при расходе солёной воды 0,07, 0,1, 0,15 и 0,2 кг/мин на входе, максимальное значение эксергетического КПД составило в КМСОУ 18,7%, 17,2%, 15,5% и 14,4%, а в обычной МСОУ 7,7%, 7,6%, 7,4% и 7,3% соответственно.

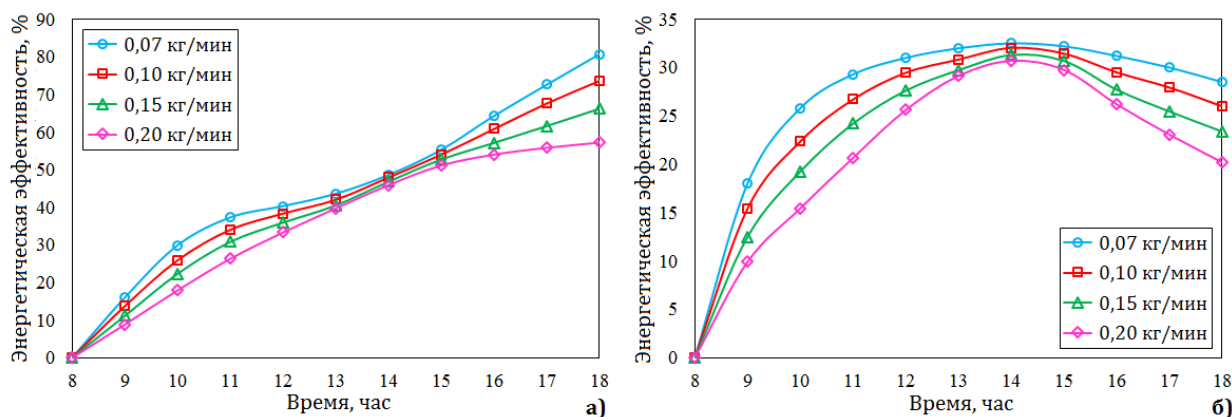


Рис. 24. Изменение энергоэффективности КМСОУ (а) и обычной МСОУ (б)

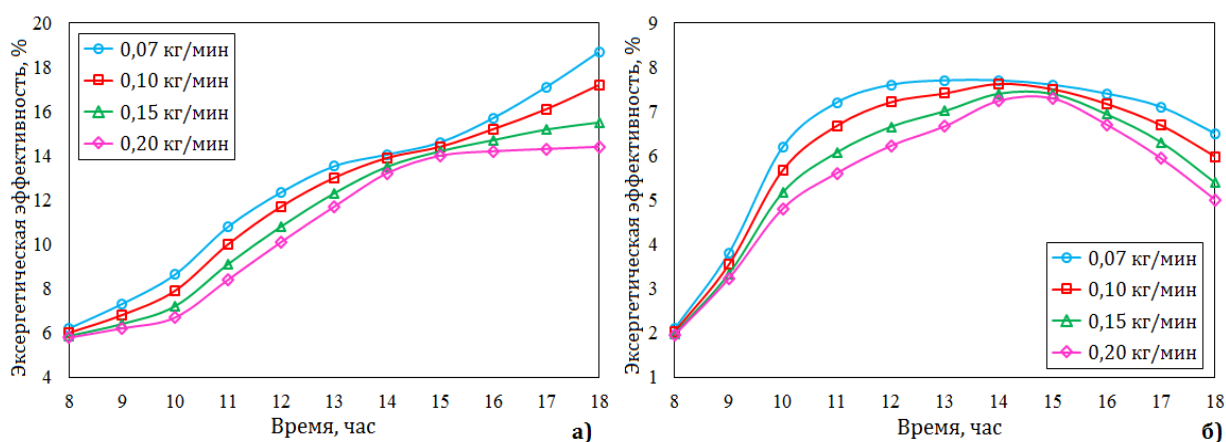


Рис. 25. Изменение эксергетической эффективности КМСОУ (а) и обычной МСОУ (б)

Значения срока окупаемости энергии на основе энергии для обычной и КМСОУ составил 0,37 и 0,3 года, а по эксергии 3,72 и 2,86 года соответственно. Установлено, что при банковской процентной ставке 10% и сроке службы 20 лет стоимость одного литра пресной воды в обычной и КМСОУ составила 282 и 253 сумов соответственно, а цена пресной воды в КМСОУ была на 29 сумов (10,3%) дешевле. Экономические и экологические показатели КМСОУ представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Экономические и экологические показатели КМСОУ**

Параметр	$S_{спр}$ , тыс сум	$S_{пр}$ , тыс сум	$S_{нпр}$ , тыс сум	$K$ , тыс сум	$V_{н.з}$ , $m^3$	$M_{CO_2}$ , kg	$S_{CO_2}$ , тыс сум	$T$ , год	$E$
КМСОУ	988,5	98,9	131,8	4514,2	372,0	688,3	203,6	1,2	0,8
МСОУ	597,0	59,7	79,6	2726,3	159,6	295,3	87,3	1,7	0,6

При сроке службы 10 лет выбросы  $CO_2$ ,  $SO_2$  и  $NO_x$  снижаются на 3,19 т, 19,12 т и 73,31 т в КМСОУ соответственно, а в обычной МСОУ на 1,64 т, 9,84

т и 37,73 т соответственно. Установлено, что снижение выбросов CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> в КМСОУ (экологическая эффективность) в среднем в 1,94 раза выше, чем у обычной МСОУ, а срок окупаемости обычной и КМСОУ составляет 1,7 и 1,2 года соответственно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований для решения поставленных задач в диссертации были предложены следующие выводы:

1. Разработана технологическая схема многоступенчатой солнечной опреснительной установки позволяющая одновременно использовать энергию солнечного излучения, солнечный водяной коллектор и аккумулированное тепло бак-аккумулятора на основе комбинирования солнечного водяного коллектора и внешнего конденсатора для обеспечения населения и фермерских хозяйств пресной водой.

2. Разработана комбинированная многоступенчатая солнечная опреснительная установка, позволяющая повысить производительность пресной воды, энергетическую и эксергетическую эффективность многоступенчатых солнечных опреснительных установок.

3. Разработаны математические модели позволяющие определить энергетический и эксергетический КПД комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки на основе уравнения балансов энергии и эксергии для определения изменения температуры прозрачного покрытия, солёной воды и абсорбера, а также температуры солёной воды во внешнем конденсаторе и бак-аккумуляторе с течением времени.

4. Средний энергетический КПД комбинированной и обычной многоступенчатой солнечной опреснительной установки составил 0,45 и 0,26 соответственно, а эксергетический КПД 0,11 и 0,06, при этом энергетический и эксергетический КПД были на 57,8% и 55% выше в комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установке.

5. При экспериментальном исследовании тепловой и эксергетической эффективности комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки было установлено, что средняя тепловая эффективность составила 49,9%, что на 20,73% выше, чем у обычной многоступенчатой солнечной опреснительной установки, а средняя эксергетическая эффективность составила 10,53%, что на 5,3% выше, чем у обычной многоступенчатой солнечной опреснительной установки.

6. При экспериментальном исследовании количества вырабатываемой пресной воды в комбинированных и обычных многоступенчатых солнечных опреснительных установках установлено, что суточное количество вырабатываемой пресной воды составило 10,37 и 6,06 кг соответственно, а суточная производительность в 1,72 раза выше в комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установке, а минимальное и максимальное значения производительности составили на 39,4 и 60% выше.

7. При банковской процентной ставке 10% и сроке службы 20 лет средняя цена одного литра пресной воды составляет 253 и 282 сума соответственно, что на 29 сумов (10,3%) дешевле в комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установке, а срок окупаемости обычной и комбинированной многоступенчатой солнечной опреснительной установки составляет 1,7 и 1,2 года соответственно.

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL BASED ON THE SCIENTIFIC  
COUNCIL PhD.03/30.09.2020.T.111.03 FOR AWARDING ACADEMIC  
DEGREES AT THE KARSHI STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

---

**KARSHI STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**MIRZAYAROVA SEVARA UBAIDULLAEVNA**

**DEVELOPMENT OF A COMBINED MULTI-STAGE SOLAR  
DESALINATION PLANT**

**05.05.04 – Industrial Thermal Power Engineering**

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
IN TECHNICAL SCIENCES**

**Karshi – 2025**

**The topic of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered with the Higher Attestation Commission of the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under B2025.1.PhD/T5373.**

The dissertation was completed at the Karshi State Technical University.

The dissertation abstract in three languages (Russian, Uzbek, English (summary)) is posted on the web page of the Scientific Council ([www.qmii.uz](http://www.qmii.uz)) and on the information and educational portal "Ziyonet" at ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific supervisor:** **Fayziev Tulkun Amirovich**  
Candidate of Technical sciences, professor

**Official opponents:** **Samiev Kamoliddin Azamovich**  
Doctor of Technical Science, professor;  
**Sattorov Bobonazar Nuftillayevich**  
Candidate of Technical sciences, professor

**Leading organization:** **Tashkent State Technical University**

The defense of the dissertation will take place on "25" 10 2025 at 15<sup>00</sup> hours at a one-time meeting of the Scientific Council based on the Scientific Council PhD.03/30.09.2020.T.111.03 for awarding academic degrees at the Karshi State Technical University (Address: 180100, Karshi, Mustakillik St. 225. Tel: (99875) 224-02-89, fax: (99875) 224-13-95 e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)).

The dissertation can be found at the Information Resource Center of Karshi State Technical University (registered under No. 154). (Address: 180100, Karshi, Mustakillik Street 225. Tel: (99875) 224-02-89, fax: (99875) 224-13-95 e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)).

The dissertation abstract was sent out on "03" 10 2025.  
(mailing protocol No. 85 from "03" 10 2025)



**G.N. Uzakov**  
Acting chairman of the one-time scientific council  
for awarding academic degrees, doctor of  
technical sciences, professor

**Kh.A. Davlonov**  
Scientific secretary of the one-time scientific council  
for awarding academic degrees, PhD of technical  
sciences, docent

**B.E. Khayriddinov**  
Chairman of the scientific seminar at the one-time  
scientific council for awarding academic degrees, doctor of  
technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the study** is to develop and justify the energy efficiency of a combined multi-stage solar desalination plant with a solar water collector and an external condenser.

**The tasks of the research:**

analysis of the current state of multi-stage and combined solar desalination plant designs;

development of a schematic diagram and substantiation of thermal parameters of a combined multi-stage solar desalination plant with a solar water collector and an external condenser;

modeling and numerical study of energy and exergy balances of a combined multi-stage solar desalination plant;

experimental study of heat exchange processes and fresh water productivity in a combined multi-stage solar desalination plant;

substantiation of energy, exergy, environmental and economic efficiency of a combined multi-stage solar desalination plant.

**The object of the study** is a combined multi-stage solar desalination plant with a solar water collector and an external condenser.

**The scientific novelty of the research** is as follows:

an improved multi-stage solar desalination plant has been developed based on a combination of a solar desalination device, a solar water collector and an external condenser, which allows for the simultaneous use of solar radiation energy, a solar water collector and accumulated heat in an accumulator tank (FAP 02365);

a highly efficient technology for desalination of salt water has been developed based on the simultaneous use of heat from an external condenser, a solar water collector and an accumulator tank while increasing the productivity of fresh water in a multi-stage solar desalination plant to increase the use of the degree of solar radiation intensity;

mathematical models have been developed based on energy and exergy balance equations, allowing for determining changes in the temperature of the transparent coating of the evaporation chamber, the salt water inside it and the darkened base of a combined multi-stage solar desalination plant with a solar water collector and an external condenser;

software has been developed that makes it possible to determine temperature changes in the evaporation chamber of a combined multi-stage solar desalination plant with a solar collector and an external condenser, a solar water collector, an external condenser and an accumulator tank, taking into account the intensity of solar radiation, the outside air temperature, as well as the inlet and outlet temperatures of salt water.

**Implementation of research results.** Based on the obtained scientific results on the development of a combined multi-stage solar desalination plant with a solar water collector and an external condenser:

A patent for a utility model for a combined multi-stage solar desalination plant with a solar water collector and an external condenser for obtaining fresh water was

received from the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan (No. FAP 02365; November 23, 2023). As a result, a method for increasing the efficiency of a multi-stage solar desalination plant and a design for a highly efficient solar desalination plant were developed;

A combined multi-stage solar desalination plant with a solar water collector and an external condenser was introduced at the Aloe-m private enterprise in the Kashkadarya region (Certificate of the Ministry of Energy No. 04/13-9914 dated November 27, 2024). As a result, during one season of operation of a multi-stage solar desalination plant with a total useful area of 1 m<sup>2</sup>, 1476.6 liters of fresh water were produced.

**Publication of research results.** On the topic of the dissertation, 15 scientific works were published, including 1 scientific article published in an international, 4 in national scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of doctoral dissertations. In the Agency for Intellectual Property, 1 patent for a utility model and 3 author's certificates for a software product for a computer were received.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references. The volume of the dissertation is 112 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (I часть; I part)**

1. Mirzayorova S.U., Xo'jaqulov S.M., Fayziyev T.A. Quyosh suv chuchutgich qurilmasi // Foydali modelga patent. №FAP02365. 23.11.2023 yil.
2. Ibragimov U.Kh., Mirzayorova S.U., Fayziyev T.A. Assessment of the exergy efficiency of a combined multi-stage solar water desalination device// International Journal of Science and Research Archive. eISSN: 2582-8185, May 2025. – p. 624-628 (15.02)
3. Mirzayorova S.U., Ibragimov U.X., Rahimov N.Z. Bug'lanish tezligini oshirish orqali quyosh suv chuchutgich qurilmalarining samaradorligini oshirish // Innovatsion texnologiyalar.-2023. №2(50) 28-36-betlar. (05.00.00; №38).
4. Mirzayorova S.U., Ibragimov U.X., Fayziyev T.A. Kombinatsiyalashgan quyosh suv chuchutgich qurilmalarining konstruksiyalari tahlili // Me'morchilik va qurilish muammolari. – 2023. №4. 251-253-betlar. (05.00.00; №14).
5. Mirzayorova S.U., Ibragimov U.X. Kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasi // Me'morchilik va qurilish muammolari. – 2024. №3. 212-215-betlar. (05.00.00; №14).
6. Mirzayorova S.U., Ibragimov U., Fayziyev T. Ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmalarining chuchuk suv bo'yicha unumdorligini tajribaviy tadqiq qilish. Muqobil energetika. 2025. 1(16). 2025. 36-43 b.

**II bo'lim (II часть; II part)**

7. Mirzayorova S.U., Ibragimov U., Fayziyev T. Energy efficiency assessment of a combined multi-stage solar water desalination plant. IX Международная научно-практическая конференция "SCIENTIFIC RESEARCH: MODERN CHALLENGES AND FUTURE PROSPECTS", 14-16.04.2025, Мюнхен, Германия
8. Ibragimov U.X., Mirzayorova S.U., Avanesov T.R. Experimental study of the heat exchange processes in a combined multi-stage solar desalination // Current trends in scientific research development. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Boston, USA. 2024. Pp. 176-184. <https://sci-conf.com.ua/iv-mizhнародna-naukovo-praktichna-konferentsi-ya-current-trends-in-scientific-research-development-14-16-11-2024-boston-ssha-arhiv/>.
9. Mirzayorova S.U., Fayziyev T.A. Kombinatsiyalashgan quyosh qurilmali suv chuchitish qurilmasini ishlab chiqish. // "Energiya va resurs tejankor innovatsion texnologiyalarni rivojlantirishning dolzarb muammolari". Respublika ilmiy-amaliy anjumani.- Qarshi: QarMII, 2022, 485-487 betlar.
10. Mirzayorova S.U., Ibragimov U.Kh., Fayziyev T.A., Abdinazarov S.B. Modern state of use of solar desalination // APEC-VI-2023. E3S Web of

Conferences 411, 01039(2023). [https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/48/e3sconf\\_apecvi2023\\_01039/e3sconf\\_apecvi2023\\_01039.html](https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/48/e3sconf_apecvi2023_01039/e3sconf_apecvi2023_01039.html)

11. Mirzayorova S.U., Fayziyev T.A. Ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmalarini takomillashtirish usullari tahlili // "O'zbekistonning innovatsion taraqqiyotida yoshlarning o'rni". Respublika ilmiy-amaliy anjumani. - Qarshi: QarMII, 2024, 59-61 betlar.

12. Mirzayorova S.U. Kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutish qurilmasida haroratlarni vaqt bo'yicha o'zgarishini hisoblash dasturi // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma №DGU 43768 (11.11.2024).

13. Mirzayorova S.U. Kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutish qurilmasining chuchuk suv bo'yicha unumdorligini hisoblash dasturi // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma №DGU 43769 (11.11.2024).

14. Mirzayorova S.U. Kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutish qurilmasining FIKni hisoblash dasturi // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 43770 (11.11.2024).

15. Mirzayorova S.U., Ibragimov U.X., Fayziyev T.A. Quyosh suv kollektorli va tashqi kondensatorli kombinatsiyalashgan ko'p pog'onali quyosh suv chuchutgich qurilmasi // Muqobil energiya manbalaridan samarali foydalanish muammolari va yechimlari. Xalqaro ilmiy-texnikaviy konferensiya Qarshi: QarMII, 2024, 52-55-betlar.

Avtoreferat «Innovatsion texnologiyalar» ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazildi va o'zbek, rus, ingliz (tezis) tillaridagi matnlar mosligi tekshirildi (12.08.2025 y.)

Bosmaga ruxsat etildi: 02.10.2025 y  
Bichimi 60x45  $\frac{1}{8}$ , «Times New Roman»  
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.  
Shartli bosma tabog'i 3,0. Adadi:80. Buyurtma: №107  
QDTU «INTELLEKT» nashriyoti MIU bosmaxonasida chop etildi.  
QarDTU bosmaxonasida chop etildi.  
Manzil: Qarshi shahri, Mustaqillik shox ko'chasi, 225–uy..