

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/2025.27.12.T.19.01
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ESANALIYEVA NILUFARXON RAXMONJON QIZI

**MAVSUMIY KESIK KONUS SIRTGA EGA QUYOSH SUV
ISITGICHLARINI ISHLAB CHIQISH**

05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari

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

Farg‘ona – 2026

UO'K662.997 ÷ 621.47

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

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

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

Esanaliyeva Nilufarxon Rahmonjon qizi

Mavsumiy kesik konus sirtga ega quyosh suv isitgichlarini ishlab
chiqish.....

3

Эсаналиева Нилуфархан Рахмонджон кизи

Разработка солнечных водонагревателей сезонного использования с
поверхностью в форме усеченного конуса
.....

23

Esanaliyeva Nilufarkhon Rakhmonjon kizi

Development of solar water heaters with a seasonal truncated-cone
surface.....

43

E'lon qilingan ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ

List of published works.....

47

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/2025.27.12.T.19.01
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ESANALIYEVA NILUFARXON RAXMONJON QIZI

**MAVSUMIY KESIK KONUS SIRTGA EGA QUYOSH SUV
ISITGICHLARINI ISHLAB CHIQISH**

**05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari
asosidagi energiya qurilmalari**

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

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida № B2022.1.PhD/T603 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Farg'ona davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezюме)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.ferpi.uz) va «ZiyoNet» Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Ergashev Sirojiddin Fayazovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy oponentlar:

Mamadaliyeva Lola Kamildjanovna
texnika fanlari doktori, professor

Qosimov Faxriddin Shodmonqulovich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, katta ilmiy xodim

Yetakchi tashkilot:

Andijon davlat universiteti.

Dissertatsiya himoyasi Farg'ona davlat texnika universiteti huzuridagi PhD.03/2025.27.12.T.19.01 raqamli Ilmiy kengashning 2026 yil **"22" avgust soat 9"** dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 150100, Farg'ona sh. Farg'ona k. 86 uy. Tel: (+99873) 241-12-06, faks (+99873) 241-12-06, e-mail: ilmiy-kengash@ferpi.uz, kichik majlislar zali.

Dissertatsiya bilan Farg'ona davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (**№ 340** raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 150100, Farg'ona sh. Farg'ona k. 86 uy. Farg'ona davlat texnika universiteti. Tel: (+99873) 241-12-06.

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil **"6" avgust** kuni tarqatildi.
(2026 yil **"3" 08** dagi № 3 raqamli reyestr bayonnomasi).



U.R.Salomov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
raisi, t.f.d., prof.

A.A.Quchqorov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
ilmiy kotibi, PhD, dotsent

N.R.Avezova
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi,
t.f.d, kat.i.x.

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish ko‘lamlarini kengaytirish, uglevodorodli yoqilg‘i-energetik resurslarni tejash hamda uskunalarning energetik samaradorligini aniqlash asosida energiya tejash zahiralarini baholash va ulardan oqilona foydalanish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda¹. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda «...qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan elektr energiya ishlab chiqarish yillik o‘rtacha 7 % ga o‘sib bormoqda, bunda quyosh energetikasining ulushi jadal ortib bormoqda². 2030 yilga kelib “Net Zero Emission” ssenariysida energiya ishlab chiqarishning asosiy qismi qayta tiklanuvchi energiya manbalari hissasiga to‘g‘ri kelishi prognoz qilinmoqda»³. Bu borada, jumladan kesik konus shaklidagi sig‘imli quyosh suv isitgichlarining optimal konstruksiyalarini ishlab chiqish, tabiiy konveksiya sharoitida bak ichidagi issiqlik almashinuv jarayonlarini tadqiq qilish, harorat qatlamlanishini aniqlash, energiya yig‘ish samaradorligini baholash hamda matematik modellashtirish asosida energiya samaradorligini oshirishga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Jahonda quyoshli issiq suv ta‘minoti tizimlarining energiya samaradorligini oshirish, xususan issiqlik akkumulatori sifatida qo‘llaniluvchi kesik konus shaklidagi sig‘imli quyosh suv isitgichlarining ish rejimlarini optimallashtirish, tabiiy va majburiy konveksiya sharoitida bak ichidagi issiqlik almashinuv jarayonlarini aniqlash hamda konstruksiyasini takomillashtirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda, jumladan, sig‘im ichida harorat qatlamlanishini yaxshilash, issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish, suv hajmi bo‘ylab energiya taqsimotini barqarorlashtirish va ichki oqimlarni samarali boshqarish orqali kesik konus shaklidagi sig‘imli quyosh suv isitgichlarining energetik samaradorligini oshirish hamda ularning asosiy geometrik va issiqlik-gidravlik parametrlarini optimallashtirish bo‘yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, bak ichida suvning tabiiy sirkulyatsion harakati modeli, harorat maydonining balandlik bo‘ylab taqsimlanish qonuniyatlari, issiqlik akkumulyatsiyalash samaradorligini hisoblash usuli hamda issiqlikni saqlash va uzatish jarayonlarining energetik ko‘rsatkichlarini aniqlash dolzarb vazifalardan hisoblanadi.

Respublikamizda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan keng foydalanish va samaradorligini oshirishga yordam beradigan yangi texnologiyalarni yaratish bo‘yicha tadqiqotlar o‘tkazish va ularni amalda qo‘llash bo‘yicha keng ko‘lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2023-2030-yillarda O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha “O‘zbekiston – 2030” strategiyasida belgilangan “Yashil iqtisodiyotga o‘tish, uning asosi sifatida qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni tubdan oshirish” maqsadini amalga oshirishda “... - qayta tiklanuvchi energiya manbalarini 25 GVt ga va umumiy istemoldagi

¹ REN21. Renewables 2024 Global Status Report. Paris, France, 2024.

² BP Statistical Review of World Energy 2024. London, 2024.

³ International Energy Agency (IEA). Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach. Paris, 2023.

ulushini dastlab 40% ga yetkazish; yalpi ichki mahsulot birligiga to'g'ri keladigan issiqxona gazlarini ularning 2010-yildagi darajasiga nisbatan 30% ga kamaytirish", shuningdek, 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida⁴, jumladan «Iqtisodiyotni elektr energiyasi bilan uzluksiz ta'minlash hamda "Yashil iqtisodiyot" texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy etish, iqtisodiyotning energiya samaradorligini 20 foizga oshirish» bo'yicha vazifalari belgilangan⁵. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, xususan, qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida energiya tejamkor issiqlik ta'minoti tizimlarini yaratish va mavjud qurilmalarni modernizatsiya qilish, jumladan kesik konus shaklidagi sig'imli quyosh suv isitgichlarida issiqlik almashinuv jarayonlarini tabiiy konveksiya sharoitida tahlil qilish, harorat qatlamlanishi va energiya yig'ish samaradorligini aniqlash hamda ularni matematik modellashirish orqali yuqori samarali issiq suv ta'minoti tizimlarini ishlab chiqish muhim hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni, 2019 yil 22 avgustdagi PQ-4422-son «Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to'g'risida», 2020 yil 10 iyuldagi PQ-4779-son «Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg'i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida»gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo'yicha tadqiqotlar fan va texnologiyalar rivojlanishining IV- "Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish usullarini rivojlantirish, nanotexnologiyalar, fotonika va boshqa zamonaviy ilg'or texnologiyalar va qurilmalarni yaratish" ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Quyosh issiqlik tizimlari va sig'imli quyosh suv isitgichlarining energiya samaradorligini oshirish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar jahon miqyosida jadal rivojlanmoqda. Quyosh issiqlik qurilmalarining konstruktiv shakllarini takomillashtirish, issiqlik akkumulyatsiyalash jarayonlarini kuchaytirish, geometrik parametrlarni optimallashtirish hamda tabiiy konveksiya jarayonlarini tahlil qilish bo'yicha bir qator taniqli xorijiy olimlar katta hissa qo'shganlar. Jumladan, J.A. Duffie, W.A. Beckman, S.A. Kalogirou, L. Fraas, T. Tabor, Y. Tripanagnostopoulos, A. Sharma, L.F. Cabeza, J.K. Tonui, F. Chabane, Noureddine Moumni va boshqalarning ilmiy ishlarida quyosh suv isitgichlari, integrallashgan bakli tizimlar, fazaviy o'zgaruvchan materiallar (PCM) bilan jihozlangan issiqlik akkumulatorlari hamda konussimon va silindrik sig'imli

⁴ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 11.09.2023 yildagi PF-158-son Farmoni.

⁵ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 14.10.2024 yildagi PF-155-son Farmoni.

baklarning issiqlik samaradorligini oshirish bo'yicha nazariy va tajribaviy tadqiqotlar olib borilgan. Xususan, kesik konus shaklidagi sig'imli baklarda harorat qatlamlanishi, yoritilish burchagining o'zgarishi va energiya yig'ish samaradorligini oshirish bilan bog'liq bir qator ilmiy natijalarga erishilgan.

Quyosh issiq suv tayyorlash tizimlarining issiqlik va energetik samaradorligini hisoblash usullarini ishlab chiqish va takomillashtirishga O'zbekistonning taniqli olimlarining ilmiy ishlari bag'ishlangan. Jumladan, Umarov G.Ya., Zaxidov R.A., Avezov R.R., Avezova N.R., Ergashev S.F., Xayriddinov B.E., Risaxo'jaev B.S., Rashidov Yu., Qosimov F. va boshqalar tomonidan quyosh energiyasidan issiq suv olish texnologiyalari, tabiiy konveksiya jarayonlari, energiya tejankor suv isitgich qurilmalari va mahalliy iqlim sharoitiga moslashtirilgan quyosh issiqlik tizimlari bo'yicha ilmiy asoslangan tadqiqotlar amalga oshirilgan. Olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida quyosh suv isitgichlarining energetik samaradorligini oshirish, issiqlik yo'qotishlarini kamaytirish va kichik energetika amaliyotida qo'llash bo'yicha salmoqli natijalarga erishilgan.

Olib borilgan tadqiqotlarga qaramasdan, kesik konus shaklidagi sig'imli quyosh suv isitgichlarini mahalliy xom-ashyo va materiallar asosida yaratish, ularning konstruktiv yechimlarini takomillashtirish, bak ichidagi tabiiy konveksiya va harorat qatlamlanishi jarayonlarini zamonaviy injenerlik dasturlari asosida tahlil qilish hamda energetik va geometrik parametrlarini optimallashtirish bo'yicha kompleks tadqiqotlarni amalga oshirish talab etilmoqda.

Dissertatsiya ishining oliy ta'lim dasturlari bilan yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlarining rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Farg'ona davlat texnika universiteti ilmiy tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq FL-8824063386- "Issiqlik nasoslari va qayta tiklanadigan energiya texnologiyalaridan foydalangan holda isitish va sovitish ta'minot tizimlari uchun gibrid energiya tizimlarini loyihalash va yaratish ning ilmiy asoslarini rivojlantirish" (2025-2026) loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqot maqsadi kesik konussimon sirtga ega sig'imli va spiral quvurli quyosh suv isitgichlarini ishlab chiqish va asosiy energetik ko'rsatgichlarni tadqiq etish.

Tadqiqotning vazifalari:

quyosh suv isitish tizimlaridan foydalanish bo'yicha zamonaviy holati va rivojlanish tendensiyalarini tahlil qilish, afzalliklari va cheklovlarini aniqlash;

kesik konus quyosh suv isitgich kollektorlarida va ulardagi issiqlik almashinuv jarayonlarni o'rganish;

kesik konus quyosh suv isitgich kollektorlari issiqlik almashinuv jarayonlarini Comsol muhitida sonli modelashtirish;

kesik konus quyosh suv isitgichlarining eksperimental tadqiqotlar asosida issiqlik samaradorligini tadqiq qilish;

Tadqiqotning obyekti mavsumiy kesik konus sirtga ega sig'imli quyosh suv isitgich kollektori va va uning issiqlik-texnik parametrlari olingan.

Tadqiqotning predmeti mavsumiy kesik konus sirtga ega bo'lgan sig'imli quyosh suv isitgichlarida kechadigan issiqlik almashinuv jarayonlari, ularning konstruktiv-geometrik xususiyatlari, suvning tabiiy konveksiya asosidagi aylanishi,

kollektor absorberining issiqlik uzatish qobiliyati hamda qurilmaning umumiy energetik samaradorligini belgilovchi fizik–texnik jarayonlar majmui hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida issiqlikni uzatish va issiqlik almashinuvining tenglamalari, chegaraviy qatlam nazariyasi, issiqlik uzatish quvurlaridagi asosiy issiqlik-texnikaviy va gidravlik parametrlarni aniqlashda analitik va hisobiy usullardan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi:

yuzasi 1 m² bo‘lgan va sutkasiga 110 litrgacha issiq suv olish imkonini beruvchi, sig‘imli kesik konussimon sirtga ega mavsumiy foydalanishga mo‘ljallangan quyosh suv isitish kollektorining konstruksiyasi ishlab chiqilgan;

kesik konussimon absorberning radiuslari va balandligi nisbatlari hamda kollektorning o‘rnatish burchagini yoritilgan sirt maydoni, suv sig‘imi va issiqlik samaradorligi mezonlari bo‘yicha birgalikda baholashga asoslangan ko‘p mezonli geometrik maqbullashtirish usuli ishlab chiqilgan;

sig‘imli kesik konussimon quyosh suv isitgichida ichki yassi va tashqi spiralsimon quvurli deflektorlar hosil qiladigan yo‘naltirilgan tabiiy sirkulyatsiyaning konvektiv issiqlik almashinuvi ko‘rsatkichlariga ta’sirining miqdoriy bog‘liqligi aniqlangan;

kesik konussimon sig‘imli quyosh suv isitgichida o‘tkazilgan sonli va eksperimental tadqiqotlar asosida suv oqimi tezligi $1-1.5 \times 10^{-2}$ m/s bo‘lgan samarali ishlash rejimi aniqlanib, kun davomida 37 °C da 270 litr, 42°C da 150 litr va 55 °C da 110 litrgacha issiq suv olish imkoniyati asoslangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

kesik konussimon sig‘imli quyosh suv isitgichining konstruksiyasi ichki va tashqi deflektorlar hamda spiral quvurli issiqlik almashinuv tizimini qo‘llash orqali takomillashtirilgan;

kesik konussimon sig‘imli quyosh suv isitgichida kechadigan tabiiy konveksiya va issiqlik tarqalish jarayonlarini hisobga olgan holda issiqlik almashinuvini hisoblashning matematik modeli va hisoblash tenglamalari ishlab chiqilgan;

qurilmaning geometrik, gidravlik va issiqlik-texnik parametrlarini aniqlash uchun hisoblash usuli va tavsiya etilgan ishlash rejimlari asoslangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi kesik konus deflektorli va quvurli quyosh suv isitgichida sodir bo‘ladigan issiqlik-massa almashinuvi va issiqlik-texnik tavsiflarining o‘zaro bog‘lanishi va muvofiqligi, hisobiy va tajribaviy natijalarning o‘zaro mos kelishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati kesik konussimon sig‘imli quyosh suv isitgichida kechadigan tabiiy konveksiya, issiqlik tarqalishi va konvektiv issiqlik almashinuv jarayonlarining sonli modellashirilishi hamda deflektorli va spiral quvurli konstruksiyalarning issiqlik samaradorligiga ta’siri aniqlanganligi bilan issiqlik almashinuvi nazariyasi va amaliyoti rivojiga qo‘shgan hissasi orqali izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati kesik konussimon sig‘imli quyosh suv isitgichining geometrik, issiqlik-texnik va gidravlik ko‘rsatkichlarini aniqlash

usullari ishlab chiqilganligi hamda qurilmaning energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi konstruktiv yechimlar tavsiya etilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Mavsumiy kesik konus sirtga ega quyosh suv isitgichlarini ishlab chiqish mavzusi bo'yicha olingan natijalar asosida:

ishlab chiqilgan "Quyosh suv isitgich kollektori" (FAP 10207) ni Toshkent davlat texnika universiteti Qo'qon filialiga jamoat binosining issiqlik ta'minoti tizimiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining 2025-yil 4-sentyabrdagi 04-25-1563-son ma'lumotnomasi). Natijada, tizimda foydalanilayotgan elektr energiya sarfini 25-32 foizgacha tejash imkonini bergan.

konussimon turdagi sig'imli quyosh suv isitgich Rishton tumani "Roshidon Davroni" fermer xo'jaligiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining 2025-yil 4-sentyabrdagi 04-25-1563-son ma'lumotnomasi). Natijada, an'anaviy hamda noan'anaviy issiqlik ta'minoti tizimlari birgalikda foydalanish orqali uglevodorod yoqilg'i sarfini 55-60 foizgacha kamaytirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 5 ta xalqaro konferensiyalarda hamda 3 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 22 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 10 ta, jumladan, 5 ta respublika va 5 ta chet el jurnallarida nashr etilgan, 1 ta foydali model uchun patent va EHM lar uchun 3 ta dasturiy mahsulotga guvohnomalar olingan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya kirish qismi, to'rtta bob, xulosa va adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiyani hajmi 120 betni tashkil etadi.

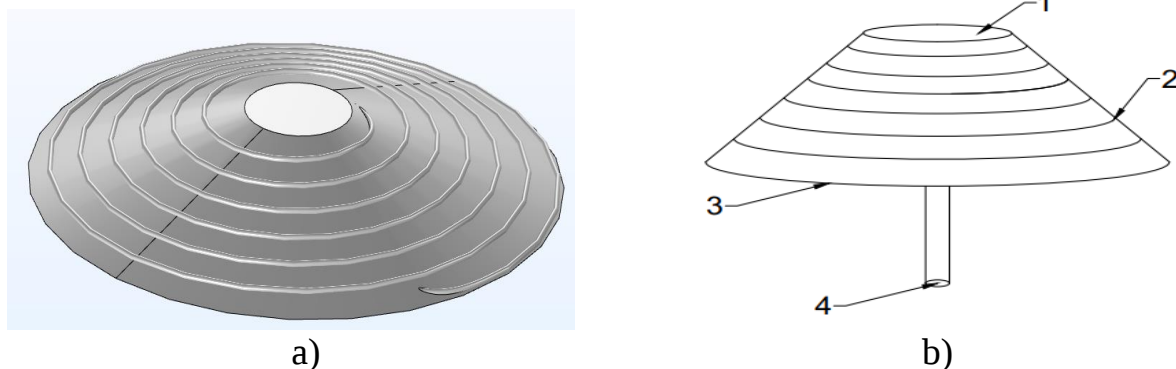
DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, qisqacha tahlil va muammoning o'rganilganlik darajasi keltirilgan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obyekt va predmetlari tavsiflangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilinishi va aprobatsiyasi haqidagi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya hajmi va tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **"Jahonda va O'zbekistonda quyosh suv isitish tizimlaridan foydalanish imkoniyatlari va dolzarbligi"** deb nomlangan birinchi bobida yassi quyosh suv isitish kollektorlari(YQSK) va hajmiy quyosh suv isitish kollektorlari(HQSK), nur yutuvchi issiqlik almashinish panellarining mavjud konstruktiv yechimlarining tahlili o'tkazilgan, ularning asosiy issiqlik parametrlari, quyosh nuri(QN) issiqligini (YQSK) shaffof qoplamasi (SHQ) orqali o'tib, qisman yutilishi va issiqlikka aylanish ularning issiqlik yo'qotish va issiqlik samaradorligi koeffitsientiga ta'siri o'rganilgan,shu asosda tadqiqot vazifalari shakllantirilgan.

Dissertatsiyaning “**Kesik konus quyosh suv isitgich kollektorlarida issiqlik almashinuv jarayonlari**” nomli ikkinchi bobida quyosh suv isitgich kollektorlarining geometrik parametrlari, issiqlik almashinuvi samaradorligini oshirish, issiqlik tashuvchilarning oʻrtacha ishchi haroratlari keltirilgan.

Konussimon absorberli quyosh suv isitgichining geometrik parametrlarini optimallashtirishda uning sirt yuzasini maksimal yoritilishiga erishishiga etibor berildi. Bunga konusning geometrik parametrlari (asos radiusi- R , qopqoq radiusi- r , balandlik- h va burchak- α) optimal tanlash lozim. Har bir parametrning samaradorlikka taʼsiri matematik modellash, grafik tahlil va eksperimental kuzatuvlar asosida baholandi. Kesik konussimon quyosh suv isitgichining asosiy geometrik oʻlchamlari boʻyicha optimallashtirish metodikasi, ularning quyosh nurlanishi bilan yoritilishi, issiqlik almashinuvi va energiya samaradorligiga taʼsiri keng tahlil qilinib samarali geometriya shakllari, materiallar va qurilmadagi spiral quvurlarni joylashtirish sxemasi ishlab chiqildi. Yassi absorberlardan farqli ravishda konussimon shakldagi absorberlar quyosh nurlari oqimini markazga yoʻnaltirish va konveksiya oqimlarini tezlashtirish orqali issiq suv ishlab chiqarishni koʻpaytiradi. Bunday shakllar quyosh nurlanishining sirt boʻylab yanada barqaror taqsimlanishini taʼminlab, yutilish koeffitsiyentining oshishiga olib keladi. Konus shakli va uning ichiga qoyilgan konussimon deflektor yuqoriga torayganligi sababli konvektiv oqimlarni tejankor yoʻnaltirishga yordam beradi.



1-rasm Kesik konussimon ichki va tashqi deflektorli quyosh suv isitgich tashqi koʻrinishi (a) va parametrlarini aniqlash sxemasi (b).

1-kichik asos, 2-mis quvur, 3-katta asos, 4-suv chiquvchi kanal.

Kesik konus shaklidagi kollektorlar quyosh nurlanishini markazga yoʻnaltirish, yutilish yuzasini oshirish va konvektiv harakatni yaxshilash imkonini beradi. Bunday shaklga ega qurilmalarda issiqlik oqimlari yuqoriga koʻtariladi, bu esa issiq suvni tezroq shakllanishiga olib keladi.

Suv issitgich asosiy geometrik koʻrsatkichlarini hisoblashda kesik konusning asosiy formulalaridan foydalanildi.

$$\text{Yon sirt uzunligi}(l): \quad l = \sqrt{(R - r)^2 + h^2} \quad (1)$$

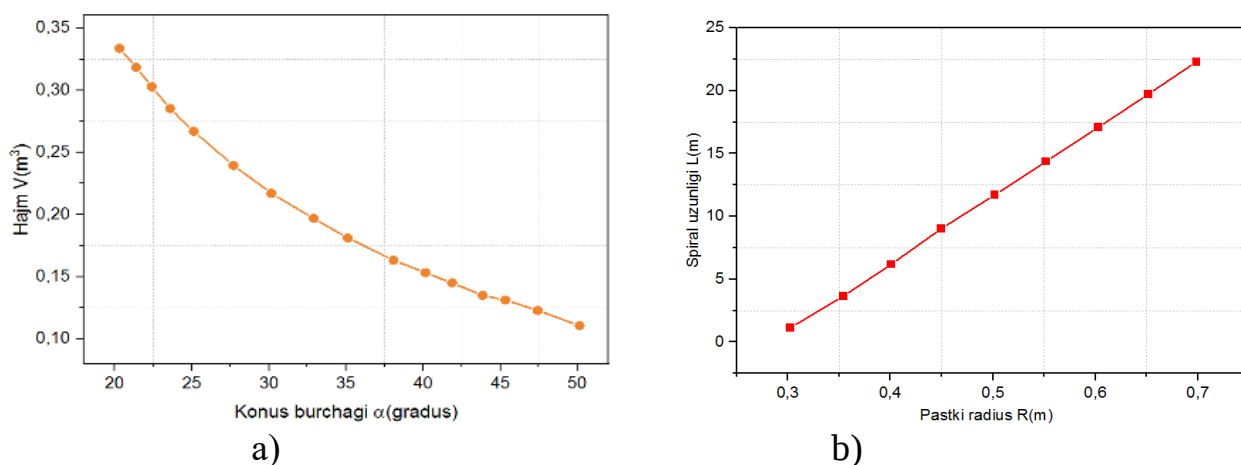
bu formulada R - kesik konus pastki radiusi, r - yuqori radius va h - balandlik.

Quyosh nurlari yutiladigan asosiy sirt yuzasi (A):

$$S = \pi(R + r) \times l \quad (2)$$

$$\text{Suv issitgich hajm}(V): \quad V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2) \quad (3)$$

Ushbu hajm quyosh suv isitgichining qancha miqdorda suv sig‘dira olishini aniqlash uchun ishlatiladi. Bu yerda tajriba asosida: $R=500\text{mm}$ -katta radius, $r=200\text{ mm}$ - kichik radius, $h=345\text{mm}$ -balandlik tanlab olindi. Ushbu qiymatlar asosida quyidagilar aniqlanadi: $l=0,427\text{m}$, $S=0,1\text{m}^2$, $V=0,1100\text{m}^3$



2. -rasm. Burchak α ning hajm V ga (a) va spiral quvur radiusi R ning uning uzunligi L ga(b) ta'siri grafigi

Bu grafik, ayniqsa, konussimon kollektor yuzasida spiral mis quvurlarni joylashtirishda muhim ahamiyatga ega. Mis quvurlar spiral shaklda joylashgani sababli issiqlik almashinuvi uchun qo‘shimcha sirt hosil bo‘ladi. Har bir trubaning uzunligi konus bo‘ylab:

$$L_{quvur} = n \times \sqrt{(2\pi r_n)^2 + p^2} \quad (4)$$

Bu yerda, r_n -har bir spiral aylanish radiusi, p aylanish balandligi, n -spiral aylanishlar soni. Optimal holatda, aylanishlar soni quyosh tushushini to‘smasdan issiqlik uzatishni maksimal qiladi. Eksperimentlar asosida quvur diametri $D=15\text{mm}$ olinganligi optimal natija berganini tasdiqlandi.

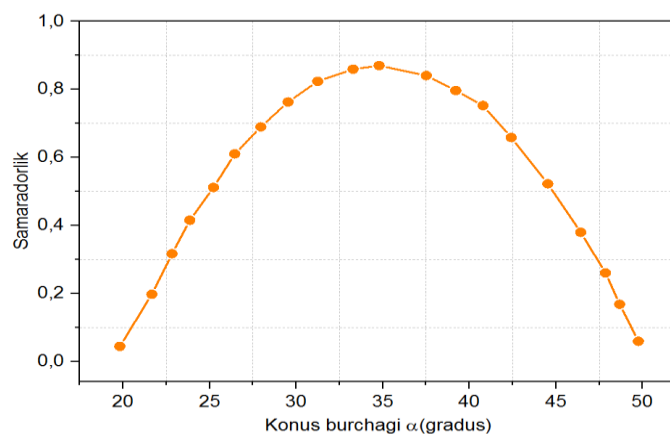
Konussimon absorberli kollektorlar konstruktiysida konusning geometrik burchagi, (α)– ya’ni, uning yon devori bilan vertikal o‘q orasidagi α burchak kollektor sirtining qanday yoritilishini va issiqlik yutilish samaradorligini bevosita belgilaydi. Alfa burchak quyidagi formula asosida aniqlanadi:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{R-r}{h}\right) \quad (5)$$

Quyosh kollektorining eng yuqori samaradorlikda ishlashi uchun konusning geometrik burchagi (α) quyosh nurlari yer yuzasiga tushadigan maksimal burchakdan kam yoki teng bo‘lishi kerak:

$$\alpha \leq \varphi \quad (6)$$

bu yerda: φ -quyosh nuri tushish burchagi (geografik kenglik va kun vaqtiga demak, $\alpha \approx 35^\circ$ bo‘lishi samaradorlikning maksimal shartidir, chunki: quyosh nurlari sirtiga perpendikulyar burchakda tushadi, soya tushishi ehtimoli kamayadi, kollektor yuzasi maksimal yoritiladi.

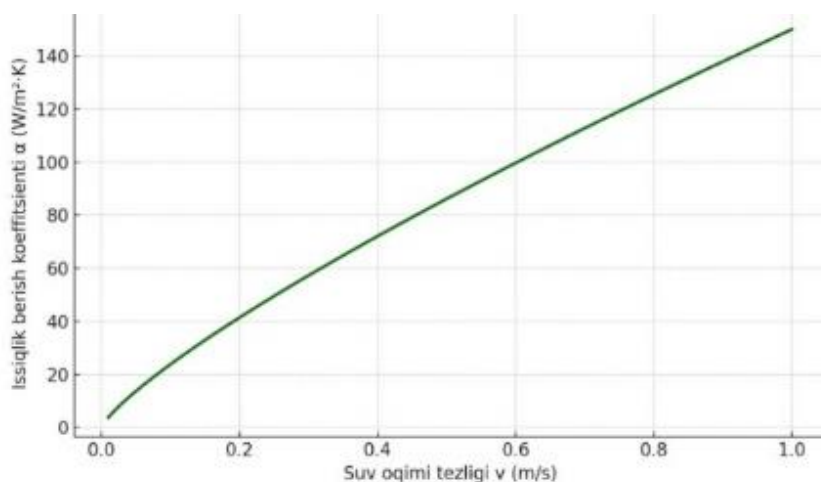


3-rasm. Burchak α ning samaradorlik η ga ta'siri grafigi.

Konussimon quyosh suv isitgichlarida konvektiv issiqlik almashinuvi tahlil qilindi. Kesik konus quyosh suv isitgichida konvektiv issiqlik almashinuvi жараёнини jadallashtirish maqsadida ichki va tashqi deflektorlar o'rnatilgan bo'lib, suv isitgichda konvektiv issiqlik almashinuvi jarayonida issiqlik berilishini hisoblashda Nyuton qonunidan foydalanildi:

$$Q = \alpha F(t_c - t_{dev}) \quad (7)$$

Ya'ni suyuqlik devorga yoki devordan suyuqlikka o'tadigan issiqlik oqimi Q - issiqlik almashinuvida ishtirok etayotgan sirt F ga va temperatura bosimi $t_c - t_{dev}$ ga proporsional bo'ladi bu yerda t_{dev} -devor sirtini yuvib o'tadigan muhitning temperaturasi. Suyuqlik bilan jism sirti orasidagi issiqlik almashinuvining konkret shart-sharoitlarini hisobga oluvchi proporsionallik koeffitsienti α issiqlik berish koeffitsienti deyiladi. Issiqlik berish koeffitsienti α juda ko'p faktorlarga bog'liq: suyuqlik oqimining vujudga kelish sabablariga; suyuqlikning oqish rejimiga (laminar va turbulent); suyuqlikning fizikaviy xossalariga; issiqlik beruvchi sirtning shakliga. Yuqorida keltirigan nazariyalarga asoslanadigan bo'lsak α ning qiymati bir xil sharoitda ham turli qadamlarda o'zgarib boradi



4-rasm. Suv tezligini issiqlik berish koeffitsientiga ta'siri.

bu grafikda α – issiqlik berish koeffitsienti sifatida ko‘rsatilgan. Suv tezligi v ortgan sari α ham ortadi — bu konvektiv issiqlik almashinuvining kuchayishini bildiradi.

Quyosh suv kollektorining issiqlik samaradorligini aniqlashda ushbu formuladan uchun foydalanildi:

$$\eta = \eta_{tr} \left[\alpha_r \tau - \frac{K_d}{q_{ber}} (t_f - t_o) \right] \quad (7)$$

Konussimon suv isitgich kollektor uchun issiqlik almashinishni hisoblanganda

$$\alpha = \frac{G c_p (t'' - t')}{F \Delta t} \cdot \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (8)$$

tenglikdan foydanildi.

$$\alpha = \frac{G c_p (t'' - t')}{F \Delta t} = \frac{120 \cdot 4.2 \cdot 12}{1 \cdot 24} = 25.2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot ^\circ\text{C};$$

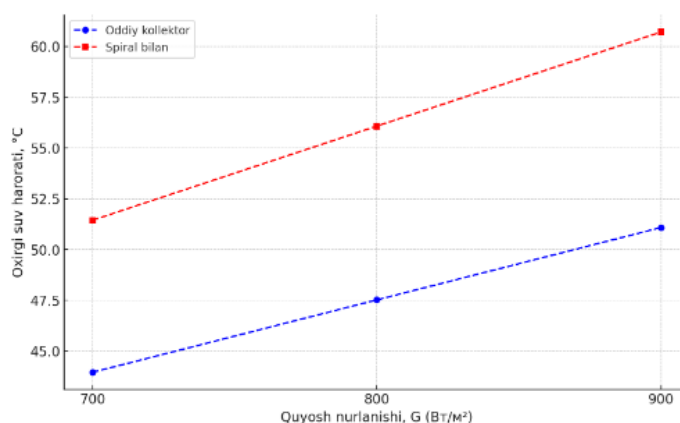
$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} = \frac{25.2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{0.606 \cdot 10^{-2}} = 83.2$$

Oddiy absorberli kesikkonussimon quyosh suv isitgich kollektorida ma'lum sharoitda o'tkazilgan eksperimental natijalari asosida hisoblanganda issiqlik berish koeffitsienti $\alpha = 25.2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, Nusselt soni esa $Nu = 83.2$ ga teng boldi

$$\alpha = \frac{G c_p (t'' - t')}{F \Delta t} = \frac{120 \cdot 4.2 \cdot 22}{1 \cdot 29} = 38.2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} = \frac{38.2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{0.606 \cdot 10^{-2}} = 126.1$$

Kesikkonussimon tashqi mis quvurli deflektorli absorber quyosh suv isitgich kollektor uchun issiqlik almashinishni hisoblanganda issiqlik berish koeffitsienti $\alpha = 38.2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, Nusselt soni esa $Nu = 126.1$ ga teng boldi



5-rasm. Deflektorli va deflektorsiz konussimon sig‘imli quyosh suv isitgich parametrlarini solishtirma hisoblash natijalari.

1- deflektorsiz- $T_{oxir}=55^\circ\text{C}$; 2-mis spiral deflektorli- $T_{oxir}=68^\circ\text{C}$.

Dissertatsiyaning «**Konussimon quyosh suv isitgichlarda issiqlik almashinuvi va suyuqlik harakati jarayonlarini matematik modellash**» deb nomlangan uchinchi bobida asosiy fizik tenglamalar - Navier–Stokes

tenglamalari va issiqlik tarqalish tenglamalari Chekli Elementlar Usuli (FEM) asosida COMSOL Multiphysics muhitida diskretlashtirildi va yechildi. Quyida bu tenglamalarning matematik shakli, sonli sxemasi va COMSOLdagi iteratsion yechim konfiguratsiyalari keltirilgan.

Modellshtirishda qattiq jismlarda issiqlik tarqalish tenglamasidan:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q + Q_{ted}; \quad (9)$$

Suyuqlik yoki gazlarni xarakatini aniqlash uchun Navier-Stoks differensial tenglamasi qo'llanilgan:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho V_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho V_y}{\partial y} + \frac{\partial \rho V_z}{\partial z} = 0. \\ \rho \frac{\partial V_x}{\partial \tau} + \rho V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + \rho V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + \rho V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial p}{\partial x} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \rho \frac{\partial V_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \rho \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \rho \frac{\partial V_x}{\partial z} \right); \\ \rho \frac{\partial V_y}{\partial \tau} + \rho V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + \rho V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + \rho V_z \frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial p}{\partial y} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \rho \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \rho \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \rho \frac{\partial V_y}{\partial z} \right); \\ \rho \frac{\partial V_z}{\partial \tau} + \rho V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + \rho V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + \rho V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial p}{\partial z} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \rho \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \rho \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \rho \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) - F_z; \end{cases} \quad (10)$$

bu yerda V_x, V_y, V_z – oqimmimg tezlik komponentalari, ρ – zichlik, F_z – og'irlik kuchi, ν – suyuqlikni molekulyar kinematik qovushqoqligi, p – bosim, Ushbu tenglama yordamida suyuqlik oqimini tezliklari va bosimi aniqlanadi.

Suyuqlikda issiqlik tarqalishini hisoblashda quyidagi tenglamadan:

$$\begin{cases} \rho C_p \frac{\partial T_2}{\partial \tau} + \rho C_p V_x \frac{\partial T_2}{\partial x} + \rho C_p V_y \frac{\partial T_2}{\partial y} + \rho C_p V_z \frac{\partial T_2}{\partial z} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T_2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T_2}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T_2}{\partial z} \right) + Q + Q_p + Q_{vd}; \end{cases} \quad (11)$$

Issiqlik tarqalish tenglamasi (konvektiv-diffuzion shaklda)

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + \vec{U} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_{um}. \quad (12)$$

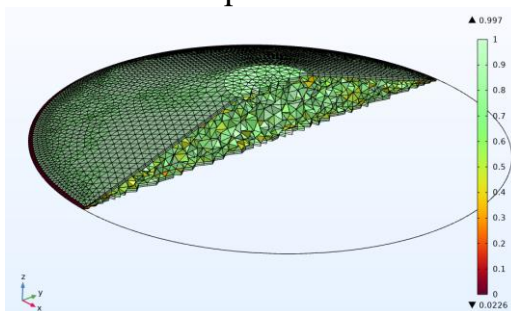
Bu tenglama issiqlik sig'imi, oqim harakati, va diffuziya ta'sirida haroratning o'zgarishini ifodalaydi.

Diskretlashtirilgan ko'rinishi (2D, Markaziy farq + vaqt bo'yicha ayirish):

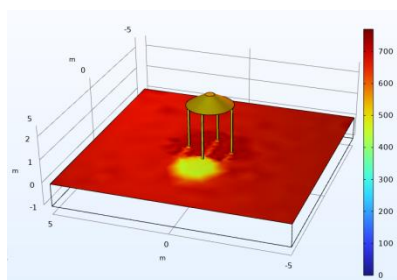
$$\begin{aligned} \rho C_p \left(\frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i,j,k}^n}{\Delta \tau} + V_{x,i,j,k} \cdot \frac{T_{i+1,j,k}^{n+1} - T_{i-1,j,k}^n}{2\Delta x} + V_{y,i,j,k} \cdot \frac{T_{i,j+1,k}^{n+1} - T_{i,j-1,k}^n}{2\Delta y} + V_{z,i,j,k} \cdot \frac{T_{i,j,k+1}^{n+1} - T_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} \right) = \\ = k \left(\frac{T_{i+1,j,k}^{n+1} - 2T_{i,j,k}^n + T_{i-1,j,k}^n}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j+1,k}^{n+1} - 2T_{i,j,k}^n + T_{i,j-1,k}^n}{\Delta y^2} + \frac{T_{i,j,k+1}^{n+1} - 2T_{i,j,k}^n + T_{i,j,k-1}^n}{\Delta z^2} \right) + Q_{um}. \end{aligned} \quad (13)$$

Tenglamadagi markaziy ayirmalar sxema asosida COMSOL tomonidan yechildi. Issiqlik almashinuv jarayonlarini matematik modelini sonli usulda olingan natijalarning umumiy tahlili. Olingan natilar jumladan issiqlik almashinuvi va

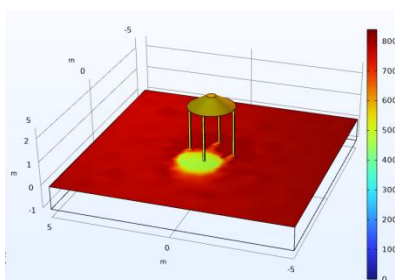
issiqlik tarqalishi shuningdek suv harakati tezliklari quyosh radiatsiyasi $250-910 \text{ W/m}^2$ bo'lgandagi turli sharoitlarda aniqlandi.



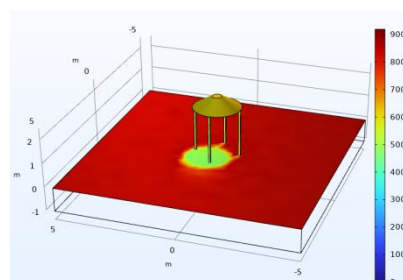
6-rasm. Konussimon quyosh suv isitgichining kichik to'rlarga ajratilganligi (32632 ta)



9-00



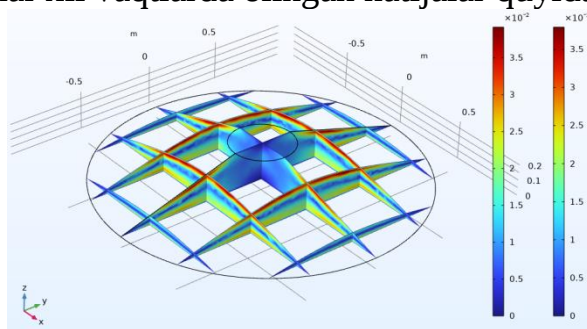
10-00



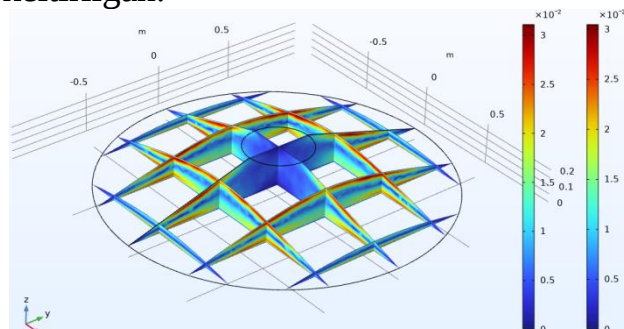
11-00

7-rasm. Konussimon suv isitgich kollektorini kunning turli vaqtlarida harorat konturlari.

Quyosh energiyasidan foydalangan holda suv isitish tizimlarining samaradorligi suv oqimining tezligiga, ishchi kamerasining konstruksiyasiga va issiqlik almashinish jarayonlariga bog'liq. Bu yerda oddiy rezervuarli quyosh suv isitgichining ishchi kamerasida suvning tezligi $0,5-1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ oralig'ida o'zgarib, har xil vaqtlarda olingan natijalar quyida keltirilgan.



c)



e)

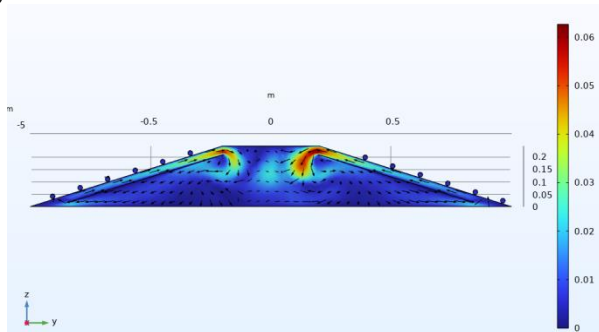
8-rasm. Konussimon quyosh suv isitgichining ishchi kamerasida suvning tezligi $0,5-1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ oralig'ida turli xil vaqtlarda o'zgarishi.

Suvning harakat tezligi $0,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ bo'lganda, issiqlik almashinuvi nisbatan sekin amalga oshadi, chunki konvektiv issiqlik o'tkazuvchanligi past ko'rsatgichga ega bo'ladi. Bunday tezlikda suvning yuqori qatlamlari ko'proq issiqlik almashinuv jarayonini kuzatish mumkin, lekin pastki qatlamlarda issiqlik bir tekis tarqalmasligi kuzatildi.

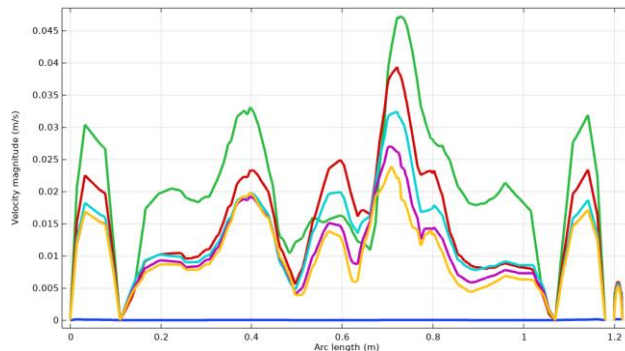
Tezlik $1,0-1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ oralig'ida bo'lganda, konvektiv issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti sezilarli darajada oshadi. Suvning ichki aylanma harakati issiqlikni bir xil taqsimlaydi va rezervuarning samaradorligi oshadi.

Quvurlar tizimi, suv oqimini ta'minlash bilan birga issiqlik uzatish yuzasini kengaytiradi va haroratning bir xil taqsimlanishini ta'minlaydi. Tizimda suv

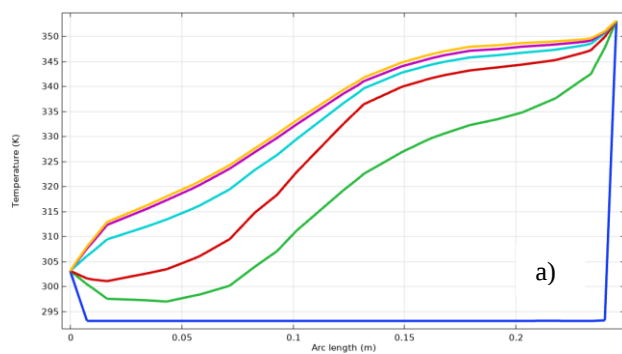
oqimining tezligi yuqoriroq bo'lganida ($1,0-1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s oralig'ida), konvektiv issiqlik uzatilish koeffitsienti sezilarli darajada oshgani qayd etildi. Bu suvning ichki aylanma harakatini yaxshilab, issiqlikni bir xil tarqatishga yordam berdi. Natijalardan kelib chiqib, ishchi kamerasining konstruksiyasini takomillashtirish va deflektorlarning optimal joylashuvi tizimning umumiy samaradorligini oshirishga yordam beradi.



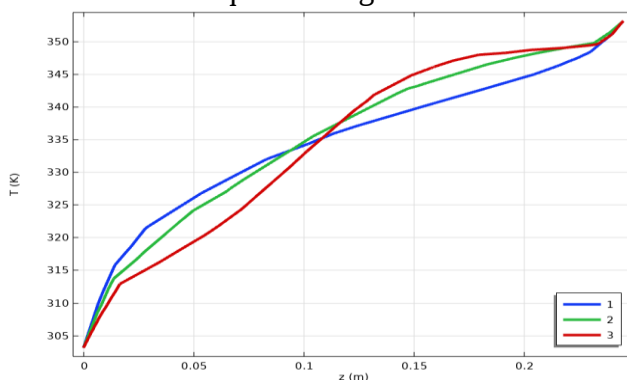
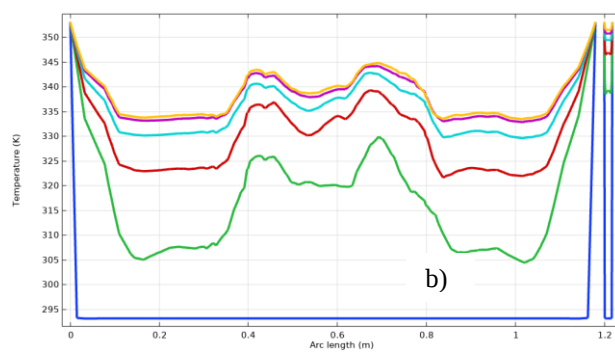
9-rasm. Konussimon, ichki va tashqi deflektor quvurli quyosh suv isitgichida -tezlik vektorlari turli vaqtlarda.



10-rasm. Konussimon, ichki va tashqi deflektor quvurli quyosh suv isitgichida suvning tezligini turli vaqtlarda o'zgarishi.



11-rasm. Konussimon, ichki va tashqi deflektor quvurli quyosh suv isitgichida suvning haroratini turli vaqtlarda o'zgarishi

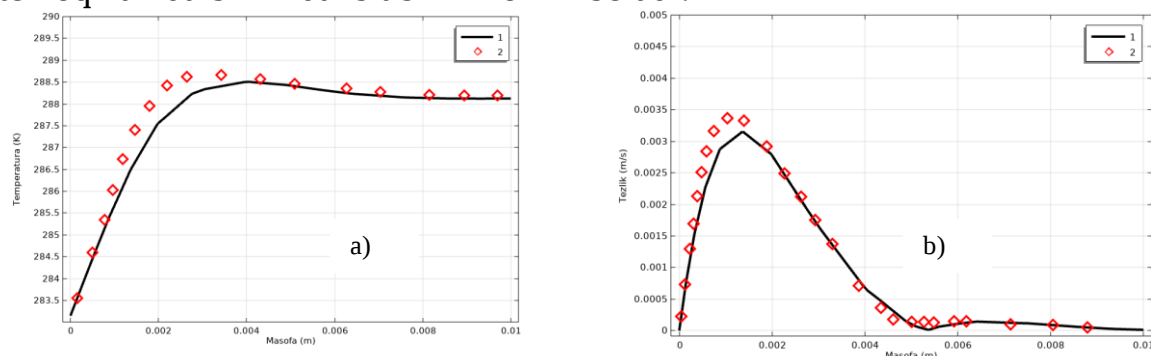


12-rasm. Konussimon quyosh suv istgichlarda issiqlik tarqalishi haroratga bog'liqligi.

1-oddiy turdagi sigimli quyosh suv isitgichi, 2- deflektorli sigimli quyosh suv isitgichi, 3- ichki konussimon va tashqi quvurli deflektorli sigimli quyosh suv isitgich kollektori.

Tadqiqotda o'rganilgan sigimli quyosh suv isitgichlari uch xil konstruksiyaviy yechimda taqdim etilgan: 1) oddiy konussimon sigimli quyosh suv isitgichi, 2) ichki deflektorli konussimon sigimli quyosh suv isitgichi va 3) Konussimon, ichki va tashqi deflektor quvurli quyosh suv isitgichi. Ushbu tizimlar orasida eng yuqori issiqlik samaradorligiga ega bo'lgan qurilma — bu ichki va tashqi deflektor quvurli quyosh suv isitgichi hisoblanadi. Sonli modellashtirish natijalariga

ko‘ra, aynan shu qurilma 15–20% yuqori issiqlik samaradorligini ko‘rsatadi va suvni tezroq hamda bir xilda isitish imkonini beradi.

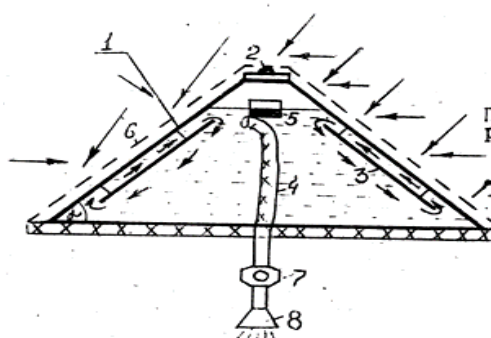


13-rasm. Matematik va imitatsion modellarning natijalarini o‘zaro taqqoslash

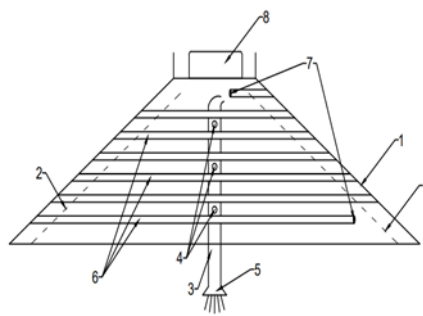
a), Temperatura b) Tezlik – 1– ishlab chiqilgan matematik model, 2– tajriba asosida olingan natijalar.

Matematik modelni sonli yechish orqali olingan natijalarning ishonchliligini ta’minlash maqsadida, “COMSOL MULTIPHYSICS 6.1” dasturiy ta’minotidan foydalangan holda, quyosh suv isitgich kollektorining suv quvurlarida issiqlikning bo‘ylama tarqalishi hisoblab chiqildi. Olingan natijalar o‘zaro taqqoslandi va dissertatsiya ishida keltirilgan matematik modelni ishonchliligi (adekvatliligi) isbotlandi.

“Kesik konussimon quyosh suv isitgich kollektorining eksperimental tadqiqotlar asosida issiqlik samaradorligini tadqiq qilish” deb nomlangan to‘rtinchi bobida konussimon sig‘imli quyosh suv isituvchining real tabiiy sharoitdagi to‘liq miqyosli sinovlardan o‘tkazish tartibi va sinov jarayonining barcha parametrlarini o‘lchash, natijalarni uzliksiz ravishda axborot bazasiga registratsiya qilish imkonini beruvchi axborot – o‘lchash tizimi, sinov natijalari va texnik-iqtisodiy va ekologik ko‘rsatkichlari keltirilgan.



a)



b)

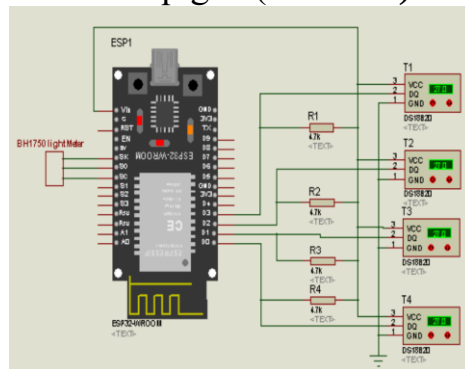
14- rasm. Kesik konussimon quyosh suv isitgichining tajriba namunasi.

a)- ichki yassi deflektorli; b)- ichki yassi va tashqi mis quvurli deflektorli

Ishlab chiqilgan kesik konussimon quyosh suv isitgichining sinov dasturi va

uslubu va uning samaradorligini tadqiq qilish G.M. Krjijanovski nomidagi ENIN Geliotexnika laboratoriyasida ishlab chiqilgan quyoshli suv isitgichlarini sinash dasturi va uslubiyatiga asosan, shuningdek amaldagi GOSTlarga muvofiq qurilgan eksperimental stenddan foydalangan holda o'tkazildi: GOST 28310-89.

Sinovlar uchun o'lchov stendi. Sinovlarda yuzaning, suvning, atrof-muhitning haroratlari, quvurli deflektor orqali oqayotgan suv miqdori va kollektor yuzasiga tushayotgan quyosh nurlanishi parametrlarini o'lchash uchun DataLogger ESP-WROVWER – 32 ko'p kanalli o'lchov stendi ishlab chiqilgan (4.5-rasm).



15- rasm. Suv isitgich va o'lchov ahborot tizimi ning printsipial sxemasi.

O'lchov ahborot tizimi – Data Logger ESP-WROVWER – 32 mikrokontrolleri asosida yig'ilgan. Bu yerda yoruglik va harurat datchiklari suv isitgichning yuzasiga joylashtirilgan. Sxemada harorat o'lchash DS 18B20, quyosh radiatshiyasi esa BH1750 Ligt Metr – datchigi orqli bajarildi. ESP-WROVWER – 32 mikrokontrollerida ilovada keltirilgan Client dasturi yordamida barcha o'lchsh aballari bajarilib, qiymatlar axborot bazasiga uzliksiz ravishda belgilangan vaqt intervalida yozib boriladi. Davr uchun o'lchangan qiymatlar quyidagi n-tablitsada keltirilgan.

1-jadval.

Kesik konussimon, deflektorli quyosh suv isitgich tajriba natijalari.

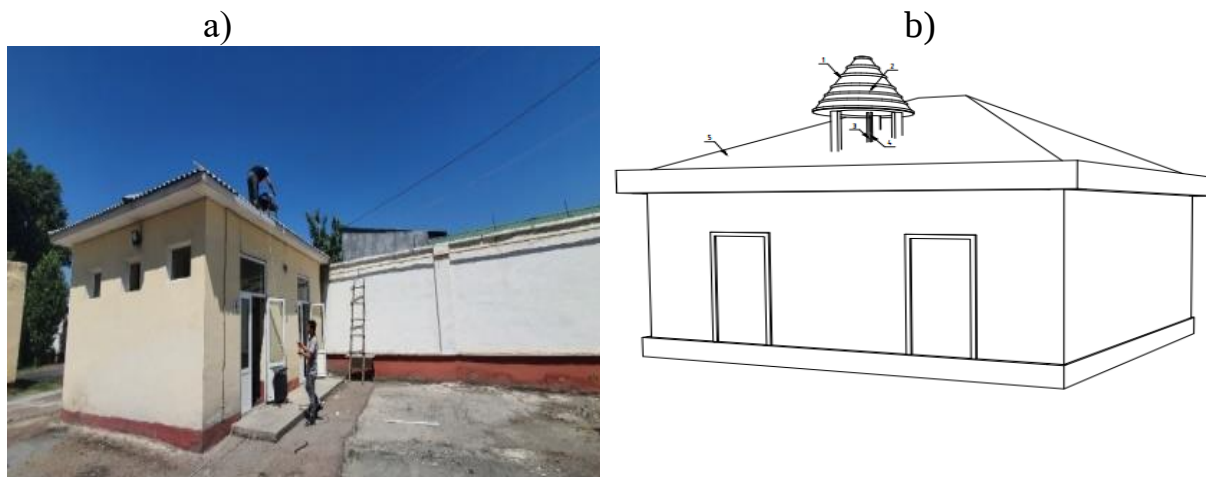
№ Qizitilgasu vning i-chi porsiyasita rtib raqami	Qizitilgan suvning i- chi porsiyasi o'rtacha harorati, ti (°C)	Qizitilga n suvning i-chi porsiyasi hajmi Vi (litr)	37°C ga keltirilgan shartli hajmi Vshartli (litr)	Quyosh nurlanishi va atrof-muhit parametrlari			
				Vaqt (soat)	Sirtga perpendikulyar tushgan umumiy nurlanish (W/m ²)	Shamol tezligi V (m/s)	Atrof-muhit harorati to (°C)
1	71	10	28,9	9 ³⁰	740	0,8	30
2	71	10	28,9				
3	69	10	27,8				
4	65	10	25,6	12 ³⁰	1050	1,2	35
5	62	10	23,9				
6	58	10	21,7				
7	54	10	19,6	15 ³⁰	950	2,0	37
8	51	10	18,6				
9	47	10	15,5				
10	44	10	14				
11	41	10	12,3	18 ³⁰	710	2,0	32
U _{fak} = 110 l, U _{shartli} = 268 l.							

Ushbu malumotlarni <http://pribori.uz/Nilufar> havolasi bilan ko‘rish mumkin.

2023–2025-yillarning aprel–noyabr oylarida Farg‘ona davlat texnika universiteti geliopoligonida konussimon turdagi ro‘zg‘orbop quyosh suv isitgichining ekspluatatsion sharoitlardagi tajriba-sinovlari va energetik samaradorlik tadqiqotlari amalga oshirildi. Sinov natijalari asosida qurilmaning kunlik unumdorligi, chiqish harorati va foydali ish koeffitsienti aniqlandi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, kollektor tarkibiga o‘rnatilgan mis spiral deflektor issiqlik almashinuvini jadallashtirib, oqimda turbulentlik hosil qiladi hamda haroratning bir tekis taqsimlanishini ta‘minlaydi. Natijada kollektorning chiqish harorati oddiy konstruksiyalarga nisbatan o‘rtacha 10–12°C ga yuqori bo‘ldi. Quyosh nurlanishi ortishi bilan qurilmaning foydali ish koeffitsienti ham oshib, uning qiymati: $\eta=0.65\div0.70$ diapazonda ekanligi eksperimental jihatdan tasdiqlandi.

Texnik-iqtisodiy tahlillar asosida qurilmaning o‘zini qoplash muddati asosan yillik ishchi soatlar soni va suvni qizdirish haroratiga bog‘liq ekanligi aniqlandi. Tabiiy gazni almashtirish holatida: $\tau_{\max}=3000$ soat bo‘lganda, $T=37\text{ }^{\circ}\text{C}$ uchun 1,12 yilni, $T=50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ oralig‘ida esa 1,66 yilni tashkil etdi. Elektr energiyasini almashtirishda ushbu ko‘rsatkichlar mos ravishda 0,5 va 1,6 yilni tashkil qilishi aniqlandi. Shuningdek, iqtisodiy taqqoslash natijalari mahalliy konussimon quyosh suv isitgichining import analoglariga nisbatan yuqori raqobatbardosh ekanligini ko‘rsatdi. Xususan, xorijiy analoglar narxi €350–400 atrofida bo‘lsa, ishlab chiqilgan mahalliy qurilmaning tannarxi taxminan 1 mln so‘m (80 AQSh dollari) ni tashkil etib, uning 4–5 barobar arzonligi asoslandi.

Namunaviy suv isitgich “TDTU Qo‘qon filiali”da jamoat binosiga o‘rnatildi. Natijada suv harorati 68 °C gacha yetkazilib, yillik energiya sarfi 27 % gacha tejaldi.



16-rasm. TDTU QF jamoat binosiga o‘rnatilgan kesikkonussimon quvur absorberli quyosh suv isitgichining umumiy (a) va sxematik(b) ko‘rinishi.

XULOSALAR

1. Kesik konussimon absorberli sig'imli quyosh suv isitgich qurilmasining konstruksiyasi ishlab chiqildi va uning maqbul geometrik o'lchamlari asoslab berildi (asos diametri 1,0 m, balandligi $\approx 0,345$ m, suv sig'imi 110 l, absorber ishchi yuzasi $1,0 \text{ m}^2$). Natijada, taklif etilgan yechim an'anaviy suv isitgichlarga nisbatan metall sarfini taxminan 4–5 baravar kamaytiradi: qurilma ruxlangan po'lat listdan tayyorlanganda massasi qariyb 6 kgni, alyuminiy list qo'llanganda esa 2–3 kgni tashkil etadi.

2. Issiqlik almashinuvi jarayonlarini jadallashtirish uchun deflektorlar qo'llanildi. Ichki va tashqi deflektorlar yordamida konussimon bak-akkumulyatorli kollektor ichidagi issiqlik almashinuv jarayonlari sezilarli darajada kuchaytirildi. Natijada suvning maksimal harorati taxminan $10\text{--}12^\circ\text{C}$ ga oshdi va qurilmaning foydali ish ko'effitsienti (issiqlik samaradorligi) 50 % dan 65–70 % gacha ko'tarilishi ta'minlandi.

3. COMSOL Multiphysics dasturida olingan natijalar optimal rejimlarni ko'rsatdi. Raqamli modellash natijalari deflektorli konussimon kollektor ichida issiqlik almashinuvining samarali ekanligini tasdiqladi hamda optimal ish rejimi parametrlarini aniqladi. Jumladan, suv oqimi tezligi $1,0\text{--}1,5 \text{ m/s}$ bo'lganda, konvektiv issiqlik uzatish ko'effitsienti $\alpha = 38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ va Nusselt soni $Nu = 126$ ga yetishi, buning natijasida tizim samaradorligi qo'shimcha 12–15 % ga oshishi nazariy jihatdan isbotlandi.

4. Tabiiy sharoitlarda o'tkazilgan eksperimental sinovlar mazkur qurilmaning yuqori samaradorligini tasdiqladi: bir sutkada 110 litr suvni $68\text{--}71^\circ\text{C}$ gacha isitish imkoniyati qayd etildi. Natijada, bu ko'rsatkich $+37^\circ\text{C}$ ga keltirilgan shartli issiq suv hajmi bo'yicha 270 litrga mos kelishi aniqlandi hamda tajriba natijalariga ko'ra qurilmaning foydali ish ko'effitsienti 65–70 % oralig'ida ekanligi belgilandi.

5. Texnik-iqtisodiy baholash natijalari qurilmaning arzonligi va tejamkorligini tasdiqladi: o'zini o'zi qoplash muddati gaz energiyasi o'rnida qo'llanganda 1,1–1,6 yilni, elektr energiyasi o'rnida qo'llanganda esa 0,5–1,6 yilni tashkil etdi. Natijada, ishlab chiqilgan mahalliy model xorijiy analoglariga nisbatan 4–5 baravar arzon ekani aniqlandi hamda mazkur qurilmadan foydalanish an'anaviy yoqilg'i va elektr energiyasi sarfini sezilarli darajada kamaytirish imkonini berishi asoslandi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/2025.27.12.T.19.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ФЕРГАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ФЕРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ЭСАНАЛИЕВА НИЛУФАР РАХМОНЖОН КИЗИ

**РАЗРАБОТКА СЕЗОННЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ С
ПОВЕРХНОСТЬЮ УСЕЧЁННОГО КОНУСА**

05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

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

ФЕРГАНА – 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2022.1.PhD/T603.

Диссертация выполнена в Ферганском государственном техническом университете.
Аннотация диссертации размещена на трех языках (узбекском, русском, английском (краткое изложение)) на сайте Научного совета (www.fetri.uz) и на информационно-образовательном портале «Зиёнет» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Эргашев Сироджиддин Файзович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Мамадалиева Лола Камилджановна
доктор технических наук, профессор

Косимов Фахриддин Шадмонкулович
доктор философии по техническим наукам, старший научный сотрудник

Ведущая организация:

Андижанский государственный университет

Защита состоится «22» августа 2026 года в 9 часов на заседании Научного совета PhD.03/2025.27.12.T.19.01 при Ферганском государственном техническом университете. Адрес: 150107, г. Фергана, ул. Ферганская, дом 86. Тел: (+99873) 241-12-06, факс (+99873) 241-12-06, e-mail: ilmiy-kengash@fertri.uz, малый зал заседания.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ферганского государственного технического университета (зарегистрирована за № 396). Адрес: 150107, г. Фергана, ул. Ферганская, дом 86. Тел: (+99873) 241-12-06.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2026 года.
(протокол рассылки № 3 от «___» _____ 2026 г.)



Председатель Научного совета по присуждению научных степеней, доктор технических наук, профессор
У.Р. Саломов

Научный секретарь научного совета по присуждению научных степеней, кандидат наук (PhD), доцент
А.А. Кучкаров

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению научных степеней, доктор технических наук **Н.Р. Аветисова**

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мире особое внимание уделяется вопросам расширения масштабов использования возобновляемых источников энергии, экономии углеводородных топливно-энергетических ресурсов, а также оценке резервов энергосбережения и их рациональному использованию на основе определения энергетической эффективности оборудования¹. В настоящее время в развитых странах «производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии растет в среднем на 7% ежегодно, при этом доля солнечной энергетики интенсивно увеличивается². Прогнозируется, что к 2030 году в рамках сценария «Net Zero Emissions» основная часть производства энергии будет приходиться на долю возобновляемых источников энергии»³. В этом направлении особое внимание уделяется разработке оптимальных конструкций ёмкостных солнечных водонагревателей в форме усечённого конуса, исследованию процессов теплообмена внутри бака в условиях естественной конвекции, определению температурной стратификации, оценке эффективности сбора энергии, а также повышению энергоэффективности на основе математического моделирования.

В мире ведутся научные исследования, направленные на повышение энергоэффективности систем солнечного горячего водоснабжения, в частности, на оптимизацию рабочих режимов ёмкостных солнечных водонагревателей в форме усечённого конуса, используемых в качестве тепловых аккумуляторов, определение процессов теплообмена внутри бака в условиях естественной и вынужденной конвекции, а также на совершенствование их конструкции. В данном направлении приоритетными считаются исследования по повышению энергетической эффективности ёмкостных солнечных водонагревателей в форме усечённого конуса путём улучшения температурной стратификации внутри ёмкости, снижения тепловых потерь, стабилизации распределения энергии по объёму воды и эффективного управления внутренними потоками, а также по оптимизации их основных геометрических и теплогидравлических параметров. Наряду с этим, актуальными задачами являются разработка модели естественного циркуляционного движения воды внутри бака, изучение закономерностей распределения температурного поля по высоте, совершенствование методики расчёта эффективности аккумулирования тепла, а также определение энергетических показателей процессов сохранения и передачи тепловой энергии.

В нашей республике реализуются широкомасштабные меры по проведению исследований в области создания новых технологий, способствующих широкому использованию и повышению эффективности возобновляемых источников энергии, а также по их практическому

¹ REN21. Renewables 2024 Global Status Report. Paris, France, 2024.

² BP Statistical Review of World Energy 2024. London, 2024.

³ International Energy Agency (IEA). Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach. Paris, 2023

внедрению. В рамках реализации цели «Переход к «зелёной» экономике, кардинальное повышение уровня использования возобновляемых источников энергии как её основы», определённой в Стратегии «Узбекистан – 2030» по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2023–2030 годах, установлены задачи по «...доведению мощности возобновляемых источников энергии до 25 ГВт и их доли в общем объёме потребления первоначально до 40%; сокращению выбросов парниковых газов на единицу валового внутреннего продукта на 30% по сравнению с уровнем 2010 года», а также в Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы ⁴, в частности, по «бесперебойному обеспечению экономики электроэнергией и активному внедрению технологий «зелёной» экономики во все сферы, повышению энергоэффективности экономики на 20 процентов»⁵. В реализации данных задач важное значение имеют создание энергоэффективных систем теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии и модернизация существующих установок, в том числе анализ процессов теплообмена в ёмкостных солнечных водонагревателях в форме усечённого конуса в условиях естественной конвекции, определение температурной стратификации и эффективности аккумулирования энергии, а также разработка высокоэффективных систем горячего водоснабжения на основе их математического моделирования.

Постановления Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О Стратегии развития новой Узбекистана на 2022-2026 годы», от 22 августа 2019 года № ПК-4422 «О срочных мерах по повышению энергетической эффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», от 10 июля 2020 года № ПК-4779 «О дополнительных мерах по повышению энергетической эффективности экономики и снижению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетических продуктов путем привлечения имеющихся ресурсов» и в других нормативно-правовых документах, относящихся к данной деятельности, установленные задачи. Данное диссертационное исследование служит в определённой степени реализации указанных выше задач в соответствии с требованиями к автореферату.

Соответствие данного исследования приоритетным направлениям развития науки и техники в республике. Исследования диссертации проводилось в рамках приоритетного направления развития науки и техники IV: «Разработка методов использования возобновляемых источников энергии, создание нанотехнологий, фотоники и других современных передовых технологий и устройств».

Степень изученности проблемы. Научные исследования по повышению энергетической эффективности солнечных тепловых систем и ёмкостных солнечных водонагревателей интенсивно развиваются в мировом масштабе. Значительный вклад в совершенствование конструктивных форм

⁴ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 11.09.2023 yildagi PF-158-son Farmoni.

⁵ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 14.10.2024 yildagi PF-155-son Farmoni.

солнечных тепловых устройств, интенсификацию процессов накопления тепла, оптимизацию геометрических параметров и анализ процессов естественной конвекции внесли известные зарубежные учёные, включая Дж.А. Даффи, У.А. Бекмана, С.А. Калогиру, Л. Фраса, Т. Табора, И. Трипанагностопулоса, А. Шарму, Л.Ф. Кабезу, Дж.К. Тонуи, Ф. Шабане, Нуреддина Муми и других. В их научных работах проведены теоретические и экспериментальные исследования по повышению тепловой эффективности солнечных водонагревателей, интегрированных резервуарных систем, тепловых аккумуляторов, оснащённых материалами с фазовым переходом (PCM), а также конических и цилиндрических ёмкостных баков. В частности, получены значительные научные результаты, связанные со стратификацией температуры в ёмкостных баках усечённой конической формы, изменением угла освещения и повышением эффективности накопления энергии.

Научные работы известных узбекских учёных посвящены разработке и совершенствованию методик расчёта тепловой и энергетической эффективности солнечных систем горячего водоснабжения. Так, учёными Г.Я. Умаровым, Р.А. Захидовым, Р.Р. Авезовым, Н.Р. Авезовой, С.Ф. Эргашевым, Б.Е. Хайриддиновым, Б.С. Расаходжаевым, Ю. Рашидовым, Ф. Касимовым и другими проведены научно обоснованные исследования по технологиям получения горячей воды из солнечной энергии, процессам естественной конвекции, энергосберегающим конструкциям водонагревателей и солнечным тепловым системам, адаптированным к местным климатическим условиям. В результате проведённых научных исследований получены значительные результаты по повышению энергетической эффективности солнечных водонагревателей, снижению тепловых потерь и применению их в практике малой энергетики.

Несмотря на проведённые исследования, требуется осуществление комплексных научных работ по созданию ёмкостных солнечных водонагревателей усечённой конической формы на основе местного сырья и материалов, совершенствованию их конструктивных решений, анализу процессов естественной конвекции и температурной стратификации внутри бака с использованием современных инженерных программ, а также оптимизации энергетических и геометрических параметров.

Связь диссертационной работы с программами высшего образования или с планами научно-исследовательских работ научно-технического учреждения. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ферганского государственного технического университета в рамках проекта FL-8824063386- «Разработка научных основ проектирования и создания гибридных энергетических систем для систем отопления и охлаждения с использованием тепловых насосов и технологий возобновляемой энергии» (2025-2026).

Цель исследования разработка ёмкостных солнечных водонагревателей с поверхностью в форме усечённого конуса и со

спиральным змеевиком, а также исследование их основных энергетических показателей.

Задачи исследования:

анализ современного состояния и тенденций развития использования систем солнечного водонагрева, определение их преимуществ и ограничений;

изучение солнечных водонагревателей-коллекторов с усечённым конусом и процессов теплообмена в них;

численное моделирование процессов теплообмена в усечённо-конических солнечных водонагревателях-коллекторах в среде Comsol;

исследование тепловой эффективности усечённо-конических солнечных водонагревателей на основе экспериментальных данных.

Объект исследования тепловые и технические параметры сезонного высокопроизводительного солнечного водонагревательного коллектора с усечённой конусной поверхностью.

Предметом исследования являются процессы теплообмена, протекающие в сезонных ёмкостных солнечных водонагревателях с поверхностью в форме усечённого конуса, их конструктивно-геометрические особенности, циркуляция воды на основе естественной конвекции, теплопередающая способность абсорбера коллектора, а также совокупность физико-технических процессов, определяющих общую энергетическую эффективность установки.

Методы исследования. В процессе исследования использовались уравнения теплопередачи и теплообмена, теория пограничного слоя, аналитические и расчётные методы определения основных теплотехнических и гидравлических параметров в теплопередающих трубах.

Научная новизна исследования:

разработана конструкция сезонного солнечного водонагревательного коллектора площадью 1 м² с ёмкостной поверхностью в форме усечённого конуса, обеспечивающего получение до 110 литров горячей воды в сутки;

разработан метод многокритериальной геометрической оптимизации усечённо-конического абсорбера, основанный на совместной оценке соотношений его радиусов и высоты, угла установки коллектора, площади освещённой поверхности, объёма воды и тепловой эффективности;

установлена количественная зависимость показателей конвективного теплообмена от направленной естественной циркуляции, формируемой внутренним плоским и наружным спирально-трубчатым дефлекторами в ёмкостном солнечном водонагревателе с усечённо-конической поверхностью;

на основе численных и экспериментальных исследований ёмкостного солнечного водонагревателя усечённо-конической формы установлен эффективный режим работы при скорости потока воды $1-1,5 \times 10^{-2}$ м/с и обоснована возможность получения в течение суток до 270 литров горячей воды температурой 37 °С, до 150 литров температурой 42 °С и до 110 литров температурой 55 °С.

Практические результаты исследования состоят из следующего:

конструкция усечённо-конического ёмкостного солнечного водонагревателя усовершенствована за счёт применения внутренних конических и наружных дефлекторов в виде спирального трубчатого теплообменника;

разработана математическая модель теплообмена, учитывающая протекающие в устройстве процессы естественной конвекции и распространения тепла; получены расчётные уравнения для определения теплообменных процессов;

на основе проведённых расчётов предложен метод определения геометрических, гидравлических и тепло-технических параметров устройства, а также рекомендованы оптимальные режимы его эксплуатации;

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость заключается в численном моделировании процессов естественной конвекции, распределения тепла и конвективного теплообмена в усечённо-коническом ёмкостном солнечном водонагревателе, а также в установлении влияния внутренних конических и наружных дефлекторов в виде спирального трубчатого теплообменника на тепловую эффективность, что вносит вклад в развитие теории и практики теплообмена.

Практическая значимость проявляется в разработке методов определения геометрических, теплотехнических и гидравлических характеристик усечённо-конического ёмкостного солнечного водонагревателя и в предложении конструктивных решений, направленных на повышение энергетической эффективности устройства.

Внедрение результатов исследований. На основе результатов, полученных по теме “Разработка ёмкостных солнечных водонагревателей сезонного использования с усечённой конической поверхностью”:

разработанный “Солнечный коллектор водонагревателя” (FAP 10207) внедрен в Кокандском филиале Ташкентского государственного технического университета в систему теплоснабжения общественного здания (справка Министерства энергетики Республики Узбекистан от 4 сентября 2025 года № 04-25-1563). В результате обеспечена экономия электроэнергии в системе на 25-32 процента.

Ёмкостной солнечный водонагреватель конического типа внедрён в крестьянское хозяйство “Рошидон Даврони” Риштанского района (справка Министерства энергетики Республики Узбекистан от 4 сентября 2025 года № 04-25-1563). В результате совместного использования традиционных и нетрадиционных систем теплоснабжения достигнуто снижение расхода углеводородного топлива на 55-60 процентов.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 5 международных конференциях, 3 республиканских научно-практических семинарах.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 22 научные работы, в том числе: 10 работ в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для опубликования основных результатов диссертаций, 5 работ в

республиканских журналах, 5 работ в иностранных журналах, 1 патент на полезную модель, 3 свидетельства на программные продукты для ЭВМ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Основная часть работы изложена на 120 страницах.

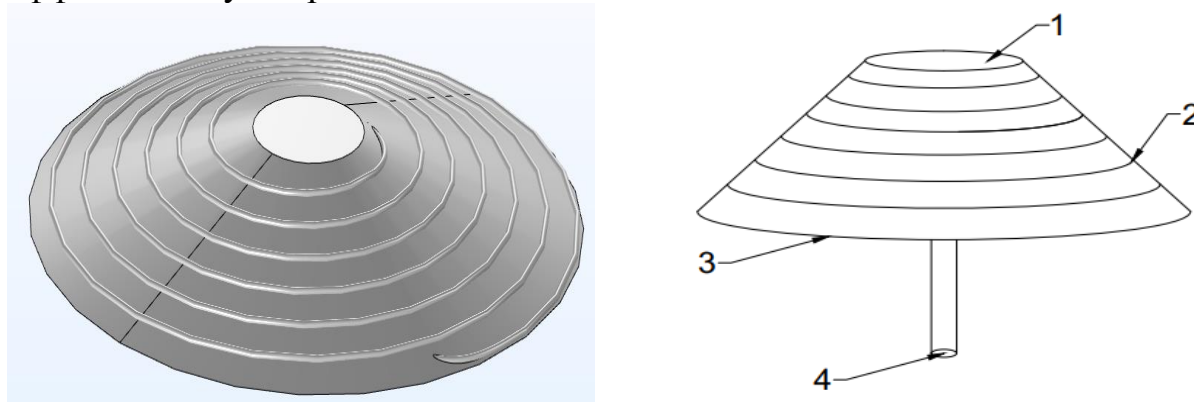
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и необходимость темы диссертации, показана её соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, представлен краткий анализ и степень изученности проблемы, описаны цель и задачи исследования, его объект и предмет, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении и апробации результатов исследования, а также информация об опубликованных работах, объеме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **“Возможности и актуальность использования систем солнечного водонагрева в мире и в Узбекистане”**, проведён анализ существующих конструктивных решений плоских солнечных водонагревательных коллекторов (ПСВК) и объёмных солнечных водонагревателей (ОСВ), а также панелей-поглотителей теплообмена. Изучены их основные тепловые параметры, влияние прохождения и частичного поглощения солнечного излучения (СИ) через прозрачное покрытие (ПП) ПСВК и его преобразования в тепло на коэффициенты тепловых потерь и тепловой эффективности. На этой основе сформулированы задачи исследования.

Во второй главе диссертации, посвященной **“Процессам теплообмена в коллекторах солнечных водонагревателей с усечённым конусом”**, представлены геометрические параметры коллекторов солнечных водонагревателей, вопросы повышения эффективности теплообмена и средние рабочие температуры теплоносителей. При оптимизации геометрических параметров солнечного водонагревателя с коническим абсорбером основное внимание уделялось достижению максимального освещения его поверхностной площади. Для этого необходимо оптимально подобрать геометрические параметры конуса (радиус основания – R , радиус крышки – r , высота – h и угол – α). Влияние каждого параметра на эффективность оценивалось на основе математического моделирования, графического анализа и экспериментальных наблюдений. Подробно проанализирована методика оптимизации основных геометрических размеров усечённого конического солнечного водонагревателя, их влияние на освещенность солнечным излучением, теплообмен и энергетическую эффективность, разработаны эффективные геометрические формы, материалы и схема размещения спиральных трубок в устройстве. В отличие от плоских абсорберов, абсорберы конической формы увеличивают выработку горячей воды за счёт направления потока солнечного излучения к центру и ускорения

конвекционных потоков. Такие формы обеспечивают более равномерное распределение солнечного излучения по поверхности, что приводит к увеличению коэффициента поглощения. Коническая форма и расположенный внутри него конический дефлектор, сужаясь кверху, способствуют эффективному направлению конвективных потоков.



1-рис. Внешний вид (а) и схема определения параметров (б) солнечного водонагревателя с усеченным конусом, внутренними и внешними дефлекторами: 1 – малый радиус, 2 – медная труба, 3 – большой радиус, 4 – выпускной клапан воды

Коллекторы в форме усечённого конуса позволяют направлять солнечное излучение в центр, увеличивать площадь поглощения и улучшать конвективное движение. В устройствах такой формы тепловые потоки поднимаются вверх, что приводит к более быстрому образованию горячей воды

Основные формулы для усечённого конуса были использованы для расчёта основных геометрических параметров водонагревателя.

Длина боковой поверхности (l): $l = \sqrt{(R - r)^2 + h^2}$ (1)

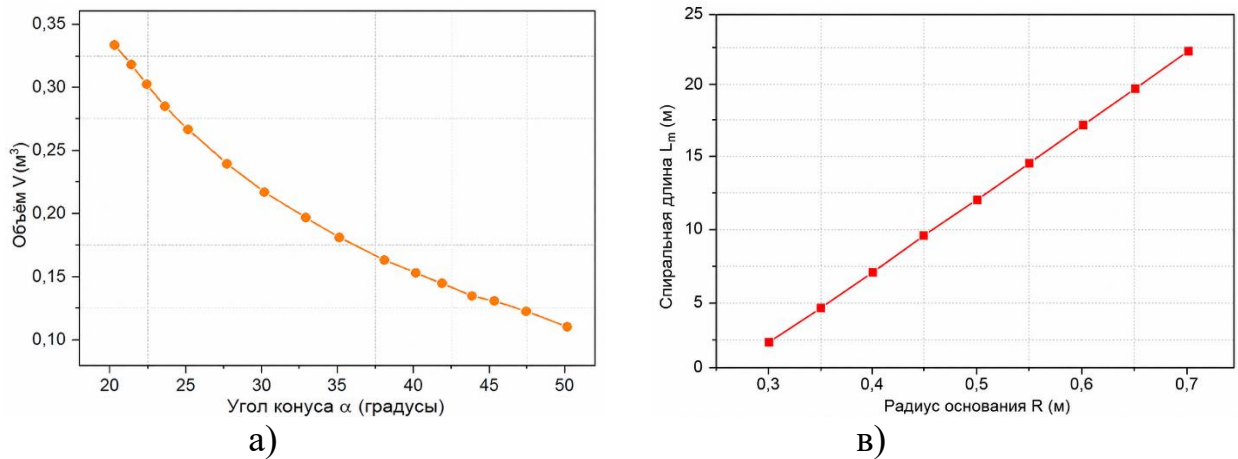
В этой формуле R — нижний радиус усеченного конуса, r — верхний радиус, а h — высота. Основная площадь поверхности (S), поглощающая солнечное излучение, составляет:

$$S = \pi(R + r) \times l \quad (2)$$

Объём водонагревателя (V): $V = \frac{1}{3}\pi h(R^2 + Rr + r^2)$ (3)

Этот объём используется для определения того, сколько воды может вместить солнечный водонагреватель. Здесь, на основе опыта, были выбраны значения R = 500 мм (большой радиус), r = 200 мм (малый радиус) и h = 345 мм (высота).

Таким образом, общая теплопоглощающая способность солнечного водонагревателя в форме усечённого конуса равна S=1 м², V=110 литров, что соответствует оптимальной освещённой площади поверхности, определённой экспериментальным путём. Этого объёма достаточно для формирования одноразового запаса горячей воды. Форма поверхности обеспечивает полное поглощение солнечных лучей.



2-рис. График зависимости объёма V (а) от угла α и длины спиральной трубки L (в) от радиуса R.

Этот график особенно важен при размещении спиральных медных трубок на поверхности конического коллектора.

Благодаря спиральному расположению медных трубок создается дополнительная поверхность для теплообмена. Длина каждой трубки вдоль конуса составляет:

$$L_{\text{труба}} = n \times \sqrt{(2\pi r_n)^2 + p^2} \quad (4)$$

Здесь r_n — радиус каждого витка спирали, p — высота витка, n — число витков спирали. В оптимальном случае число витков максимизирует теплопередачу, не блокируя солнечный свет. Эксперименты показали, что оптимальный результат достигается при диаметре трубы $D = 15$ мм.

При проектировании коллекторов с коническими поглотителями геометрический угол конуса (α) — то есть угол α между его боковой стенкой и вертикальной осью — напрямую определяет освещенность поверхности коллектора и эффективность поглощения тепла.

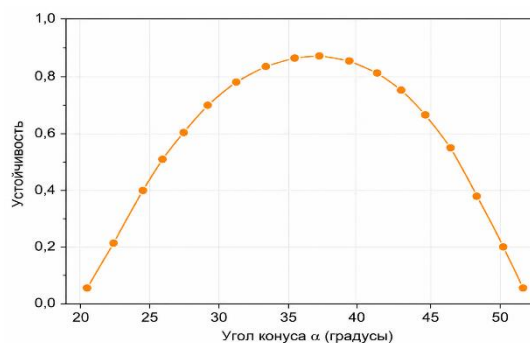
Этот угол определяется по следующей формуле:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{R-r}{h}\right) \quad (5)$$

Для обеспечения максимальной эффективности работы солнечного коллектора геометрический угол конуса (α) должен быть меньше или равен максимальному углу падения солнечных лучей на поверхность земли:

$$\alpha \leq \varphi \quad (6)$$

Здесь: φ — угол падения солнечного света (зависит от географической широты и времени суток, следовательно, $\alpha \approx 35^\circ$ максимальное условие эффективности, поскольку: солнечный свет падает на поверхность под углом, перпендикулярным ей, вероятность затенения уменьшается, и поверхность коллектора максимально освещена.

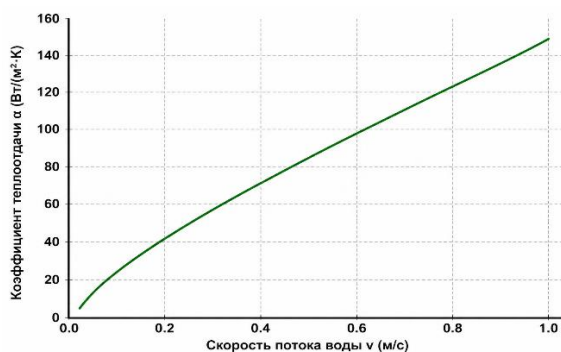


3-рис. График влияния угла α на эффективность η

Проведен анализ конвективного теплообмена в конусных солнечных водонагревателях. Для ускорения процесса конвективного теплообмена в солнечном водонагревателе усечённого конуса были установлены внутренние и внешние дефлекторы, а для расчёта теплопередачи в процессе конвективного теплообмена в водонагревателе использовался закон Ньютона.

$$Q = \alpha F(t_c - t_{dev}) \quad (6)$$

То есть, тепловой поток Q , переходящий от жидкости к стенке или от стенки к жидкости пропорционален площади поверхности F , участвующей в теплообмене, и температуре давления $t_c - t_{dev}$, где t_{dev} - температура среды, омывающей поверхность стенки. Коэффициент пропорциональности, учитывающий специфические условия теплообмена между жидкостью и поверхностью тела, называется коэффициентом теплопередачи. Коэффициент теплопередачи зависит от многих факторов: причин течения жидкости; режима течения жидкости (ламинарного и турбулентного); физических свойств жидкости; формы поверхности теплопередачи. На основе представленных выше теорий значение α изменяется ступенчато даже при одинаковых условиях.



4-рис. Влияние скорости воды на коэффициент подачи тепла

На этом графике α показан как коэффициент теплопередачи. По мере увеличения скорости воды v коэффициент α также увеличивается, что указывает на усиление конвективной теплопередачи.

Эта формула использовалась для определения тепловой эффективности солнечного водонагревателя:

$$\eta = \eta_{tr} \left[\alpha_r \tau - \frac{K_d}{q_{ber}} (t_f - t_o) \right] \quad (7)$$

Это уравнение использовалось для расчёта теплопередачи в конусном коллекторе водонагревателя.

$$\alpha = \frac{Gc_p(t''-t')}{F\Delta t} \cdot \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (8)$$

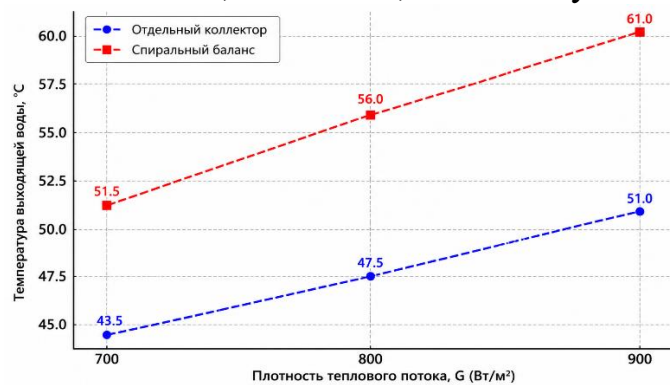
$$\alpha = \frac{Gc_p(t''-t')}{F\Delta t} = \frac{120 \cdot 4.2 \cdot 12}{1 \cdot 24} = 25.2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}; \quad Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} = \frac{25.2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{0.606 \cdot 10^{-2}} = 83.2$$

На основе экспериментальных результатов, полученных в определённых условиях для солнечного водонагревателя усечённого конуса с простым абсорбером, коэффициент теплопередачи составил $\alpha = 25.2$; число Нуссельта — $Nu = 83.2$.

$$\alpha = \frac{Gc_p(t''-t')}{F\Delta t} = \frac{120 \cdot 4.2 \cdot 22}{1 \cdot 29} = 38.2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} = \frac{38.2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{0.606 \cdot 10^{-2}} = 126.1$$

При расчёте теплопередачи для солнечного водонагревателя с внешним медным трубчатым дефлектором и усечённым конусом коэффициент теплопередачи составил $\alpha = 38.2 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, а число Нуссельта — $u = 126.1$.



5-рис. Результаты сравнительных расчетов параметров конусного солнечного водонагревателя с дефлектором и без него.

1- без дефлектора — $T_1 = 55^\circ\text{C}$; 2- с медным спиральным дефлектором — $T_2 = 69^\circ\text{C}$;

В третьей главе диссертации, озаглавленной **«Математическое моделирование процессов теплопередачи и движения жидкости в конусных солнечных водонагревателях»**, основные физические уравнения — уравнения Навье-Стокса и уравнения теплопередачи — были дискретизированы и решены в среде COMSOL Multiphysics на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Математическая форма этих уравнений, численная схема и конфигурации итерационного решения в COMSOL представлены ниже.

Из уравнения теплопередачи в твердых телах при моделировании:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q + Q_{\text{rad}}; \quad (9)$$

Дифференциальное уравнение Навиер-Стокса используется для описания движения жидкостей или газов:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho V_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho V_y}{\partial y} + \frac{\partial \rho V_z}{\partial z} &= 0. \\ \rho \frac{\partial V_x}{\partial \tau} + \rho V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + \rho V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + \rho V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial p}{\partial x} &= \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \rho \frac{\partial V_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \rho \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \rho \frac{\partial V_x}{\partial z} \right); \\ \rho \frac{\partial V_y}{\partial \tau} + \rho V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + \rho V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + \rho V_z \frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial p}{\partial y} &= \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \rho \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \rho \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \rho \frac{\partial V_y}{\partial z} \right); \\ \rho \frac{\partial V_z}{\partial \tau} + \rho V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + \rho V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + \rho V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial p}{\partial z} &= \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \rho \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \rho \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \rho \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) - F_z; \end{aligned} \right. \quad (10)$$

Здесь V_x, V_y, V_z – компоненты скорости потока, ρ – плотность, F_z – масса, ν – молекулярная кинематическая вязкость жидкости, p – давление. Используя это уравнение, определяются скорость и давление потока жидкости.

При расчёте теплоотдачи в жидкости используется следующее уравнение:

$$\left\{ \begin{aligned} \rho C_p \frac{\partial T_2}{\partial \tau} + \rho C_p V_x \frac{\partial T_2}{\partial x} + \rho C_p V_y \frac{\partial T_2}{\partial y} + \rho C_p V_z \frac{\partial T_2}{\partial z} &= \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T_2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T_2}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T_2}{\partial z} \right) + Q + Q_p + Q_{vd}; \end{aligned} \right. \quad (11)$$

Уравнение теплопередачи (в конвективно-диффузионной форме):

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + \vec{U} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_{um}. \quad (12)$$

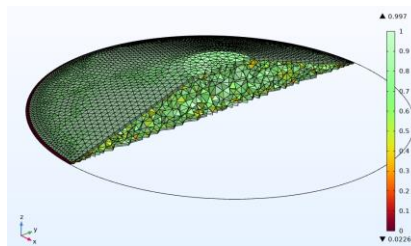
Это уравнение означает изменение температуры, обусловленное теплоёмкостью, потоком и диффузией.

Дискретизированное представление (2D, центральная разность + вычитание по времени):

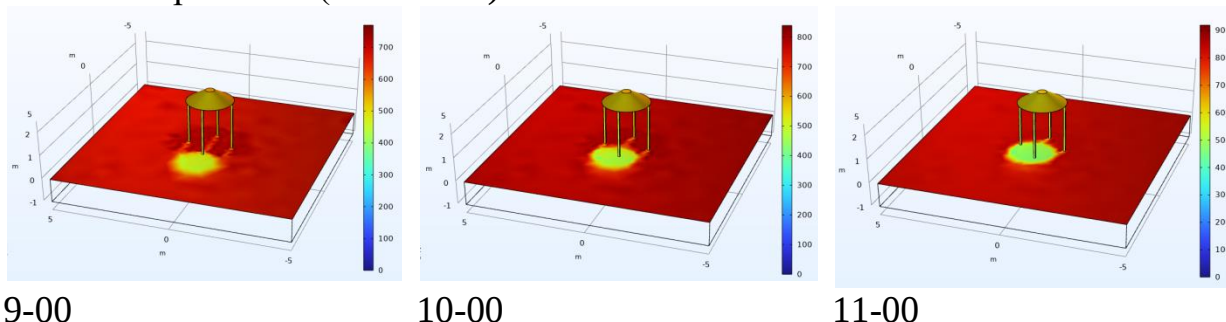
$$\begin{aligned} \rho C_p \left(\frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i,j,k}^n}{\Delta \tau} + V_{x,i,j,k} \cdot \frac{T_{i+1,j,k}^{n+1} - T_{i-1,j,k}^n}{2\Delta x} + V_{y,i,j,k} \cdot \frac{T_{i,j+1,k}^{n+1} - T_{i,j-1,k}^n}{2\Delta y} + V_{z,i,j,k} \cdot \frac{T_{i,j,k+1}^{n+1} - T_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} \right) &= \\ &= k \left(\frac{T_{i+1,j,k}^{n+1} - 2T_{i,j,k}^n + T_{i-1,j,k}^n}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j+1,k}^{n+1} - 2T_{i,j,k}^n + T_{i,j-1,k}^n}{\Delta y^2} + \frac{T_{i,j,k+1}^{n+1} - 2T_{i,j,k}^n + T_{i,j,k-1}^n}{\Delta z^2} \right) + Q_{um}. \end{aligned} \quad (13)$$

Центральные разности в этом уравнении были решены с помощью COMSOL на основе предложенной схемы.

Общий анализ результатов, полученных численными методами математического моделирования процессов теплопередачи. Полученные результаты, включая теплопередачу и теплорассеяние, а также скорости движения воды, были определены в различных условиях при солнечном излучении 250-910 W/m²

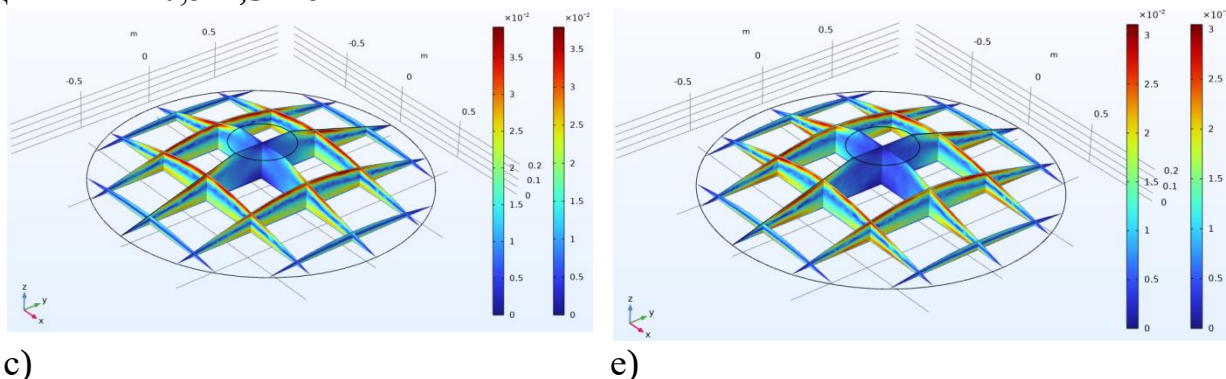


6-рис. Конусообразный солнечный водонагреватель, разделенный на небольшие решетки (32632 шт.)



7-рис. Температурные контуры конусообразного коллектора водонагревателя в разное время суток.

Эффективность солнечных водонагревательных систем зависит от расхода воды, конструкции рабочей камеры и процессов теплообмена. Ниже представлены результаты, полученные в разное время при скорости воды в рабочей камере простого бака солнечного водонагревателя, изменяющейся в диапазоне $0,5-1,5 \cdot 10^{-2}$ м/с.



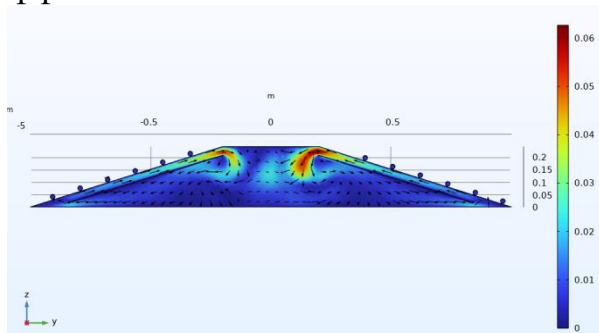
8-рис. Скорость воды в рабочей камере конусообразного солнечного водонагревателя изменяется в диапазоне от $0,5 \cdot 10^{-2}$ до $1,5 \cdot 10^{-2}$ м/с в разные моменты времени.

При скорости воды $0,5 \cdot 10^{-2}$ м/с теплопередача происходит относительно медленно, поскольку коэффициент конвективной теплопередачи низок. При этой скорости теплообмен наблюдается в верхних слоях воды, но в нижних слоях тепло распределяется неравномерно.

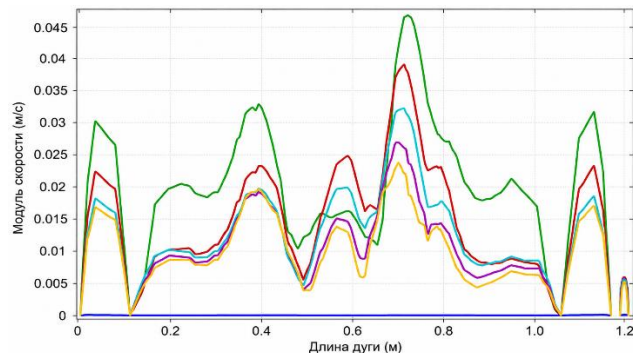
При скорости в диапазоне $1,0-1,5 \cdot 10^{-2}$ м/с коэффициент конвективной теплопередачи значительно возрастает. Внутренняя циркуляция воды равномерно распределяет тепло, и эффективность резервуара повышается.

Система трубопроводов, обеспечивая поток воды, расширяет поверхность теплопередачи и обеспечивает равномерное распределение температуры. Было отмечено, что при более высокой скорости потока воды в системе (в диапазоне $1,0-1,5 \cdot 10^{-2}$ м/с) коэффициент конвективной теплопередачи значительно возрастает. Это улучшает внутреннюю

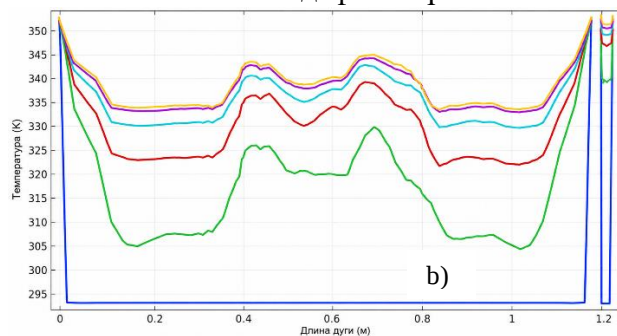
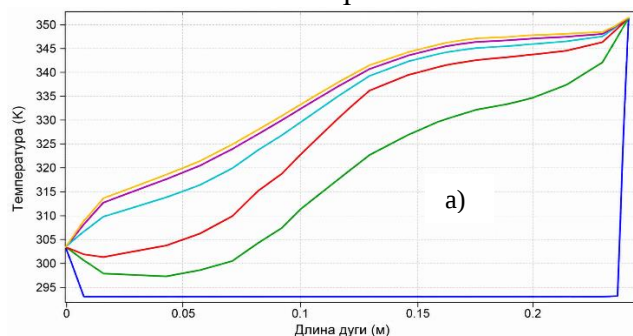
циркуляцию воды и способствует равномерному распределению тепла. На основе полученных результатов улучшение конструкции рабочей камеры и оптимальное расположение дефлекторов помогут повысить общую эффективность системы.



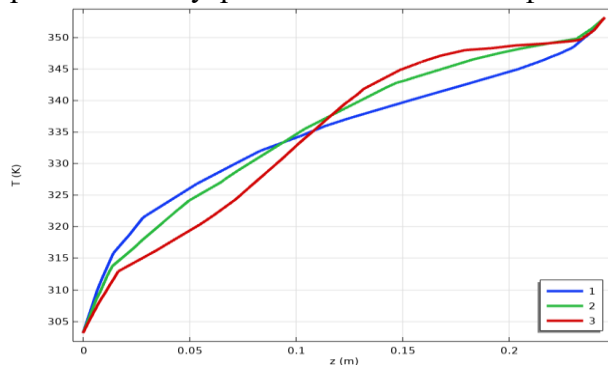
9-рис. Конусообразный солнечный водонагреватель с внутренним и внешним дефлектором векторы скорости в разные моменты времени.



10-рис. Изменения скорости потока воды в разные моменты времени в конусообразном солнечном водонагревателе с внутренним и внешним дефлектором



11-рис. Изменения температуры воды в разное время в конусообразном солнечном водонагревателе с внутренним и внешним дефлектором

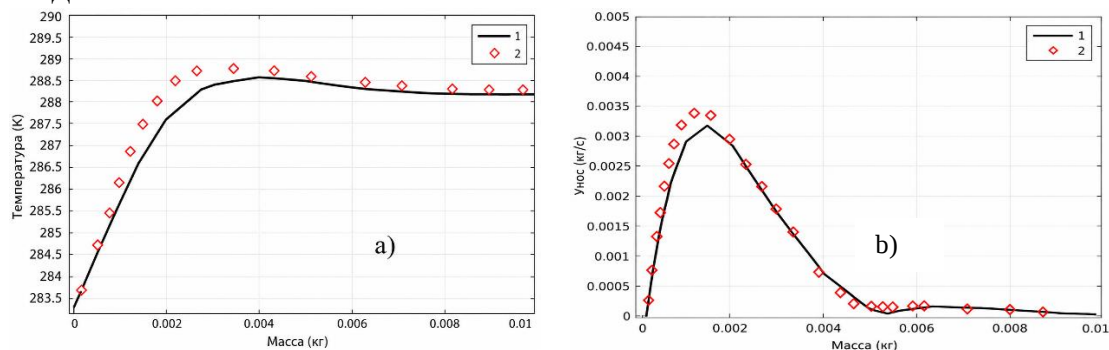


12-рис. Зависимость теплоотдачи от температуры в конусообразных солнечных водонагревателях

1-простой тип солнечного водонагревателя, 2-солнечный водонагреватель с дефлектором, 3-внутренний конусообразный и внешний трубчатый коллектор солнечного водонагревателя с дефлектором.

В исследовании рассматривались солнечные водонагреватели в трёх различных конструктивных решениях: 1) простой конусообразный солнечный водонагреватель, 2) конусообразный солнечный водонагреватель с внутренним дефлектором и 3) солнечный водонагреватель с конусообразной внутренней и внешней дефлекторной трубкой. Среди этих систем наибольшей тепловой эффективностью обладает солнечный водонагреватель с внутренней

и внешней дефлекторной трубкой. По результатам численного моделирования, это устройство демонстрирует на 15–20% более высокую тепловую эффективность и обеспечивает более быстрый и равномерный нагрев воды.

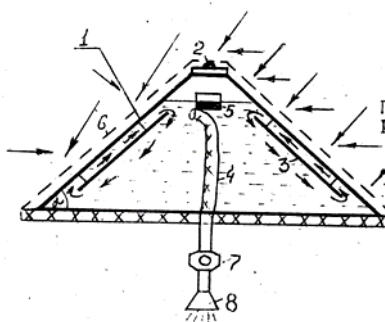


13-рис. Графики, сравнивающие результаты математической и имитационной моделей: выбранные разделы а) Температура б) Скорость 1–разработанная математическая модель, 2– экспериментальные результаты.

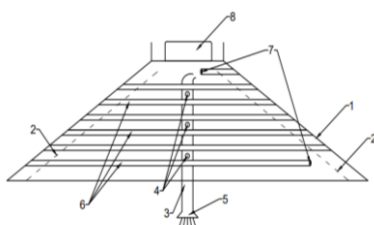
Для обеспечения достоверности результатов, полученных численным решением математической модели, продольный теплообмен в водопроводных трубах солнечного водонагревателя был рассчитан с использованием программного обеспечения COMSOL MULTIPHYSICS 6.1. Результаты были сопоставлены, и была доказана достоверность (адекватность) представленной в диссертации математической модели (рис. 6).

Четвертая глава, озаглавленная **«Исследование тепловой эффективности усеченного конусообразного солнечного водонагревателя на основе экспериментальных исследований»**, описывает порядок проведения полномасштабных испытаний конусообразного солнечного водонагревателя в реальных природных условиях, а также информационно-измерительную систему, позволяющую измерять все параметры процесса испытаний, непрерывно регистрируя результаты в информационной базе данных, включая результаты испытаний, а также технико-экономические и экологические показатели.

Разработанный конусообразный бытовой солнечный коллектор-аккумулятор для водонагревателей отличается простотой, технологической удобностью и низкой стоимостью. Аналогов этой технологии в Республике Узбекистан нет. Массовое применение позволит значительно сэкономить топливо и энергоресурсы.



а)



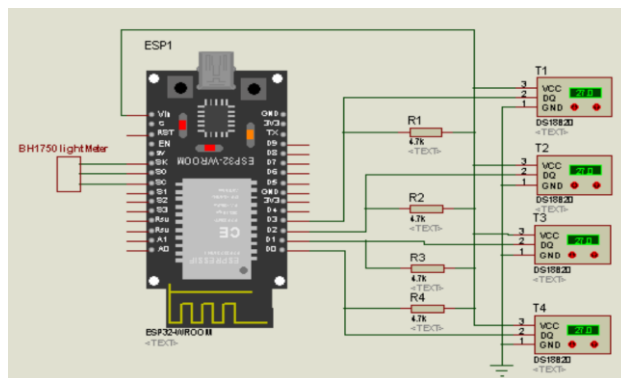
b)

4-рис. Экспериментальный пример конусообразного солнечного бытового водонагревателя: а) с внутренним плоским дефлектором; б) с внутренним плоским и внешним медным трубчатым дефлектором.

Программа испытаний и методика разработанного конусообразного солнечного водонагревателя, а также исследование его эффективности проводились на основе программы и методики испытаний солнечных бытовых водонагревателей, разработанных в Гелиотехнической лаборатории им. Г.М. Кржижановского, а также с использованием экспериментального стенда, построенного в соответствии с действующими ГОСТами: например, ГОСТ 28310-89 «Солнечные коллекторы. Общие технические условия»

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Для измерения параметров поверхности, воды, температуры окружающей среды, количества воды, протекающей через трубчатый дефлектор, и солнечной радиации, падающей на поверхность коллектора во время испытаний, был разработан многоканальный измерительный стенд DataLogger ESP-WROVWER – 32 (рис. 15).



15-рис. Принципиальная схема водонагревателя и системы учета информации.

Системы учёта информации – Data Logger ESP-WROVWER собран на основе микроконтроллера – 32. Здесь на поверхности водонагревателя размещены датчики освещённости и температуры. В данной схеме измерение температуры осуществляется с помощью датчика DS 18B20, а солнечное излучение — с помощью датчика освещённости BH1750 Light Metr.

Все операции измерения выполняются на микроконтроллере ESP-WROVWER-32 с использованием клиентской программы, представленной в приложении, а значения непрерывно записываются в базу данных с заданным интервалом времени. Измеренные значения за этот период представлены в следующей n-таблице.

Таблица 1

Результаты испытания конусообразного солнечного водонагревателя с дефлектором.

№ 1-порции нагретой воды	- порция нагретой воды средней тем-ры (°C)	- порция нагретой воды, объём V_i (л)	Условный объём, доведенный до 37°C $V_{услов}$ (л)	Солнечное облучение и параметры окружающей среды			
				Время (час)	Общее облучение перпендикулярное к поверхности E (W/m ²)	Скорость ветра V (m/s)	Тем-ра окружающей среды t (°C)
1	71	10	28,9	9 ³⁰	750	0,8	30
2	71	10	28,9				
3	69	10	27,8				
4	65	10	25,6	12 ³⁰	1050	1,2	35
5	62	10	23,9				
6	58	10	21,7				
7	54	10	19,6	15 ³⁰	950	2,0	37
8	51	10	18,6				
9	47	10	15,5				
10	44	10	14				
11	41	10	12,3	18 ³⁰	710	2,0	32
$U_{фак} = 110$ л, $U_{усл} = 268$ л.							

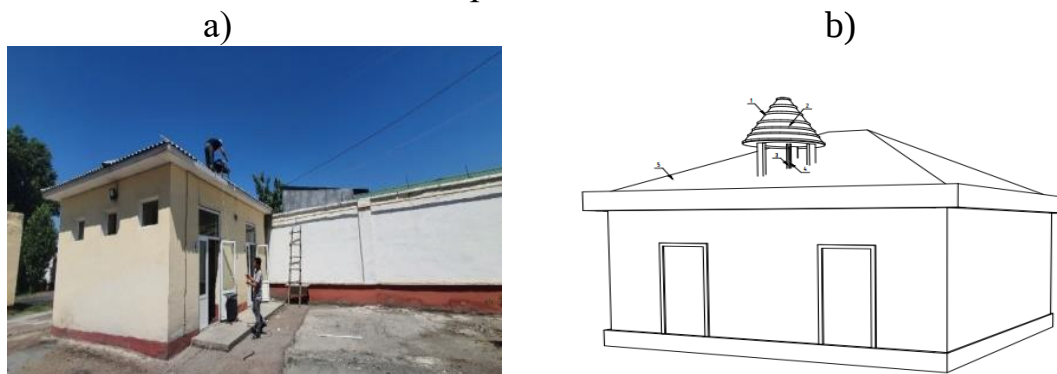
Эту информацию можно просмотреть по ссылке: <http://pribori.uz/Nilufar>

В период с апреля по ноябрь 2023–2025 гг. на гелиополигоне Ферганского государственного технического университета проведены эксплуатационные испытания и исследования энергетической эффективности бытового конусного солнечного водонагревателя. По результатам испытаний определены суточная производительность установки, температура на выходе и коэффициент полезного действия (КПД).

Эксперименты показали, что встроенный в коллектор медный спиральный дефлектор интенсифицирует теплообмен, вызывает турбулентность потока и обеспечивает более равномерное распределение температуры. В результате температура на выходе коллектора в среднем выше на 10–12 °C по сравнению с простыми конструкциями. С увеличением солнечного излучения КПД установки также возрастает; экспериментально подтверждено, что η находится в диапазоне 0,65–0,70.

Технико-экономический анализ выявил, что срок окупаемости в основном зависит от годового числа рабочих часов и требуемой температуры нагрева воды. При замещении природного газа и при $t_{мах} = 3000$ ч срок окупаемости составил 1,12 года при $T = 37$ °C и 1,66 года при $T = 50–60$ °C. При замещении электрической энергии соответствующие значения составили 0,5 и 1,6 года. Экономическое сравнение продемонстрировало высокую конкурентоспособность разработанного местного конусного солнечного водонагревателя по сравнению с импортными аналогами: при цене импортных устройств порядка €350–400 себестоимость разработанного образца составляет примерно 1 млн сум (≈ 80 USD), что делает его в 4–5 раз дешевле.

Пилотный экземпляр водонагревателя установлен в общественном здании Кокандского филиала ТГТУ. В результате температура воды достигала $68\text{ }^{\circ}\text{C}$, а годовая экономия энергии составила до 27 %.



16-рис. Общий (а) и схематический (б) виды солнечного водонагревателя установленного в общественном здании филиала ТДТУ в Коканде с усеченно-конусообразным трубчатым абсорбером.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана конструкция объемного солнечного водонагревателя с абсорбером в форме усечённого конуса и определены его оптимальные геометрические размеры (диаметр основания 1,0 м, высота 0,345 м, объём воды 110 л, рабочая площадь абсорбера $1,0\text{ м}^2$). В результате предложенное решение примерно в 4–5 раз снижает расход металла по сравнению с традиционными водонагревателями: масса устройства при изготовлении из оцинкованного стального листа составляет около 6 кг, а при использовании алюминиевого листа 2–3 кг.

2. Для интенсификации процессов теплообмена были применены дефлекторы. С помощью внутренних и внешних дефлекторов значительно усилены процессы теплообмена внутри коллектора с коническим баком-аккумулятором. В результате максимальная температура воды повысилась примерно на $10\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$, и обеспечено повышение коэффициента полезного действия устройства (тепловая эффективность) с 50 % до 65–70 %.

3. Результаты, полученные в COMSOL Multiphysics, показали оптимальные режимы. Результаты численного моделирования подтвердили эффективность теплообмена внутри конического коллектора с дефлекторами и определили параметры оптимального режима работы. В частности, было теоретически доказано, что при скорости потока воды $1,0\text{--}1,5\text{ м/с}$ коэффициент конвективной теплопередачи α составит $38\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$, число Нуссельта $Nu = 126$, что приведет к дополнительному увеличению эффективности системы примерно на 12–15 %.

4. Экспериментальные испытания, проведенные в естественных условиях, подтвердили высокую эффективность данного устройства: зафиксирована возможность нагрева 110 литров воды до $68\text{--}71\text{ }^{\circ}\text{C}$ за сутки. В

результате установлено, что этот показатель соответствует приблизительно ≈ 270 литрам условного объёма горячей воды, доведенной до $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$, а согласно результатам экспериментов, коэффициент полезного действия устройства составил 65–70 %.

5. Результаты технико-экономической оценки подтвердили низкую стоимость и экономичность устройства: срок окупаемости при использовании вместо газовой энергии составил 1,1–1,6 года, а при использовании вместо электрической энергии – 0,5–1,6 года. В результате установлено, что разработанная местная модель примерно в 4–5 раз дешевле зарубежных аналогов, и обоснована возможность существенного снижения потребления традиционных видов топлива и электроэнергии при использовании данного устройства.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/2025.27.12.T.19.01 ON AWARD
OF THE SCIENTIFIC DEGREES AT FERGANA STATE TECHNICAL
UNIVERSITY**

FERGANA STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ESANALIYEVA NILUFARKHON RAXMONJON KIZI

**DEVELOPMENT OF SOLAR WATER HEATERS WITH A SEASONAL
TRUNCATED-CONE SURFACE**

05.05.06 — Power plants based on renewable energy

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

FERGANA — 2026

Theme of dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences is registered in the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under № B2022.1.PhD/T603 . The dissertation has been prepared at Fergana State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three (Uzbek, Russian, English) languages on the website of the Scientific Council (www.fstu.uz) and on the website of "ZiyoNet" information and educational portal (www.ziyo.net/uz).

Scientific supervisor:

Ergashev Sirojiddin Fayazovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official Opponents:

Lola Kamildjanovna Mamadaliyeva
Candidate of Technical Sciences, Professor

Faxriddin Qosimov Shodmonkhulovich
Candidate of Technical Sciences, Senior Scientist

Leading organization:

Andijan State University

The defense will take place on **"22" august 2026, at 9^{am}** at the meeting of the Scientific Council PhD.03/2025.27.12.T.19.01 at the Fergana State Technical University. (Address: 150107, Fergana city, Fergana street, house 86. Tel.: (+99873) 241-12-06, fax: (+99873) 241-12-06, e-mail: ilmiy-kengashi@fstu.uz, small meeting hall).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Center of Fergana State Technical University (registered under No. **340** Address: 150107, Fergana city, Fergana street, house 86. Tel: (+99873) 241-12-06,

The abstract of the dissertation was distributed on "___" _____ 2026.
(distribution protocol No. 3 dated "___" _____ 2026)



U.R.Salomov
Chairman of the Scientific Council Award of Academic Degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

A.A.Quchqorov
Scientific Secretary of the Scientific Council
Award of Academic Degrees, (PhD), Associate Professor

N.R.Avezova
Chairperson of the Scientific Seminar under the
Scientific Council Award of Academic Degrees,
Doctor of Technical Sciences, Senior Scientist

INTRODUCTION (Abstract of the PhD dissertation)

The aim of the research is to develop capacitive and spiral-tube solar water heaters with a truncated conical surface and to investigate their main energy performance indicators.

The objectives of the research are:

to analyze the current state and development trends in the use of solar water heating systems, as well as to identify their advantages and limitations;

to study the heat transfer processes in truncated-cone solar water heater collectors;

to carry out numerical modeling of heat transfer processes in truncated-cone solar water heater collectors using the COMSOL environment;

to investigate the thermal efficiency of truncated-cone solar water heaters based on experimental studies.

The object of the research is a seasonal capacitive solar water heater collector with a truncated conical surface and its thermal-technical parameters.

The subject of the research is the set of physical and technical processes determining the heat transfer phenomena occurring in capacitive solar water heaters with a seasonal truncated conical surface, including their structural and geometrical characteristics, natural convection-based water circulation, the heat transfer capability of the collector absorber, and the overall energy efficiency of the device.

Research methods. During the research, equations of heat transfer and heat exchange, boundary layer theory, as well as analytical and computational methods for determining the main thermal-technical and hydraulic parameters in heat transfer tubes were used.

The scientific novelty of the research is as follows:

a solar water heating collector intended for seasonal operation, having a truncated conical capacitive surface with an area of 1 m² and capable of producing up to 110 liters of hot water per day, was developed;

as a result of optimizing the geometric parameters of a solar water heater with a truncated conical absorber, it was determined that the thermal efficiency of the device increases up to 70% at absorber inclination angle $\alpha=35^\circ$, cone height $h = 0.3$ m, outer radius $R = 0.5$ m, and inner radius $r = 0.2$ m;

it was established that the application of internal and external deflectors in solar water heaters with a truncated conical capacitive surface intensifies natural convection processes throughout the water volume, stabilizes temperature stratification, and reduces heat losses, thereby increasing the thermal efficiency of the device to 0.65–0.70;

based on numerical and experimental studies conducted on a truncated conical capacitive solar water heater, an effective operating regime with water flow velocities of $1\text{--}1.5 \times 10^{-2}$ m/s was determined, substantiating the possibility of obtaining up to 270 liters of hot water at 37 °C, 150 liters at 42 °C, and 110 liters at 55 °C during the daytime.

The scientific and practical significance of the research results. The scientific significance of the research results is explained by their contribution to the

development of the theory and practice of heat transfer through the numerical modeling of natural convection, heat distribution, and convective heat exchange processes occurring in a truncated conical capacitive solar water heater, as well as by determining the influence of deflector-based and spiral-tube configurations on thermal efficiency.

The practical significance of the research results is explained by the development of methods for determining the geometric, thermal-technical, and hydraulic characteristics of the truncated conical capacitive solar water heater, as well as by the proposed design solutions aimed at improving the energy efficiency of the device.

Implementation of the research results.

Based on the results obtained within the framework of the study entitled “Development of Seasonal Solar Water Heaters with a Truncated Conical Surface”:

the developed “Solar Water Heater Collector” (FAP 10207) was implemented into the heat supply system of a public building at the Kokand branch of Tashkent State Technical University (according to Reference No. 04-25-1563 of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated September 4, 2025). As a result, it enabled a reduction in electricity consumption in the system by up to 25–32%;

a conical-type capacitive solar water heater was implemented at the “Roshidon Davroni” farming enterprise in Rishton district (according to Reference No. 04-25-1563 of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated September 4, 2025). As a result, the combined use of conventional and renewable heat supply systems made it possible to reduce hydrocarbon fuel consumption by up to 55–60%.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, and a list of references. The total length of the dissertation is 120 pages.

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

I bo'lim (I часть, I part)

1.N.R. Esanaliyeva, S.F. Ergashev, V.I. Ibrohimov. Yer sharoitida quyosh energetik qurilmalaridan foydalanish usullari va ularning energetik xarakteristikallari // NamDU ilmiy axborotnomasi- 2022 yil, №4, 6-11 betlar (05.00.00 № 33). <https://journal.namdu.uz/journals?year=2022>

2.N.R. Esanaliyeva, S.F. Ergashev, B.A Abdulkarimov. Konussimon quyosh suv kollektorlarining gidrodinamik nazariy tahlili // FarPI Ilmiy texnika jurnali- 2024 yil, №7, 75-79 betlar (05.00.00 № 20). <https://fstu.uz/event/79>

3.N.R. Esanaliyeva, S.F. Ergashev. Mahalliy hom ashyolardan yaratilgan suvning haroratini oshiruvchi quyosh suv isitgichlarining tahlili" // FarPI Ilmiy texnika jurnali-2022 yil, №2 178-181 betlar (05.00.00 № 20). <https://fstu.uz/event/79>

4.N.R.Esanaliyeva, S.F. Ergashev, B.A Abdulkarimov, B.B. Abdurahimov B.B. Kesikkonussimon quyosh suv isitgichida o'tkazilgan eksperiment tadqiqot natijalarini tahlil qilish // NamMQU Qurilish va ta'lim ilmiy jurnali- 2025 yil, № 158-165 betlar (O'zR Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2023-yil 30-oktabrdagi №345/3 qarori bilan jurnal OAK ning ilmiy nashlari ro'yxatiga kiritilgan). <https://cyberleninka.ru/article/n/kesikkonussimon-quyosh-suv-isitgichida-o-tkazilgan-eksperiment-tadqiqot-natijalarini-tahlil-qilish/viewer>

5.N.R.Esanaliyeva, I.O.Toshpo'latov "Анализ результатов экспериментального исследования на конусном солнечном водонагревателе" // NamDQU. Qurilish va ta'lim ilmiy jurnali-, 2025, №-3. С.33-39 (O'zR Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2023-yil 30-oktabrdagi №345/3 qarori bilan jurnal OAK ning ilmiy nashlari ro'yxatiga kiritilgan). <https://cyberleninka.ru/article/n/konussimon-quyosh-suv-isitgichdagi-eksperimental-tadqiqotlar-natijalarining-tahlili/viewer>

6.Эсаналиева Н, Эргашев С,Сатторов А. Сезонный солнечный водонагреватель с усеченной конической поверхностью // "Universum: Выпуск:3 (144) Март 2026 Часть 3 Москва 2026 технические науки" С. 61-68. (02.00.00 №1). DOI: [10.32743/UniTech.2024.144.3.22092](https://doi.org/10.32743/UniTech.2024.144.3.22092).

7.N.R. Esanaliyeva "Mathematical modeling of thermal processes in truncated conical solar water heaters" // Innovative: International Multi-disciplinary Journal of Applied Technology -2026, 97-119 p. (O'zR Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 6-martdagi 368/4-sonli qarori bilan jurnal OAK ning ilmiy nashlari ro'yxatiga kiritilgan. DOI: <https://doi.org/10.51699/ndhsm079>

8.N.R. Esanaliyeva. Hot water storage heat protector // Eurasian journal of academic research Innovative Academy Research Support Center -2021, Vol. 1, No. 1, pp. 36 -42. (OAK dissertatsiyalar ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yhati 3-bet 14-baza). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4693169>

9.N.R.Esanaliyeva, S.F.Ergashev, N.Umaraliyev. Production and implementation of solarpowered water heaters for consumers // The American Journal of Engineering and Technology -2025, Vol.7, №.01, 54-58 p. (OAK dissertatsiyalar ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yhati 3-bet 12,14,16,40-baza). <https://doi.org/10.37547/tajet/Volume07Issue01-08>.

II bo'lim (II часть, II part)

10.N.R.Esanaliyeva. Kesik konussimon quvurli quyosh suv isitgich kollektorining issiqlik uzatilishi va samaradorligini eksperimental tahlili // Research focus. 2025. Vol. 4. №11. <https://zenodo.org/records/17767470>

11.N.R. Esanaliyeva. Quyosh energiyasidan foydalanishning afzalliklari // Ilm-fan va ta'limning rivojlanish istiqbollari 7-xalqaro konferensiya. Qo'qon. 26-oktyabr 2020 y. 50-52 b. <https://openscience.uz/index.php/sciedu>

12.S.F Ergashev, N.R. Esanaliyeva. Quyosh energiyasida ishlovchi suv isitgichlarni ishlab chiqarish va iste'molchilarga joriy etish // AndMI XXI asr ilmfani va ta'lim sohasida ayollar:yutuqlar va muammolar ilmiy-amaliy konferensiya. Andijon. 2022-y. 233-235 b. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=3NBkfyYAAAAJ&citation_for_view=3NBkfyYAAAAJ:YsMSGLebcyi4C

13.S.F Ergashev, N.R. Esanaliyeva. Oddiy va arzon, mahalliy tunikasozlik ustaxonalarda tayyorlash mumkin bo'lgan quyosh suv isitgichi // Oliy ta'lim muassasalarida raqobatbardosh kadrlar tayyorlashning zamonaviy integratsiyasini ta'minlash :muammolar va yechimlar Respublika ilmiy-texnikaviy anjuman. Islom Karimov nomidagi TDTU QF. Qo'qon. 2022-y.181-185 b. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=3NBkfyYAAAAJ&citation_for_view=3NBkfyYAAAAJ:eQOLeE2rZwMC

14.N.R.Esanaliyeva, I.R.Azamov. Konussimon bak-sig'imli quyosh suv isitgichini joriy etish bo'yicha amaliy ko'rsatmalar // O'zbekistonda yangi iqtisodiy islohotlar sharoitida muhandislik sohalarini rivojlantirishning istiqbollari va muammolari respublika ilmiy-amaliy anjumani . Qo'qon. 2025-y 44-45. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=3NBkfyYAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=3NBkfyYAAAAJ:ufrVoPGSRksC

15.Эргашев С.Ф., Умаралиев Н., Юсупов Ё. А., Эсоналиева Н.Р. Цифровые системы для мониторинга параметров солнечных теплоэлектрических установок // Raqamli innovatsiyalar bo'yicha xalqaro konferensiya: zamonaviy fizikaning dolzarb muommolari va yechimlari. FDTU 2025y 17–18-oktyabr. 175-178 bet. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=3NBkfyYAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=3NBkfyYAAAAJ:FxGoFyzp5QC

16. Н.Р.Эсаналиева, С.Ф.Эргашев. Влияние отбора тепло от солнечных водонагревательных коллкеторов на экологические показатели // Qayta tiklanuvchi energiya va raqamli texnologiyalar asrida milliy energiya mustaqilligi: Farg'ona viloyatidagi innovatsiyalar, istiqbollar va ijtimoiy ta'siri

xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. FDTU. 2025. 403-410 b.
https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=3NBkfyYAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=3NBkfyYAAAAJ:LkGwnXOMwfcC

17.N.R.Esanaliyeva, S.F.Ergashev. “Анализ создание конструктивно простых дешевых солнечныхводонагревательных установок для фермерских и индивидуальных хозяйств” // Zamonaviy energetikaning dolzarb muammolari va rivojlantirish istiqbollari xalqaro ilmiy-texnikaviy anjuman. Qo‘qon. 2024. 250-252 b.

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=3NBkfyYAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=3NBkfyYAAAAJ:roLk4NBRz8UC

18.N.R. Esanaliyeva. “Jahonda va O‘zbekistonda quyosh suv isitish tizimlaridan foydalanish imkoniyatlari va dolzarbligi”// Innovatsion energiya tizimlarini yaratishning zamonaviy yechimlari xalqaro miqyosidagi ilmiy-amaliy konferensiya. Qo‘qon 2026. 150-154 b.

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=3NBkfyYAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=3NBkfyYAAAAJ:Se3iqnhoufwC

19.Умаралиев К.Н., Эргашев С.Ф., Эсаналиева Н.Р.,Умаралиев Н., Холмурзаев А.А., Кучкаров А.А., Абдукаримов Б.А. Солнечный бытовой водонагреватель. Патент на полезную модель Агенства интеллектуальной собственности РКз. Казакхстан. № FAP 10207 от 21.11.2025.
<https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=411887>

20.Esanaliyeva N.R, Abdukarimov B.A. Konussimon quyosh suv isitgichlarida issiqlik almashinuv jarayonlarini hisoblash. № DGU 47533 01.02.2025.
<https://im.adliya.uz/document/check/bc3765e6-1b0b-4329-9aed-b0f2c7f937bd>

21.Esanaliyeva N.R, Umaraliyev N. Quyosh suv isitish qurilmasining monitoring uchun “Client” dasturi. № DGU 41946. 08.08.2024.
<https://im.adliya.uz/document/check/81355502-1b07-45bc-8450-449dbecce400>

22.Esanaliyeva N.R, Ergashev S.F. Quyosh suv isitgichlarining asosiy turlari. № DGU 37897. 07.05.2024. <https://im.adliya.uz/document/check/7d7280da-8abc-4f53-9e2b-95188363fea1>

