

**ЎЗР ФА «ФИЗИКА-ҚУЁШ» ИИЧБ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/27.02.2020.FM/T.110.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

АХАТОВ ЖАСУРЖОН САИДОВИЧ

**ИЧИМЛИК СУВИ ТАЪМИНОТИ ТИЗИМЛАРИДА ШЎРЛАНГАН
СУВЛАРНИ ҚУЁШ ЭНЕРГИЯЛИ ИССИҚЛИК ВА ФОТОЭЛЕКТРИК
ЎЗГАРТИРГИЧЛАР ЁРДАМИДА ЧУЧУКЛАШТИРИШ**

**05.05.06 – Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги
энергия қурилмалари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Contents of the Doctoral (DSc) Dissertation Abstract

Ахатов Жасуржон Саидович

Ичимлик суви таъминоти тизимларида шўрланган сувларни куёш энергияли иссиқлик ва фотоэлектрик ўзгартиргичлар ёрдамида чучуклаштириш..... 3

Ахатов Жасуржон Саидович

Опреснение соленых вод в системах питьевого водоснабжения с помощью тепловых и фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии 31

Akhatov Jasurjon Saidovich

Desalination of saline water in drinking water supply systems using thermal and photovoltaic converters of solar energy 59

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 64

**ЎзР ФА «ФИЗИКА-ҚУЁШ» ИИЧБ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/27.02.2020.FM/T.110.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

АХАТОВ ЖАСУРЖОН САИДОВИЧ

**ИЧИМЛИК СУВИ ТАЪМИНОТИ ТИЗИМЛАРИДА ШЎРЛАНГАН
СУВЛАРНИ ҚУЁШ ЭНЕРГИЯЛИ ИССИҚЛИК ВА ФОТОЭЛЕКТРИК
ЎЗГАРТИРГИЧЛАР ЁРДАМИДА ЧУЧУКЛАШТИРИШ**

**05.05.06 – Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги
энергия қурилмалари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2017.1.DSc/T44 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Физика-техника институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (<http://fti-kengash.uz/>) ҳамда «Ziyonet» Ахборот-таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаширилган.

Илмий маслаҳатчи:	Лутпуллаев Сагдулла Лутфуллаевич физика-математика фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Искандаров Зафар Самандарович техника фанлари доктори, профессор Кенжаев Идирисбек Гуламович техника фанлари доктори, профессор Рахимов Рустам Хакимович техника фанлари доктори, катта илмий ходим
Етакчи ташкилот:	Карши муҳандислик-иктисодиёт институти

Диссертация ҳимояси «Физика-Куёш» ИИЧБ ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.02/27.02.2020.FM/T.110.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «___» _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100084, Тошкент ш., Чингиз Айтматов кўчаси, 26-уй. Тел./факс: (99871) 235-42-91, e-mail: info.fti@uzsci.net, Физика-техника институти мажлислар зали.)

Диссертация билан Физика-техника институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100084, Тошкент ш., Чингиз Айтматов кўчаси, 26-уй. Тел./факс: (99871) 235-30-41.

Диссертация автореферати 2021 йил «___» _____ куни тарқатилди.

(2021 йил «___» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси).

Р.А. Заҳидов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси в.в.б., т.ф.д., профессор, академик

Н.Ш. Саидхонов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби в.в.б., ф.-м.ф.д., катта илмий ходим

М.Н. Турсунов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси в.б., т.ф.д., катта илмий ходим

КИРИШ (докторлик (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг зарурати ва долзарблиги. Дунё миқёсида ҳозирги вақтда глобал муаммолардан бири аҳолини сифатли ичимлик суви билан таъминлаш ҳисобланади. Бирлашган миллатлар ташкилотининг маълумотига асосан¹, 1млрд. дан ортиқ аҳоли қурғоқчил ҳудудларда яшайди, сайёра аҳолисининг 1/3 қисми ёки 50дан ортиқ давлатда сув танқислиги мавжуд. Бу масалани ҳал этишнинг бошқа усуллари билан бир қаторда, шўр сувларни чучуклаштириш муҳим вазифа бўлиб, уни амалга оширишда турли технологияларнинг энергия сарфини ҳисобга олиш зарур. Қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиб марказлашган энергия ҳамда ичимлик суви таъминоти тизимларидан узоқда жойлашган аҳоли учун автоном ичимлик суви таъминоти тизимларини ишлаб чиқиш ва яратишга қаратилган илмий изланишлар муҳим аҳамиятга эга. Жумладан қуёш энергиясидан фойдаланиш углеводород ёқилғи-энергетик ресурсларини тежаш ҳамда ҳудудлар аҳолиси ижтимоий аҳолини яхшилашга олиб келади. Бу йўналишда турли усуллардан фойдалиб, шўр сувларни чучуклаштириш учун қуёш иссиқлик ва фотоэлектрик ўзгартгичлардан кенг фойдаланиш бўйича жадал тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Жаҳонда мазкур йўналишда турли технологияларни инобатга олган ҳолда, чучуклаштириш жараёнларининг самарадорлигини оширишга катта эътибор берилади. Бундай технологиялар орасида тесқари осмос усули умумий ўрнатилган кувватдан 60% улуш билан етакчи ўринни эгаллаган бўлса, кўп босқичли дистиллаш усули 26,5% улуш билан иккинчи ўринда туради². Сув чучитиш қурилмалари умумий куввати 2017 йилда кунига 79 миллион м³ дан 2019 йилга келиб кунига 97,4 миллион м³ га етди³. Бу йўналишда қайта тикланувчи энергия манбалари ҳисобига ишловчи чучитиш қурилмаларини ишлаб чиқиш, уларнинг самарадорлигини ошириш, техник-иқтисодий кўрсаткичларини мақбуллаштиришга қаратилган илмий тадқиқотлар долзарб вазифа ҳисобланади.

Ўзбекистонда қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш соҳасида инновацион технологияларни ривожлантиришга, жумладан қуёш сув чучутгичларини ишлаб чиқиш, улардаги иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини моделлаштиришнинг илмий ва муҳандислик асосларини ишлаб чиқиш, конструктив ва иссиқлик техникавий кўрсаткичларини оптималлаштириш, шунингдек улардан ичимлик суви таъминотида фойдаланиш самарадорлигини оширишга катта эътибор қаратилмоқда. Мазкур йўналишда, хусусан, замонавий материаллардан фойдаланган ҳолда қуёш сув чучутиш қурилмаларининг янги авлодларини ишлаб чиқиш ва яратиш, шунингдек автоном ичимлик суви таъминоти тизимларининг иссиқлик самарадорлиги ва ишлаб-чиқариш кувватини ошириш мақсадида қуёш иссиқлик ва фотоэлектрик ўзгартгичлардан фойдаланиш борасида муҳим

¹ World Water Resources and their Use, UNESCO. URL: <http://www.unesco.org>

² International Desalination Association (IDA) Year Book -2016-2017. URL: [//www.idadesal.org](http://www.idadesal.org)

³ International Desalination Association (IDA) Year Book -2018-2019. URL: [//www.idadesal.org](http://www.idadesal.org)

натижаларга эришилди. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар Стратегиясида, жумладан «...ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий қилиш, қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш...» вазифалари белгиланган⁴. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан қуёш сув чучутиш қурилмалари самарадорлигини ошириш ҳамда уларнинг иссиқлик техникавий кўрсаткичларини мақбуллаштириш муҳим вазифалар ҳисобланади.

Ушбу диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 20 апрелдаги ПҚ-2910-сон «2017-2021 йилларда ичимлик суви таъминоти ва канализация тизимларини комплекс ривожлантириш ва модернизация қилиш дастури тўғрисида»ги, 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчан энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳа энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорларида ҳамда ушбу соҳада қабул қилинган бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Қайта тикланувчи энергия манбаларини ишлатиш усулларини ривожлантириш, бошқа илғор технологиялар ва фотоника, нанотехнологиялар асосидаги қурилмалар ва технологияларни яратиш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи⁵.

Иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини моделлаштириш ҳамда қуёш сув чучутгич қурилмалари иссиқлик техникавий кўрсаткичларини оптималлаштириш бўйича илмий тадқиқотлар дунёнинг кўплаб илмий тадқиқот марказларида, жумладан Аризона университетида, Висконсин университетида, Жанубий Флорида университетида (АҚШ), М.В. Келдиш номидаги тадқиқот марказида, Кубан давлат университетида (Россия), Фраунгофер институтида, Ахен университетида, Карлсруэ амалий фанлар университетида (Германия), Мадрид автоном университетида, Plataforma solar de Almeria at CIEMAT илмий марказида (Испания), Эдинбург университетида, Манчестер университетида (Буюк Британия), Технион - Исроил технологик университетида (Исроил), Яқин шарқ техника университетида (Туркия), Хитой фанлар академияси

⁴ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

⁵ Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи: Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. санг. – Долгорудный: Издательский дом «Интеллект», 2013. –С. 888; A review of the water desalination systems integrated with renewable energy”, Energy Procedia, Vol. 110, pp. 268-274, 2017; Present status of Solar Distillation. Solar Energy 75 (2003) 367-373; Multi-objective optimization of solar Rankine cycles coupled with reverse osmosis desalination considering economic and life cycle environmental concerns. Desalination 2012, 286, 358–371; Renewable energy-driven desalination technologies: A comprehensive review on challenges and potential applications of integrated systems”, Desalination, Vol. 356, pp. 94–114, 2015; <https://idadesal.org>; <https://irena.org>; <http://www.ren21.net>; <http://www.edsoc.com>; <http://www.iwmi.cgiar.org> ва бошқа манбалар асосида бажарилган.

Электротехника институтида (Хитой), Токио технология институтида (Япония), Миллий куёш энергияси марказида (Хиндистон), «ГУН» ИИЧБсида (Туркменистон) ва Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси «Физика-Қуёш» ИИЧБсида (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Дунёда куёш сув чучутиш қурилмаларини ишлаб чиқиш ва яратиш бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида бир қатор илмий натижаларга эришилган, жумладан пирамида шаклидаги шаффоф қопламали куёш сув чучутгичлар ишлаб чиқилган ва яратилган (Жанубий водий университети, Миср), буғланиш қурилмалари билан бирлаштирилган куёш чучутгичлари ишлаб чиқилган (Аризона университети, АҚШ; Ганновер университети, Германия), DASC – «Direct absorption solar collector» тамойили асосида наносуюқликлардан фойдаланиб ишловчи куёш коллектори ишлаб чиқилган бўлиб, натижалар фойдали иш коэффициентининг сезиларли ошганини кўрсатади (Янги жанубий Уэльс университети, Австралия), Рэнкин циклида ишловчи тескари осмос жараёнига асосланган куёш чучутгичлари ишлаб чиқилган (Кипр олий техник университети, Кипр; Ла Лагуна университети, Испания; Қайта такланадиган энергия манбалари маркази (CRES), Греция; Карлсруэ технология институти, Германия), шамол ва куёш энергиясидан биргаликда фойдаланиб ишловчи тескари осмос жараёнига асосланган тизим ишлаб чиқилган (Афина қишлоқ хўжалиги университети, Греция).

Ҳозирги кунда дунёда қайта тикланувчи энергия манбалари ресурларини, худуднинг жойлашуви ва топографиясини ҳисобга олган ҳолда, куёш иссиқлик ва фотоэлектрик ўзгартгичлардан фойдаланиб ишловчи куёш сув чучутиш қурилмаларини ишлаб чиқиш ва яратиш борасида илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Бугунги кунга қадар куёш энергиясини иссиқликка айлантириш ва ундан сувни чучуклаштириш учун фойдаланиш масалалари Хиндистон технология институтининг энергетик тадқиқотлар марказида (Хиндистон) ўрганилган бўлиб, куёш сув чучутгичлари иссиқлик самарадорлиги ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилган; Яқин шарқ чучуклаштириш тадқиқот марказида (Уммон) бир босқичли, икки қаватли шаффоф тўсиқ қатламлари орасидан шўр сув оқимида эга, куёш сув чучутиш қурилмаси иш режими математик модели ишлаб чиқилган; Мердок университетида (Австралия), сув чучутиш қурилмаси самарадорлиги ҳамда тан нархига таъсир қилувчи коллекторнинг параметрларини ҳисобга олган ҳолда қурилма оптимал кўрсаткичларини аниқлаш амалга оширилган.

Куёш сув чучутиш қурилмаларининг турли конструкцияларини ишлаб чиқиш, уларнинг иссиқлик техникавий, экологик ва иқтисодий кўрстагичларини ҳисобий ва тажрибавий тадқиқ этиш борасида олимлар томонидан муҳим натижаларга эришилган бўлиб, улар орасида В.Б. Вейнберг, В.В. Вейнберг, К.Т. Трофимов, В.А. Баум, Г.Я. Умаров, П.М. Брдлик, Р.Б. Байрамов, А.Н. Текучев, Р.Р. Аvezов, Б.М. Ачиллов, А.Б. Вардияшвили, Т.Д. Жураев, Ш.И. Клычев ва А. Исманжановларнинг ишларини алоҳида таъкидлаш мақсадга мувофиқдир.

Мазкур соҳада, қуёш сув чучутгичларининг турли конструкцияларини яратиш бўйича кўплаб илмий тадқиқотлар бўлишига қарамасдан, қурилмалар ишлаб-чиқариш қувватини оширишга олиб келувчи, кўп босқичли тизимлар ёрдамида иссиқликдан регенератив фойдаланиш масаласига етарлича эътибор қаратилмаган. Ушбу тадқиқотларда қуёш сув чучутгич қурилмаларида наносуюқликлардан фойдаланиш ҳисобига улардаги иссиқлик узатиш жараёнларини жадаллаштириш масаласи амалда қаралмаган. Шунингдек қуёш сув чучутгичлари самарадорлигини ошириш мақсадида қуёш иссиқлик ва фотоэлектрик ўзгартгичлардан биргаликда фойдаланиш етарлича ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти ЎзР ФА Физика-техника институти илмий тадқиқот ишлари режасининг А13-Ф-096 «Тескари осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиш қурилмасининг намунавий нусхасини ишлаб чиқиш ва яратиш» (2009-2011), М/Узб-КНР-19/2015 «Наносуюқликли иссиқлик ташувчиларнинг иссиқлик физикавий хусусиятларини ва уларнинг паст потенциалли қуёш қурилмалари иссиқлик техникавий кўрсаткичларига таъсирини тадқиқ этиш» (2016-2017) ҳамда ФА-Атех-2018-422 «Қуёш қурилмаларида иссиқлик ташувчи сифатида ишлатиш учун наносуюқликли иссиқлик ташувчиларни олиш ва самарали фойдаланиш технологиясини ишлаб чиқиш» (2018-2020) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади қуёш сув чучутиш қурилмаларида юз берувчи иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини моделлаштириш, уларнинг самарадорлигини ошириш усулларини ишлаб чиқиш, иссиқлик техникавий, техник-иқтисодий кўрсаткичлари ҳамда мақбул иш режимларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмалари қисмларида юз берувчи иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини моделлаштириш, эксергетик таҳлил асосида уларнинг иссиқлик техникавий кўрсаткичларини аниқлаш;

кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмалари тажриба нусхасини ишлаб чиқиш ва яратиш ҳамда уларнинг ишлаб-чиқариш қуввати ва иссиқлик самарадорлигини аниқлаш бўйича тажрибавий тадқиқотларни амалга ошириш;

қуёш иссиқлик қурилмаларида, шунингдек қуёш сув чучутгичларида иссиқлик ташувчи сифатида фойдаланиш мақсадида оксид материаллар нанозаррачалари асосидаги наносуюқликларни олиш ва уларнинг иссиқлик физикавий хусусиятларини ўрганиш;

кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмасида иссиқлик манбаи сифатида ишлатилувчи қуёш коллекторининг полимер материалларга асосланган ҳамда наносуюқликли иссиқлик ташувчидан фойдаланиб ишловчи янги конструкциясини ишлаб чиқиш;

тескари осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиш қурилмасини ишлаб чиқиш, мазкур типдаги қурилмалар ишлаб-чиқариш қувватига таъсир

этувчи асосий омилларни аниқлаш, қурилма тажриба нусхасини яратиш ва уларнинг самарадорлигини аниқлаш бўйича тажрибавий тадқиқотларни амалга ошириш, уларнинг иш режимларини мақбуллаштириш;

қаралаётган қуёш сув чучутиш қурилмаларидан ичимлик суви таъминотида фойдаланишда уларнинг техник-иқтисодий ва экологик кўрсаткичларини таҳлил қилиш.

Тадқиқотнинг объекти қуёш иссиқлик (наносуюқликли иссиқлик ташувчига эга кўп босқичли) ва тескари осмос жараёнига асосланган (қуёш фотоэлектрик ўзгартиргичли) сув чучутиш қурилмалари.

Тадқиқотнинг предмети қуёш энергиясини иссиқликка айланиш қонуниятлари ҳамда қуёш сув чучутиш қурилмалари тегишли қисмларида юз берувчи иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларидан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Қўйилган вазифаларни бажариш учун қуёш энергиясини иссиқликка айланттириш ҳамда иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини моделлаштириш усуллари қўлланилиб, улар воситасида қуёш сув чучутиш қурилмалари иссиқлик самарадорлиги ва унумдорлиги аниқланган. Қаралаётган қуёш сув чучутиш қурилмалари асосий иссиқлик техникавий, техник-иқтисодий ва экологик кўрсаткичларини аниқлаш учун ҳисоблаш ҳамда тажрибавий тадқиқотларни ўтказиш ва натижаларни қайта ишлаш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмалари ишлаб-чиқариш қувватини аниқлаш учун, эксергетик таҳлилга асосланган, температурага боғлиқ равишда юз берувчи иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини ҳисобга олувчи, иссиқлик режимларининг математик модели ишлаб чиқилди;

қуёш сув чучутгичлари температура режимлари 40°C дан 90°C гача диапазонда ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда, уларда иссиқлик ташувчи сифатида ишлатиш мақсадида оксид материаллар (SiO_2 ва Al_2O_3) нанозаррачалари асосидаги наносуюқликлар олинди ва уларнинг иссиқлик физикавий хоссалари (қовушқоқлик ва иссиқлик ўтказувчанлик) аниқланди;

қуёш сув чучутиш қурилмасида иссиқлик манбаи сифатида ишлатиш учун полимер материаллар (полиамид ва поликарбонат)га асосланган ва наносуюқликли иссиқлик ташувчига эга қуёш коллекторининг янги конструкцияси ишлаб чиқилди;

кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмасининг такомиллаштирилган, иссиқлик самарадорлиги мавжуд аналогларга нисбатан 15%га юқори бўлган, иқтисодий рентабел янги конструкцияси ишлаб чиқилди ва қурилманинг тажриба нусхаси яратилди;

илк бор тескари осмос жараёнига асосланган, қуёш фотоэлектрик ўзгартгич ҳисобига ишловчи, автоном, мобил қуёш сув чучутиш қурилмасининг янги конструкцияси ишлаб чиқилди ва тажрибавий нусхаси яратилди;

тескари осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиш қурилмасининг эксергетик таҳлил асосида температурага боғлиқ бўлган мақбул (25°C-35°C

диапазонда) иш режимлари аниқланди, ва шу асосида қурилманинг қуёш иссиқлик ва фотоэлектрик ўзгартгичлардан фойдаланиб ишловчи конструкцияси принципиал схемаси ишлаб чиқилди;

ишлаб чиқилган қуёш сув чучутиш қурилмаларининг техник-иқтисодий (қоплаш муддати 0,2 дан 1,5 йилгача бўлган) ва экологик (атроф муҳитга CO_2 оқимини йилига 13358кг гача камайтиришга олиб келувчи) кўрсаткичларини ҳисобга олган ҳолда, улардан республиканинг чекка ҳудудларида автоном ичимлик суви таъминоти тизими сифатида фойдаланиш мақсадга мувофиқлиги асосланди.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

наносуюқликли иссиқлик ташувчига эга полимер қуёш коллекторидан фойдаланиб ишловчи кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмасининг янги конструкцияси ишлаб чиқилди ва қурилманинг тажриба нусхаси яратилди;

қуёш иссиқлик қурилмаларида, жумладан қуёш сув чучутишларида иссиқлик ташувчи сифатида ишлатиш учун SiO_2 ва Al_2O_3 нанозаррачалари асосидаги наносуюқликли иссиқлик ташувчилар олинди;

тескари осмос жараёнига асосланган, унумдорлиги 100 литр/кун бўлган қуёш сув чучутиш қурилмаси ишлаб чиқилди ва яратилди, қурилма табиий шароитларда муваффақиятли синовдан ўтказилди ҳамда ушбу технология серияли ишлаб чиқаришни ташкил этиш учун тақдим этилди.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги замонавий ўлчаш асбоблари ёрдамида олинган ва қайта ишланган маълумотлардан фойдаланилганлиги, қуёш сув чучутиш қурилмалари иссиқлик техникавий кўрсаткичларини аниқлашнинг замонавий иссиқлик ҳисоби ва моделлаштириш услубларидан фойдаланилганлиги, маълумотларни йиғиш ва қайта ишлаш услублари, ҳисобий ва тажрибавий натижаларнинг мослиги билан тасдиқланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижалари илмий аҳамияти қуёш сув чучутиш қурилмалари иссиқлик ҳисоби услубларини ривожлантириш билан бирга уларнинг иссиқлик техникавий, энергетик ва экологик кўрсаткичларини мақбуллаштириш билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти полимер материаллар ва наносуюқлик асосидаги иссиқлик ташувчилардан фойдаланиш ҳисобига тан нархи икки баробарга арзонлашган янги авлод қуёш сув чучутиш қурилмалари конструкциясини ишлаб чиқилганлиги ва яратилганлиги билан изоҳланади.

Ишлаб чиқилган қуёш сув чучутиш қурилмалари ишлаб-чиқариш қувватини аниқлаш, шунингдек мазкур қурилмалардан фойдаланиш натижасида атмосферага чиқариладиган CO_2 оқимини камайтириш борасидаги тадқиқотлар натижалари тегишли давлат ва хусусий ташкилотлар томонидан қуёш энергиясидан фойдаланиш ҳисобига анъанавий ёқилғи-энергетик ресурсларни тежаш ҳамда атроф муҳитга CO_2 оқимини камайтиришга қаратилган турли лойиҳаларни амалга оширишда қўлланилиши мумкин.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси иссиқлик кўрсаткичларини такомиллаштириш бўйича олинган натижалар асосида:

Бухоро давлат университетида амалга оширилган «Қайта тикланувчи энергия манбалари қурилмаларини янада такомиллаштириш, улардаги жараёнларни моделлаштириш ва тадқиқ қилиш» амалий лойиҳани бажаришда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 09.12.2020 йилдаги №89-03-5138 сонли маълумотномаси). Натижада кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси самарадорлигини Бухоро вилояти шароитида аниқлаш имконини берган.

Қуёш сув чучутиш қурилмаларида иссиқлик ташувчи сифатида ишлатилувчи SiO_2 и Al_2O_3 нанозаррачалари асосидаги наносуюқликларни олиш ва уларнинг иссиқлик физикавий хусусиятларини тадқиқ этиш бўйича олинган натижалардан Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида амалга оширилган «Наносуюқликларда фазавий ўзгаришлар ва узатиш ҳодисаси» фундаментал лойиҳани бажаришда фойдаланилган (ЎзР ФАнинг 09.12.2020 йилдаги №2/1255-2763 сонли маълумотномаси). Натижада кремний кўшқисли ва базавий суюқлик сувдан иборат наносуюқликнинг турли концентрация ва температураларда иссиқлик узатиш коэффициентини аниқланган.

Тескари осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиш қурилмаси янги конструкциясини ишлаб чиқиш ва яратиш ҳамда унинг техник кўрсаткичлари ва унумдорлигини тадқиқ этиш бўйича олинган натижалардан хорижий ишларда фойдаланилган [Desalination, 353, 57-74, 2014, IF:7,09; Sustainable Energy Technologies and Assessments, 42, 2020, Article ID 100884, IF:3,4; Renewable and Sustainable Energy Reviews, 97, 456-477, 2018, IF:12,11; Energy, 112, 164-178, 2016, IF:6,04 в.б.] бўлиб, қуёш фотоэлектрик ўзгарткичларга эга тескари осмос жараёнига асосланган қурилмалар техник-иқтисодий кўрсаткичларини оптималлаштириш ва уларнинг турли қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиб ишловчи конструкцияларини яратиш бўйича таҳлилни ўтказиш имконини берган.

ЎзР ФА Физика-техника институти ҳамда «Solar Development Systems» МЧЖ ўртасида тузилган Лицензия Шартномасига (29.03.2020 йилдаги №1-сонли шартнома) асосан «Автоном сув чучутиш қурилмаси»ни (20.06.2014 йилдаги №FAP00891) яратиш технологияси серияли ишлаб чиқаришни ташкил этиш мақсадида «Solar Development Systems» МЧЖга берилган («Узэлтехсаноат» АКнинг 17.12.2020 йилдаги №04-1/2366 сонли маълумотномаси). Қурилмани серияли (йилига 1000та) ишлаб чиқаришни ташкил этишдан қутилаётган йиллик иқтисодий самара: йилига 30 минг м^3 чучук сув ишлаб чиқариш. Битта қуёш сув чучутиш қурилмасидан фойдаланиш натижасида йилига ичимлик суви сотиб олиш учун сарфланадиган 15 млн. сум маблағ тежалади. Шунингдек қуёш энергиясидан фойдаланиш ҳисобига атроф муҳитга чиқариладиган CO_2 оқими кўмир билан таққослаганда 13358 кг/йил гача, табиий газ билан таққослаганда 3787 кг/йил гача қисқаради.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқотнинг асосий натижалари 8 та халқаро конференция ва анжуманларда, 4 та республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда баён этилган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 31 та илмий иш чоп этилган, жумладан 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 14 та (11 та халқаро ва 3 та республика журналларида) мақола нашр этилган, 13 та халқаро ва республика миқёсидаги конференциялар материалларида тезислар чоп қилинган, 1 та фойдали модел учун патент ва ЭХМлар учун 2та дастурий маҳсулотга гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг асосий қисми 110 та расм ҳамда 10 та жадвални ўз ичига олиб, 187 бетни ташкил этади.

Муаллиф мазкур диссертация иши доирасидаги тадқиқотларни олиб боришда ҳар томонлама қўллаб-қувватлагани ҳамда муаллифнинг умумий илмий фаолиятида тутган ўрнини таъкидлаган ҳолда, марҳум профессор Р.Р. Аvezовга чуқур миннатдорчилик билдиришни ўзининг бурчи деб билади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари шакллантирилган, объект, предмет ва услублари тавсифланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, ушбу йўналишда хорижий илмий тадқиқотлар таҳлили, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиб шўр сувларни чучутиш: зарурат, ҳолат ва ривожланиш тенденцияси**» деб номланган биринчи бобда дунёда ичимлик суви таъминоти, ресурсларни баҳолаш, шунингдек чучук сув захиралари бўйича маълумотлар келтирилган. Ўзбекистонда сув ресурсларини баҳолаш ҳамда ичимлик суви таъминоти ҳолати баён қилинган. Қайта тикланувчи энергия манбаларини (ҚТЭМ) қўллаган ҳолда чучутиш қурилмаларидан фойдаланишни ривожлантиришнинг дунёдаги замонавий тенденциялари таҳлил қилинган. Мазкур диссертация доирасида қараладиган асосий илмий-техникавий вазифалар шакллантирилган.

Диссертациянинг «**Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмасининг иссиқлик кўрсаткичларини аниқлаш бўйича ҳисобий ва тажрибавий тадқиқотлар**» деб номланган иккинчи бобда қуёш сув чучутиш қурилмаларининг ишлаб-чиқариш қуввати ва иссиқлик самарадорлигини оширишнинг конденсация иссиқлигидан кўп мартали фойдаланишга асосланган услуби ишлаб чиқилди. Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмалари иссиқлик режимларининг математик модели ишлаб чиқилди. Уларнинг унумдорлиги ва иссиқлик самарадорлигини аниқлаш бўйича сонли ҳисоблашлар бажарилди. Қурилмалар тажрибавий нусхалари ишлаб чиқилди ҳамда уларнинг унумдорлигини аниқлаш учун тажрибалар амалга оширилди.

Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси учун ҳисоблаш моделини ишлаб чиқишда парниксимон чучутгич учун моделга кўп мартали буғланиш ва конденсация жараёнларини ҳисобга олиб ўзгартиришлар киритган ҳолда фойдаланилди. Маълумки, парниксимон қуёш сув чучутиш қурилмалари механик ёки электр энергияси кўринишдаги энергия ишлаб чиқармайдиган иссиқлик ўзгартгич ҳисобланиб, уларнинг эксергетик самарадорлиги алоҳида қисмларида юз берувчи оптик ва иссиқлик жараёнларни баҳоловчи катталиқдир. Қурилманинг иссиқлик (эксергетик) самарадорлигини аниқлаш учун иссиқлик ва масса алмашинувни ҳисобга олган ҳолда, ҳар бир қисм учун баланс тенгламалари тузилади.

Бу сув чучутиш қурилмаларида иссиқлик нурланиш, буғланиш ва конвекция йўли билан узатилади, яъни йиғинди иссиқлик узатиш коэффиценти (α^E), қуйидагича аниқланади:

$$\alpha^{\Sigma} = \alpha_{\text{изл}} + \alpha_{\text{исп}} + \alpha_{\text{кон}} \quad (1)$$

$\alpha_{\text{изл}}$, $\alpha_{\text{исп}}$, $\alpha_{\text{кон}}$ – мос равишда, нурланиш, буғланиш ва конвектив иссиқлик узатиш коэффициентлари бўлиб, уларнинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$\alpha_{\text{изл}} = \frac{\varepsilon \sigma ((T_{\varepsilon} + 273,15)^4 - (T_c + 273,15)^4)}{(T_{\varepsilon} - T_c)} \quad (2)$$

$$\alpha_{\text{исп}} = 16,273 \cdot 10^{-3} \alpha_{\text{кон}} \quad (3)$$

$$\alpha_{\text{кон}} = C(Gr \cdot Pr)^n \frac{\lambda}{\delta} \quad (4)$$

бу ерда T_{ε} ва T_c – мос равишда, буғланиш ва конденсация сиртлари температураси; ε – қорайганлик даражаси; σ – Стефан-Больцман доимийси; Gr – Грасгоф критерияси; Pr – Прандтл критерияси; λ – иссиқлик узатиш коэффициенти; δ – буғланиш ва конденсация сиртлари орасидаги масофа; C ва n коэффициентлари қийматлари Грасгоф критерияси қийматига мос равишда ўзгаради.

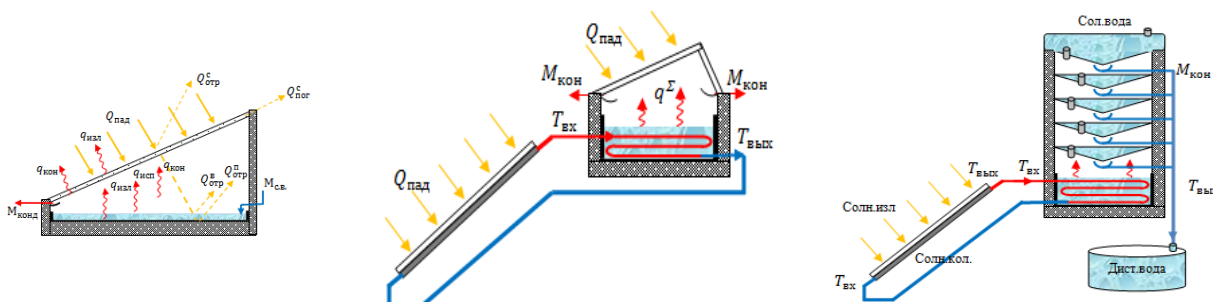
Бир босқичли парник типидagi қуёш сув чучутгич (1-расм) иссиқлик эксергияси қуйидагича ифодланади:

$$E_{\text{экс,ч}} = \alpha_{\text{исп,э}} \left[(T_{\varepsilon} - T_c) - (T_{\text{о.с.}} + 273,15) \ln \left(\frac{T_{\varepsilon} + 273,15}{T_c + 273,15} \right) \right] \quad (5)$$

Мазкур сув чучутгичнинг оний иссиқлик самарадорлиги эса қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$\eta_i = \frac{\dot{q}_{\text{исп,э}}}{\dot{q}_{\text{пад}}} = \frac{\alpha_{\text{исп,э}}(T_{\varepsilon} - T_c)}{\dot{q}_{\text{пад}}} \quad (6)$$

Бир босқичли актив қуёш сув чучутгичларида (1-расм) буғланиш ва конденсация сиртлари орасидаги температуралар фарқи, иссиқлик ташувчини иситиш юз берувчи қуёш коллектори ҳамда сув буғланиши ва сув буғларининг конденсацияси натижасида конденсат ҳосил бўлиши жараёнлари содир бўлувчи буғланиш-конденсация камерасининг бирлаштирилиши ҳисобига эришилиши мумкин.



Бир босқичли парниксимон чучутгич

Бир босқичли актив парниксимон чучутгич

Кўп босқичли актив чучутгич

1-расм. Қаралаётган бир ва кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмалари принципал схемалари

Мазкур ҳолатда чучутгичнинг иссиқлик кўрсаткичларини ҳисоблашда қуёш коллекторини иссиқлик манбаи сифатида қўлланилаётгани ҳисобга олинади, чунки коллекторнинг чиқувчи кўрчатгичлари буғланиш-конденсация камераси учун кирувчи ҳисобланади.

Ушбу актив қуёш сув чучутгич қурилмасининг эксергетик самарадорлигини баҳолаш учун қуйидаги ифода ўринлидир:

$$\eta_{\text{мен,эк}} = \frac{\alpha_{\text{эфф}} \left[(T_g - T_c^{\text{РНМ}}) - (T_{0,с.} + 273,15) \ln \left(\frac{T_g + 273,15}{T_c^{\text{РНМ}} + 273,15} \right) \right] F_{\text{под}}}{(0,933) [F_{\text{под}} q_{\text{под}}(t) + F_{\text{кол}} q_{\text{под}}(t)]}. \quad (7)$$

бу ерда r – яширин буғланиш иссиқлиги; $F_{\text{кол}}$ ва $F_{\text{под}}$ – мос равишда қуёш коллектори ва буғланиш сирти юзалари.

Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмасининг мавжуд конструкцияларида⁶ сув буғларининг конденсация иссиқлигидан рекуператив фойдаланиш ҳисобига қурилма ишлаб-чиқариш қуввати ва иссиқлик самарадорлигини ошириш бўйича ижобий натижалар берган. Лекин, шунга қарамадан, иссиқлик манбаи сифатида қуёш коллекторидан фойдаланиш натижасида қурилманинг тан нархи ошди. Ушбу масалани ҳал этиш учун мазкур ишда қурилманинг иссиқлик кўрсаткичларини сақлаб қолган ҳолда унинг тан нархини тушириш вазифаси қўйилди. Бу вазифа эса полимер материаллар асосидаги янги авлод қуёш коллекторларидан фойдаланиш ҳамда кўп босқичли буғланиш - конденсация камерасининг конструкциясини мақбуллаштириш ҳисобига амалга оширилади (1-расм).

Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси ҳар бир босқичи учун энергетик баланс тенгламалари асосида иссиқлик ҳисоби услуби ишлаб чиқилди. Масалан, i -чи босқичдаги сув учун ушбу тенглама қуйидагича:

$$m_{\text{вi}} C_{\text{вi}} \frac{dT_{\text{вi}}}{dt} = \alpha_{\text{к}(i+1)} F_{\text{ки}} (T_{\text{ки}} - T_{\text{вi}}) + \alpha_i F_{\text{вi}} (T_{\text{к}(i+1)} - T_{\text{вi}}) \quad (8)$$

Мос равишда иссиқлик узатиш коэффициентлари учун қуйидаги ифодалардан фойдаланилади:

$$\alpha_{\text{кон.в-к}} = 0.884 \left[(T_g - T_k) + (T_g + 273) \frac{P(T_g) - P(T_k)}{268.9 \cdot 10^3 - P(T_g)} \right]^{1/3} \quad (9)$$

$$P(T) = \exp \left(25.317 - \frac{5144}{T + 273} \right) \quad (10)$$

$$\alpha_{\text{и.в-к}} = \varepsilon_{\text{эфф}} \sigma \left[(T_g + 273)^2 + (T_k + 273)^2 \right] (T_g + T_k + 546) \quad (11)$$

$$\varepsilon_{\text{эфф}} = \left(\frac{1}{\varepsilon_k} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1 \right)^{-1} \quad (12)$$

$$\alpha_{\text{исп.в-к}} = 16.273 \cdot 10^{-3} \alpha_{\text{кон.в-к}} \frac{P(T_g) - P(T_k)}{T_g - T_k} \quad (13)$$

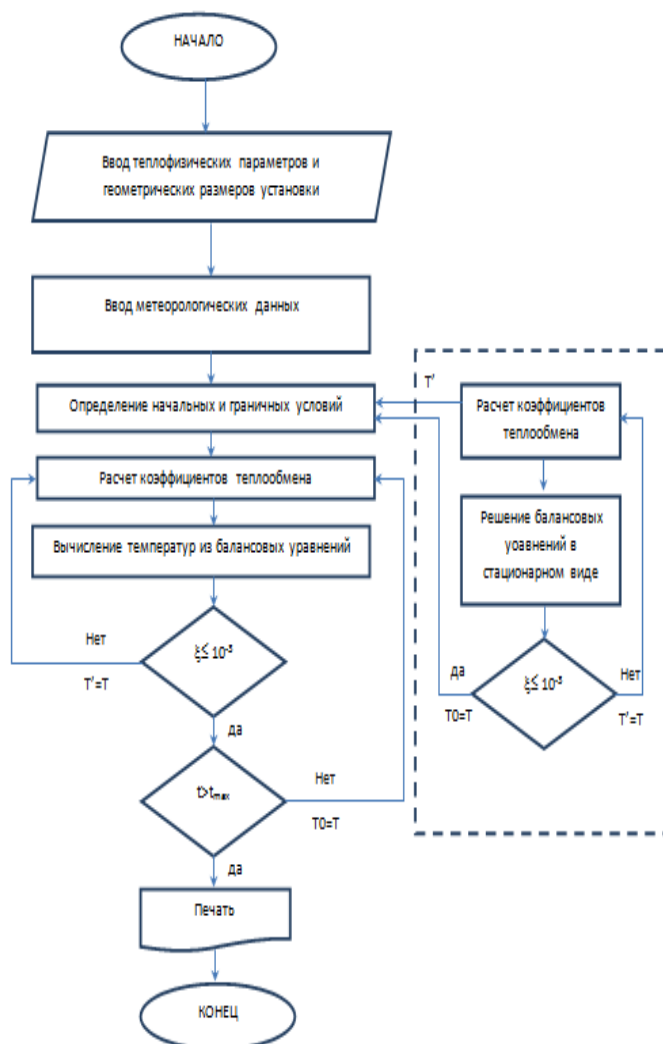
(9), (11) ва (13) ифодалар, мос равишда: -конвектив ($\alpha_{\text{кон.в-к}}$), -нурланиш билан ($\alpha_{\text{и.в-к}}$), - ва буғланиш ($\alpha_{\text{исп.в-к}}$) йўли билан иссиқлик узатиш коэффициентларини аниқлаш учун.

Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси иссиқлик режимларини аниқлаш ва олинган натижалар таҳлили: ночизикли дифференциал

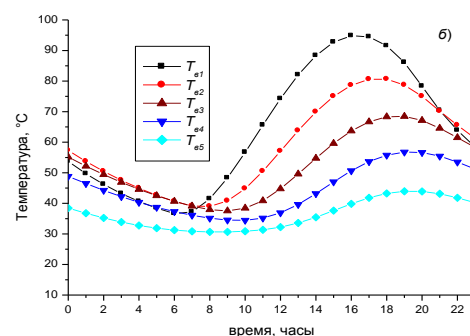
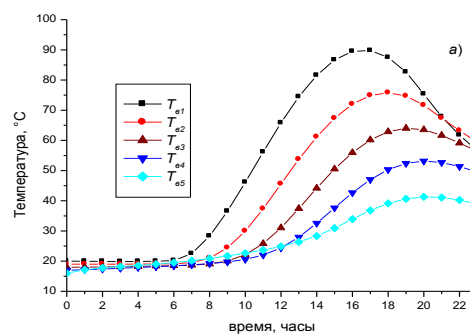
⁶ Ахатов Ж.С. Разработка и исследование солнечных парниковых водоопреснителей с многоступенчатыми рекуперативными испарительно-конденсационными камерами: Авт.канд.дис.-Ташкент, 2007.- 22с.

тенгламалар системаси сонли усул ёрдамида ечилади. Уларни «ошкор услуб» ёрдамида алгебраик тенгламалар системаси кўринишига келтириб, кетма-кет яқинлашиш (итерация) улуси ёрдамида ишланади. Visual C+ муҳитида ҳисоблаш дастури ишлаб чиқилган ва яратилган.

2-расмда мазкур ҳисоблаш модели алгоритми блок схемаси тасвирланган. Ҳисобий тажрибалар ўтказишда атроф температураси 20°C дан 30°C гача ораликда ўзгарган бўлса, куёш нурланиши оқим зичлиги 1100Вт/м² гачани ташкил этган. 3-расмда мазкур қурилма тегишли босқичларида сув температураси ўзгаришининг ҳисобий қийматлари келтирилган. Графиклардан кўринадикки (3-расм а) ва б)), биринчи ва қолган кунлар, иккинчи кундан бошлаб, орасида фарқ кузатилади. 3-расмда б) тажрибалар 6-кунида бошланғич температуралар тасвирланган, қайсики кун бошида 31°C дан 40°C гача ораликда ўзгаради. Шунингдек босқичлардаги сувлар температура-тураси максимал қийматлари кун ярмида 40°C дан 90°C гача (1-кун), ва 42°C дан 95°C (6-кун) ўзгаради.



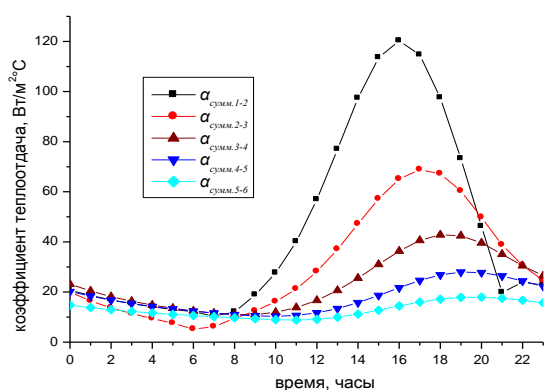
2-расм. Ҳисоблаш модели алгоритми блок схемаси: T' - температуранинг яқинлашган қиймати; T_o - бошланғич температура.



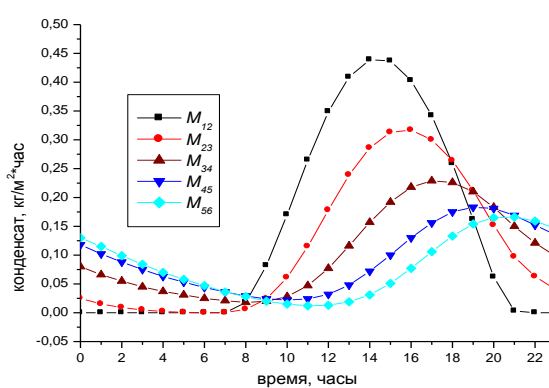
3-расм. Чучутгич босқичларидаги сув температуралари ўзгаришининг ҳисобий қийматлари а) -биринчи ва б) -олтинчи кун давомида

4-расмда қурилма босқичларида иссиқлик узатиш коэффициентлари алоҳида *a)*, ва йиғинди *б)*, ҳисобий қийматлари тасвирланган. Маълумки бундай тизимларда йиғинди иссиқлик узатиш коэффициенти нурланиш, буғланиш ва конвекция ҳодисаларини ҳисобга олган ҳолда аниқланади. Ушбу қурилмада, буғланиш ва конденсация жараёнлари юз беришида, буғланиш билан узатилувчи иссиқлик асосий ҳисобланади.

5-расмда чучутгич босқичларидан чиқувчи конденсат миқдори тасвирланган. Графикдан кўринадики, мазкур қурилмада инерция ҳисобига конденсат чиқиши Қуёш ботгандан кейин ҳам давом этади. Ҳисоблаш натижалари кўрсатадики, юқорида қайд этилган шароитларда ҳар бир босқичдан чиқувчи конденсат максимал миқдори мос равишда $0,15\text{кг}/\text{м}^2\text{соат}$ дан $0,45\text{кг}/\text{м}^2\text{соат}$ гача ўзгаради. Қурилманинг кунлик умумий ишлаб-чиқариш қуввати эса ҳар бир м^2 юзадан $7,0\text{-}8,0$ литрни ташкил этади.



4-расм. Йиғинди иссиқлик узатиш коэффициенти ҳисобий қийматлари



5-расм. Чучутгич босқичларидан чиқувчи конденсат миқдори

Тажрибавий тадқиқотлар. 1-расмда тасвирланган принципиал схема асосида кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси тажриба нусхаси ишлаб чиқилди ва яратилди, унинг умумий кўриниши 6-расмда келтирилган.

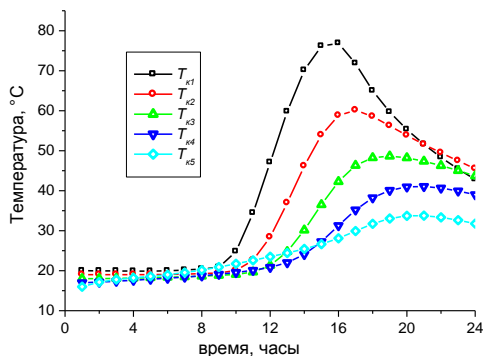


6-расм. Қурилманинг умумий кўриниши

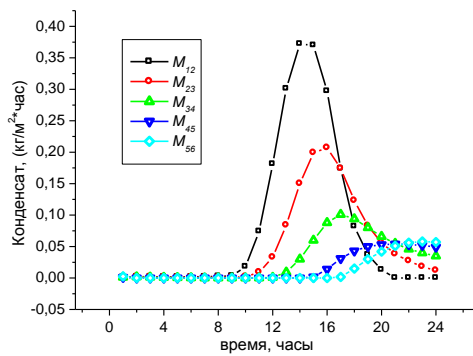


Қурилманинг мазкур тажриба нусхасида, олдинги конструкциядан фарқли равишда, полимер материал асосидаги қуёш коллектори ҳамда шўр сувни сақлаш учун бак билан мужассамлашган, зангламайдиган пўлат ва полимер материаллар асосидаги кўп босқичли буғланиш камераси қўлланилган.

7-расмда қурилма босқичларида сув температурасининг тажрибавий қийматлари тасвирланган. Графиклардан кўринадики уларнинг максимал қийматлари мос равишда, (биринчидан бешинчи босқичгача), 80°C дан 35°C гача ўзгаради.



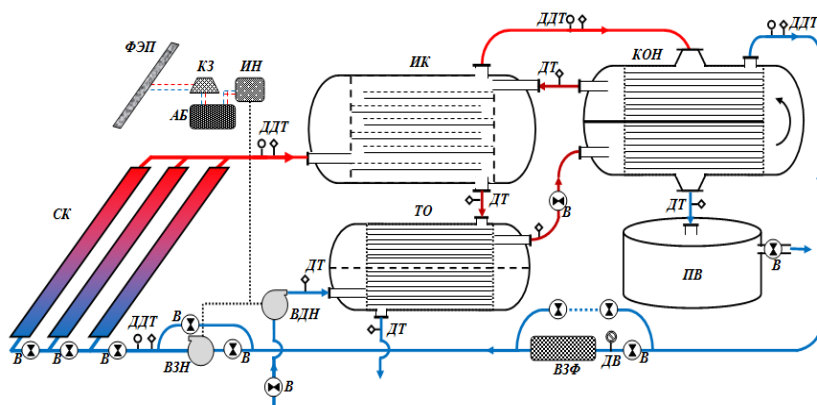
7-расм. Босқичлардаги температуралар тажрибавий қийматлари ўзгариши



8-расм. Чучутгич босқичларидан чиқувчи чучук сув миқдори

8-расмда мазкур чучутгич ҳар бир босқичидан чиқувчи чучук сув миқдори тасвирланган. Қиёсий таҳлил натижалари ҳисобий (5-расм) ва тажрибавий (8-расм) натижалар мослигини кўрсатди. Шу билан бирга қурилманинг ҳар бир кв.м. юзасидан умумий унумдорлиги кунига 7,0 литр чучук сувни ташкил этиб, ушбу кўрсаткич қуёш нурланиши юқори бўлган ёз кунларида 7,5-8,0 литрга етиши аниқланди. Ҳисобий ва тажрибавий тадқиқотлар натижалари кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмасида максимал босқичлар сони, ундаги босқичлар орасидаги температуралар фарқи (8-10°C), ҳамда ишлаш температураси диапазони (60-80°C) ҳисобга олган ҳолда, 5тани ташкил этишини кўрсатди.

Бугланиш ва конденсация камералари ажратилган кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси иссиқлик кўрсаткичларини ҳисоблаш: мавжуд конструкциялардан тубдан фарқ қилувчи, ажратилган бугланиш ва конденсация камераларига эга кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси янги конструкцияси ишлаб чиқилди, унинг принципиал схемаси 9-расмда тасвирланган.



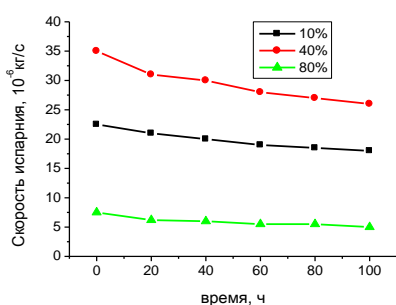
9-расм. Бугланиш ва конденсация камералари ажратилган кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси принципиал схемаси:

СК- қуёш ҳаво иситиш коллектори; ИК- бугланиш камераси; КОН- конденсатор; ТО- иссиқлик алмашигич; ПВ- чучук сув; ВЗД- ҳаво насоси; ВДН- сув насоси; ФЭП, КЗ, АБ, ИН- мос ҳолда, фотоэлектрик панел, контроллер, аккумулятор, инвертор; ВЗФ-ҳаво филтри; ДВ- намлик датчиги; ДДТ- босим ва ҳарорат датчиги; ДТ- ҳарорат датчиги; В-бурагич.

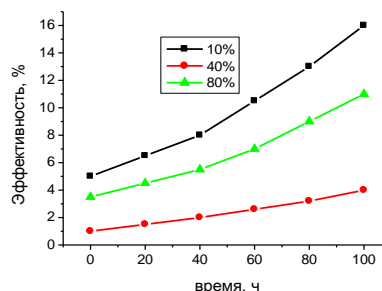
Мазкур қурилманинг ишлаш принципи қуйидагича: дастлаб шўр сув насос (фотоэлектрик станция ёрдамида ишловчи) ёрдамида (50м гача) чучутгичга узатилади. Сув, иссиқлик алмашгичдан датлабки исишдан ўтиб, конденсаторга, яъни буғланиш камерасидан чиқувчи буғ-ҳаво аралашмаси-нинг конденсирланиши юз берувчи босқичга юборилади. Натижада ҳосил бўлган конденсат йиғувчи идишда тўпланади. Қурилмада иссиқлик манбаи сифатида қуёш Ҳаво коллектори ишлатилади. Иссиқ Ҳаво насос ёрдамида буғланиш камерасига узатилади. Мазкур қурилмада ишлаб чиқаришда қўлланилувчи, техник кўрсаткичлари аниқ бўлган, иссиқлик алмашгич ва конденсатор каби стандарт қисмлар ишлатилади.

Шўр сув ва иссиқ Ҳавонинг қарама-қарши оқими амалга ошувчи кўп босқичли буғланиш камераси ҳам ишлатилади. Унинг иссиқлик кўрсаткичларини баҳолаш учун барча қисмлари учун энергетик баланс тенгламалари тузилиб, тенгламалар системаси сонли усулдан фойдаланган ҳолда «ошкор услуб» ёрдамида ишланади.

Ҳисоблашлар натижаси. Буғланиш камерасининг, мос равишда, атроф муҳит температурасининг (10°C, 20°C ва 30°C), кирувчи Ҳаво намлигининг (10%, 40% ва 80%), ҳамда кирувчи Ҳаво тезлигининг (0,1 м/с дан 1,0 м/с гача) қийматларида, иссиқлик самарадорлиги ва буғланиш тезлиги аниқланди. 10-расмда (а,б), атроф муҳит температураси 10°C ҳамда кирувчи Ҳаво тезлиги 0,7м/с бўлган ҳол учун шундай ҳисоблашлар натижалари тасвирланган.



а)



б)

10-расм. Буғланиш тезлиги -а) ва буғланиш камераси иссиқлик самарадорлиги -б) ҳисобий қийматлари

Натижалар кўрсатдики, мазкур қурилма ишлаб-чиқариш қуввати тушувчи қуёш нурланиши оқим зичлигига боғлиқ равишда 2,0 кг/соат гача бориб, қуёш коллекторининг ҳар бир м² юзасидан йиғинди конденсат (чучук сув) чиқиши 12 л/кун миқдорни ташкил этади.

Ҳисобий натижаларнинг тажрибавий тасдиғини олиш учун, ишлаб чиқилган конструкция асосида, қурилманинг тажрибавий нусхаси яратилди ва зарурий тажрибавий тадқиқотлар олиб борилди.

Тажрибавий тадқиқотлар. Қурилманинг тажрибавий нусхаси 9-расмда тасвирланганидек, барча ўлчов асбоблари билан жиҳозланган. Тажрибавий тадқиқотлар натижаси мазкур кўп босқичли чучутгич унумдорлиги парниксимон чучутгичлардан икки баробардан юқори эканлигини кўрсатди.

Таҷрибавий тадқиқотлар натижалари ҳисобий натижалар билан мос эканлиги, умумий фарқ 7% дан ошмаслиги аниқланди.

Диссертациянинг «**Наносуюқликли иссиқлик ташувчиларнинг иссиқлик физикавий хоссаларини ва уларнинг қуёш сув чучутгичлар иссиқлик техникавий кўрсаткичларига таъсирини тадқиқ этиш**» деб номланган учинчи бобида қуёш иссиқлик қурилмаларида иссиқлик ташувчи сифатида ишлатиш мақсадида, тегишли иссиқлик физикавий хусусиятларга эга бўлган наносуюқликли иссиқлик ташувчиларни олиш бўйича тадқиқотлар натижалари баён қилинган. Шунинг билан бирга, қуёш сув чучутиш қурилмалари иссиқлик кўрсаткичларини яхшилаш мақсадида, наносуюқликли иссиқлик ташувчи ҳамда полимер материаллардан фойдаланган ҳолда қуёш коллекторининг янги конструкциясини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар натижалари келтирилган.

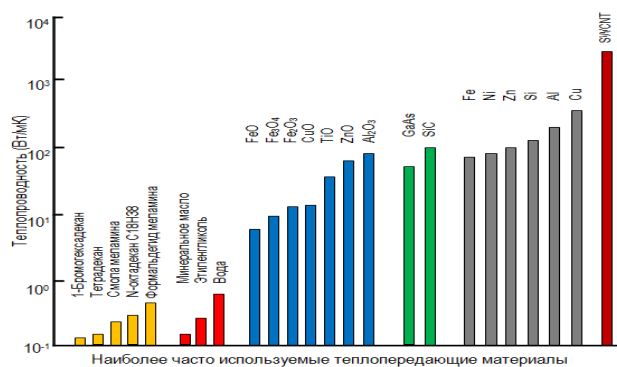
Қуёш иссиқлик қурилмаларида одатдаги иссиқлик ташувчилар ўрнига наносуюқликлардан фойдаланиш янгича ёндошув ҳисобланади. Таҳлиллар шуни кўрсатадики, қуёш иссиқлик қурилмаларида наносуюқликлардан фойдаланиб самарадорликни ошириш мумкин. Аммо, ҳатто маълум бир гуруҳ ёки категорияга мансуб наносуюқликлар учун ўринли бўлган ёки эмпирик боғлиқлик асосида барча ёки бир неча тип наносуюқликлар учун қўллаш мумкин бўлган, етарлича асосга эга бўлган натижалар мавжуд эмас.

Тадқиқотчилар наносуюқликларнинг қандай хусусиятлари билан иссиқлик узатишни жадаллаштиришни боғлашади? Биринчи навбатда бу нанозаррачаларнинг юқори иссиқлик ўтказувчанлиги билан боғлиқ. Умумий ҳолда иссиқлик узатиш муҳитнинг ламинар ёки турбулент оқими натижасида юзага келади. Бу жараёнларда ҳарорат ва босимнинг қийматлари кенг диапазонда ўзгариб туради ва энг муҳим чеклов анъанавий суюқликлар иссиқлик ўтказувчанлигининг пастлигидир.

Масалан, сув одатда ишлатиладиган суюқликлар орасида энг юқори иссиқлик ўтказувчанликка эга, ваҳолангки у хона ҳароратида $\sim 0,6 \text{ Вт/мК}$ га тенг, ҳамда бу қиймат 11-расмда кўрсатилганидек, металллар, метал оксидлари ва бир деворли углерод нанотрубкалари (SWCNT), иссиқлик ўтказувчанлигидан бир неча даража пастроқдир.

Наносуюқликларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги ошишига таъсир қилувчи ҳажмий концентрация, материал, нанозаррачалар шакли ва ўлчами, асос суюқлиги хоссалари, температура, кислоталилик ва бошқа омилларнинг таъсирини ўрганиш бўйича ишлар давом эттирилди ва тадқиқ этилди.

Наносуюқликларга хос бўлган омиллар таҳлили, жумладан, седиментацион нобарқарорлик ва нанозаррачаларнинг ўзаро таъсирга мойиллиги шуни



11-расм. Энг кўп ишлатиладиган материаллар иссиқлик ўтказувчанлиги

кўрсатадики, бундай ўзаро таъсирни камайтириш ζ -потенциал қийматини танлаш йўли билан амалга оширилади, чунки нанозаррачалар агломерацияси наносуюқликлар иссиқлик ўтказувчанлиги-нинг ўзгаришига олиб келади.

SiO_2 ва Al_2O_3 нанозаррачалари асосидаги наносуюқликларни олиш ва уларнинг седиментацион хоссаларини тадқиқ этиш. Қуёш иссиқлик ўзгартгичларида иссиқлик ташувчи сифатида ишлатиш мақсадида SiO_2 ва Al_2O_3 нанозаррачалари ва сув асосидаги суспензиялар тайёрланди ва уларнинг седиментацион хусусиятлари ўрганилди.

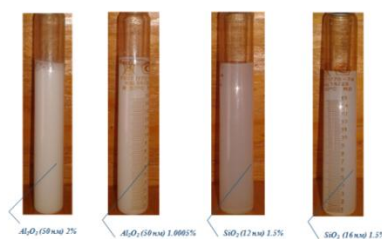
Тайёрлаш босқичлари: **1-босқич** нанозаррачалар материални танлаш: манба материал сифатида (SiO_2 ва Al_2O_3) кукунлари танлаб олинди (12-расм). **2-босқич** танланган материаллар (SiO_2 ва Al_2O_3) нанозаррачалари ва сув асосида, турли концентрацияли суспензиялар тайёрлаш (13-расм). Бир хил суспензия олиш учун 20kHz частотали ултратовушли қурилма (Ultrasonic disintegrator UD-11) ёрдамида 7-12 минут давомида соникация жараёни ўтказилди.



Al_2O_3

SiO_2

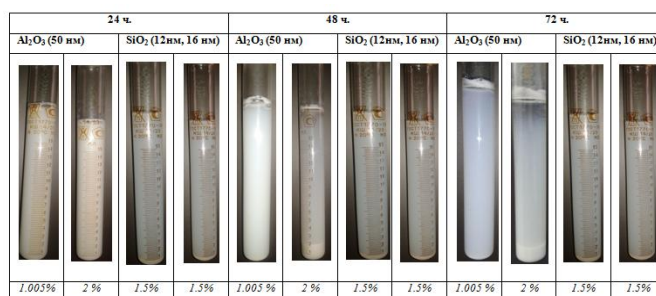
12-расм. SiO_2 ва Al_2O_3 кукунли



13-расм. SiO_2 ва Al_2O_3 нанозаррачали асосидаги суспензиялар

3-босқич «Zetasizer Nano S90» ва «Mastersizer 2000» (Hydro 2000MU тарқатиш блокига эга заррачалар ўлчами анализатори) ўлчов асбоблари ёрдамида танланган материаллар (SiO_2 ва Al_2O_3) заррачалари ўлчамини аниқлаш. Мазкур ҳолда Al_2O_3 ва SiO_2 нанозаррачалари ўлчами аниқланди, улар мос равишда 50нм ва 12нм ни ташкил этди.

4-босқич суспензияларда седиментация жараёнини кузатиш. Суспензия бу кўп фазали коллоид тизим бўлиб, унда тарқоқ қаттиқ фаза суюқ дисперсияли муҳитда бир текис тақсимланади. Ўртача ўлчами 50нм бўлган, алюминий диоксиди нанозаррачалари асосида концентрацияси 1,0% дан 2,0% гача бўлган, ҳамда ўлчами 12нм ва 16нм бўлган кремний диоксиди нанозаррачалари асосида концентрацияси 1,5% бўлган суспензиялар тайёрланди. Седиментация жараёни турли вақт ораликларида кузатилди ва суспензия ҳолати қайд этиб борилди (14-расм). Натижалар, нанозаррачалар агломерацияси ва чўкма ҳосил бўлиш жараёнлари соникация жараёни давомийлигига, чўкинди миқдори эса суспензиядаги нанозаррачалар концентрацияси ва ўлчамига боғлиқлигини кўрсатди.

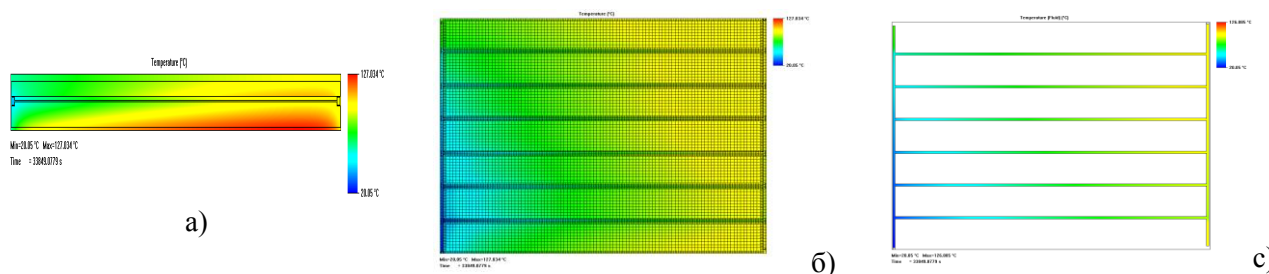


14-расм. Al₂O₃ ва SiO₂ нанозаррачалари асосидаги суспензиялар турли ўлчам ва концентрацияларида седиментация жараёни

(SiO₂+сув) наносуюқлигини олиш ва қовушқоқлигини аниқлаш бўйича тажрибавий тадқиқотлар. Ўлчами (7÷40нм) бўлган нанозаррачалар асосида олинган (SiO₂+сув) наносуюқликнинг динамик қовушқоқлиги айланма вискозиметрия услубида «НААКЕ RheoStress RS600» реометри ёрдамида аниқланди. Олинган натижалар температура ортиши билан тизим динамик қовушқоқлиги пасайишини, нанозаррачалар ҳажмий улуши ортиши билан ортишини кўрсатди. Концентрациянинг кичик қийматларида (SiO₂+сув) тизимнинг қовушқоқлиги амалда частотага боғлиқ эмаслиги аниқланди.

Наносуюқликли иссиқлик ташувчилардан фойдаланганда мавжуд ясси қуёш коллекторлари иссиқлик кўрсаткичларини ҳисобий тадқиқ этиш. Олинган (SiO₂+сув) наносуюқликнинг иссиқлик физикавий хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда ясси қуёш коллектори кўрсаткичларини аниқлаш бўйича ҳисоблашлар амалга оширилди. Гидродинамик таҳлил (CFD) ва иссиқлик техникавий ҳисоблашлар ўтказиш учун ясси қуёш коллектори CAD модели яратилди. Натижаларни таққослаш мақсадида ҳисоблашлар одатий иссиқлик ташувчи - сув ва наносуюқлик учун бажарилди. Маълумки, ҳисоблашлар қурилманинг ҳар бир ташкил этувчи қисми учун иссиқлик баланс тенгламалари тузиш услубига асосланган. Лекин, шуни таъкидлаш лозимки, асосий тенгламалар «Solidworks Flow Simulation» дастури ёрдамида чекланган ҳажмли усул воситасида ишланади.

16-расмда атроф муҳит температураси 20°C, қуёш нурланиши оқим зичлиги 800Вт/м², иссиқлик ташувчи сарфи 10л/соат бўлганда ясси қуёш коллектори юзаси ва ҳажми бўйлаб ҳарорат тақсимоти тасвирланган.



16-расм. Ясси қуёш коллектори абсорбери ён девори -а), абсорбер юзаси -б), иссиқлик алмашгичдаги иссиқлик ташувчиси -с) да температуралар тақсимоти

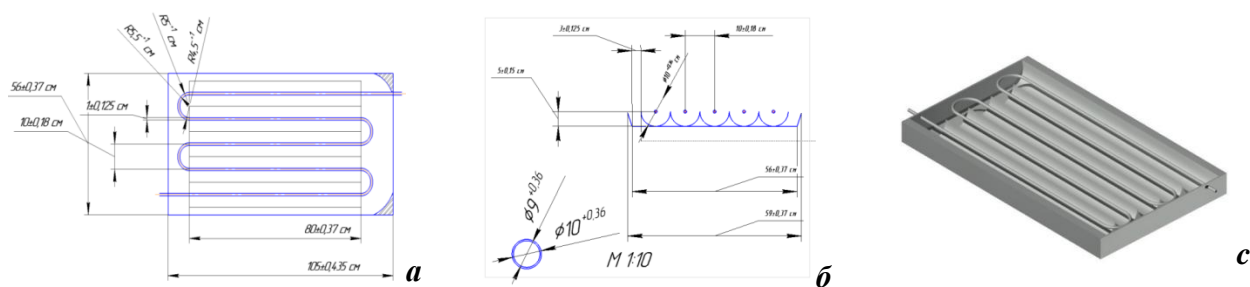
Ҳисоблашлар натижалари юқорида қайд этилган шароитларда, ясси қуёш коллекторида сув ва наносуюқликдан фойдаланилганда температуралар фарқи 20°C гача боришини кўрсатди.

Полимер материаллар асосидаги ҳамда наносуюқликдан фойдаланиб ишловчи қуёш коллектори янги конструкцияси иссиқлик кўрсаткичларини аниқлаш бўйича ҳисобий ва тажрибавий тадқиқотлар. Ҳар хил турдаги қуёш коллекторларида материаллар ва иссиқлик ўтказувчанликнинг таъсирини ўрганиш бўйича тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатдики, турли материаллар яъни ПВХ (Поливинилхлорид), ПБ (полибутен), ва ПП-Р (PP-R: полипропилен рандом сополимер), кабилар молекуляр структурасига боғлиқ ҳолда турли иссиқлик ўтказувчанликка эга, иссиқлик ўтказувчанлик эса ўз навбатида материал қалинлигига ва коллекторда оқувчи муҳит оқим тезлигига боғлиқ. Шундай қилиб, коллекторнинг иссиқлик самарадорлиги материалга, уларнинг иссиқлик ўтказувчанлигига боғлиқ, бироқ паст ҳароратларда, шунингдек иссиқлик ташувчининг кичик оқим тезлигида, уларнинг таъсирини аҳамиятсиз деб ҳисоблаш мумкин. Бунга асосланиб, шуни таъкидлаш керакки, материал танлашда фақат иссиқлик ўтказувчанликка эътибор қаратмаслик лозим.

Биз икки контурли тизимларда, жумладан қуёш сув чучутиш қурилмаларида қўллаш имкониятларини ҳисобга олган ҳолда, полимер материаллар асосидаги қуёш коллекторини ишлаб чиқиш ва яратиш, ҳамда сув чучутгичда иссиқлик узатишни жадаллаштириш мақсадида уларда наносуюқликли иссиқлик ташувчидан фойдаланиш масаласини қўйдик.

Мазкур вазифани бажариш учун 17-расмда кўрсатилган принципиал схемага биноан полимер материаллар асосидаги қуёш коллектори конструкцияси ишлаб чиқилди.

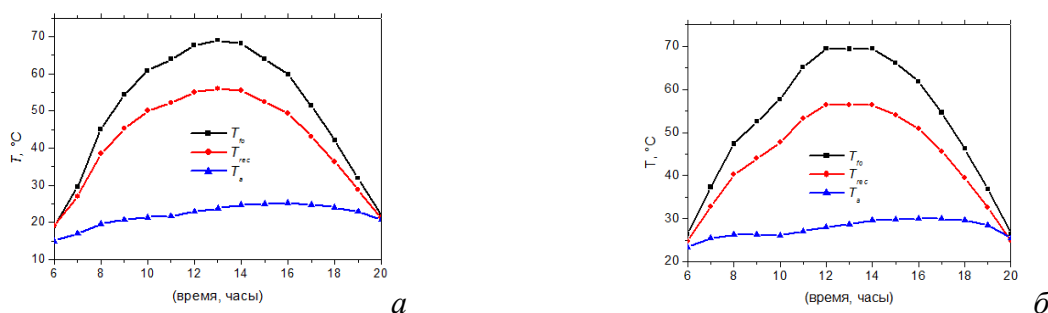
Ҳисобий тадқиқотлар. Коллектор иссиқлик кўрсаткичларини ҳисоблаш учун математик модел ишлаб чиқилди. Мазкур математик модел коллекторнинг ташкил этувчи қисмлари учун энергетик баланс дифференциал тенгламалар тизимига асосланган.



17-расм. Полимер қуёш коллектори абсорбери - а) ва рефлектори - б), ҳамда унинг умумий кўриниши

Ҳисоблашлар натижалари. Коллектор иссиқлик кўрсаткичларини аниқлаш учун ишлаб чиқилган модел ёрдамида сонли ҳисоблашлар амалга оширилди ва натижалар 18-расмда келтирилган.

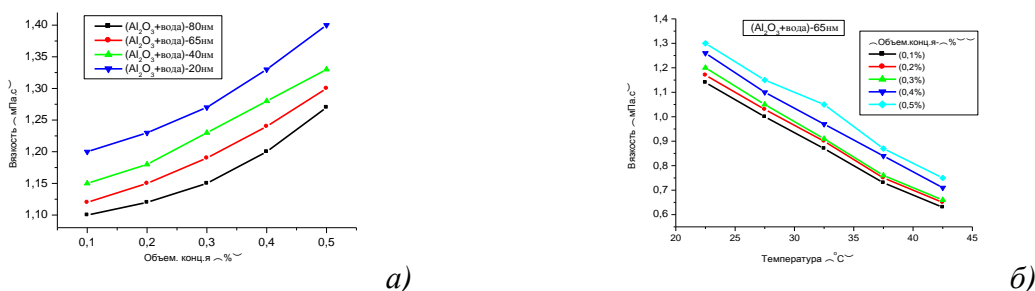
18-расм а) ва б) графиклардан кўринадикки, қуёш нурланиши оқим зичлиги ва атроф муҳит температурасининг мос қийматларида, абсорбернинг ва коллектор чиқишида иссиқлик ташувчининг максимал температуралари мос равишда 50°C ва 70°C ни ташкил этади.



18-расм. Кун давомиди абсорбер - ($T_{гс}$) ва коллектор чиқишидаги иссиқлик ташувчи ($T_{с}$) температураларининг ўзгариши

Тажрибавий тадқиқотлар. Шаффоф қоплама сифатида ҳарорат диапазони -40°C дан $+120^{\circ}\text{C}$ гача, максимал иссиқликдан кенгайиши ($\Delta T=80^{\circ}\text{C}$ да) $2,5\text{мм/м}$ ни ташкил этувчи, нур ўтказувчанлиги $70\text{-}82\%$ бўлган поликарбонат қўлланилди.

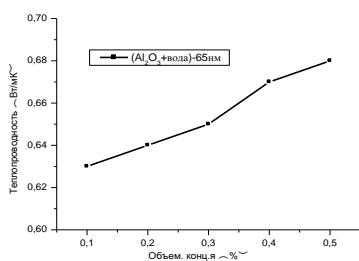
Полимер материал асосидаги наносуюқликли қуёш коллекторининг кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси иссиқлик кўрсаткичларига таъсири ўрганилди. ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{сув}$) наносуюқлиги иссиқлик физикавий хоссалари. ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{сув}$) наносуюқлиги қовушқоқлиги $22,5^{\circ}\text{C}$ дан 45°C гача температура диапазонида ўлчанди.



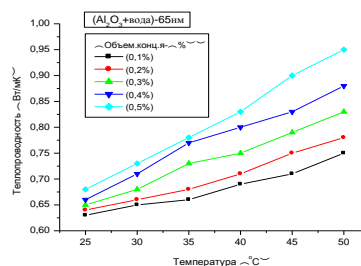
19-расм. ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{сув}$) наносуюқлиги қовушқоқлигининг ҳажмий концентрацияга -а) ва температурага -б) боғлиқ ҳолда ўзгариши

19-расм а) да кўрсатилганидек, 20нм ўлчамли нанозаррачалар асосидаги, $0,1\%$ ҳажмий концентрацияли наносуюқлик қовушқоқлиги $1,20\text{мПа}\cdot\text{с}$ ни ташкил этиб, бу қиймат нанозаррачалар ўлчами 80нм бўлганда $1,10\text{мПа}\cdot\text{с}$ гача пасаяди. 19-расм б) да эса 65нм ўлчамли нанозаррачалар асосидаги, $0,5\%$ концентрацияли ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{сув}$) наносуюқлиги қовушқоқлиги $27,5^{\circ}\text{C}$ температурада сувнинг қовушқоқлигига нисбатан $27,47\%$ га ортади.

Иссиқлик ўтказувчанлик. 20-расм а) да кўрсатилганидек, 65нм ўлчамли нанозаррачали ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{сув}$) наносуюқлиги иссиқлик ўтказувчанлиги, $0,5\%$ ҳажмий концентрацияда $11,2\%$ га етади. 20-расм б) да температуранинг 25°C дан 50°C гача ортишида 65нм ўлчамли нанозаррачали ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{сув}$) наносуюқлиги иссиқлик ўтказувчанлигининг ортиши тасвирланган.



a)

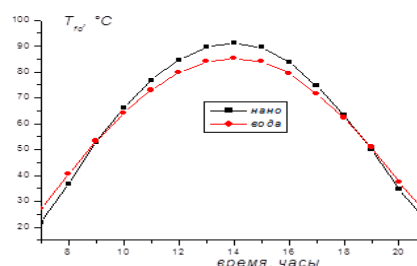


б)

20-расм. (Al_2O_3 +сув) наносуюқлиги иссиқлик ўтказувчанлигининг ҳажмий концентрацияга -a) ва температурага - б) боғлиқлиги

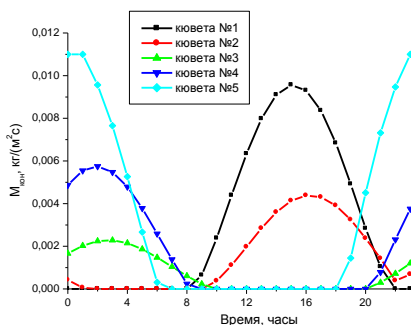
Наносуюқликлар иссиқлик физикавий хоссаларини инобатга олиб, кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси иссиқлик кўрсаткичларини аниқлаш бўйича сонли ҳисоблашлар амалга оширилди.

21-расмда қуёш коллектори чиқишида сув ҳамда наносуюқлик ҳароратларининг кунлик ўзгариши қиёсий қийматлари тасвирланган. Қуёш нурланиши оқим зичлигининг максимал қийматида ҳароратлар фарқи $7^{\circ}C$ гача боради.

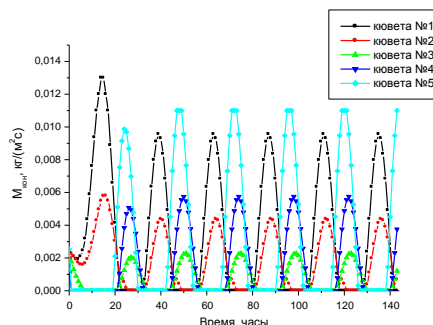


21-расм. Сув ва наносуюқлик ҳароратлари кунлик ўзгариши

22-расмда наносуюқликли иссиқлик ташувчига эга полимер қуёш коллекторидан фойдаланганда кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси ҳар бир босқичидан чиқувчи конденсат миқдорининг кунлик a) ва ҳафталик б) ўзгариши тасвирланган.



a)



б)

22-расм. Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаси ҳар бир босқичидан чиқувчи конденсат миқдорининг кунлик - a) ва ҳафталик -б) ўзгариши

22-расмдан кўринадики, қурилманинг инерцияси ҳисобига конденсация жараёни ёки конденсат ҳосил бўлиши Қуёш ботгандан сўнг ҳам, яъни кечги пайта ҳам давом этади.

Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмасининг, иссиқлик ташувчиси сув бўлган қуёш коллектори ва янги наносуюқликли иссиқлик ташувчига эга полимер қуёш коллекторидан фойдалангандаги, ишлаб-чиқариш қуввати ва иссиқлик самарадорлигини қиёсий таҳлил қилиш шуни кўрсатдики, иккинчи ҳолатда унумдорлик 15-20% га ошади, тан нархи эса икки баробарга пасаяди.

Диссертациянинг «Тескари осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиш қурилмалари» деб номланган тўртинчи бобида тескари осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиш қурилмалари энергетик кўрсаткичларини ҳисоблаш услубини ишлаб чиқиш ва уларнинг унумдорлигини аниқлаш бўйича тадқиқотлар натижалари, мазкур қурилма энергетик ва эксплуатацион кўрсаткичларини оптималлаштириш ва тегишли қисмларини танлаш бўйича ҳисобий-тажрибавий тадқиқотлар натижалари, шунингдек унумдорлиги 100 литр/кун бўлган тажриба нусхасида ўтказилган тажрибалар натижалари ҳамда қурилманинг қуёш иссиқлик ва фотоэлектрик ўзгарткичларга эга янги конструкцияси бўйича маълумотлар баён қилинган.

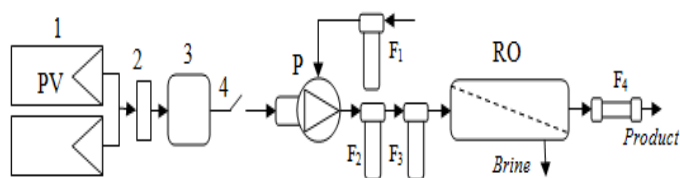
Тескари осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиш қурилмалари замонавий конструкциялари таҳлили. Мазкур турдаги қуёш сув чучутиш қурилмалари энергия таъминотига кўра уч гуруҳга бўлинади: 1) қуёшли Ренкин цикли асосида ишловчи тизимлар; 2) қуёш фотоэлектрик ўзгарткичлар ҳисобига ишловчи тизимлар; 3) бирлашган манбалардан (хусусан, шамол турбинаси ва қуёш фотоэлектрик станцияси) олинadиган энергия ҳисобига ишловчи тизимлар.

Ренкин циклида ишчи суюқлик сифатида сув ёки органик таркибли суюқлик ишлатилади, ваҳолангки бошқа турдаги органик ва ноорганик суюқликлар ҳам қўлланиши мумкин. Ренкин циклида органик ишчи суюқликларнинг афзаллиги шундаки, улар паст ҳароратларда ишлайди. Қуёш фотоэлектрик ўзгарткичлар ҳисобига ишловчи тизимлар жамлагичлар билан ёки уларсиз, ҳамда энергияни регенерация қилиш блокига эга бўлиши мумкин. Мазкур тизимлар бошқа сув чучутиш услубларига нисбатан энергияни кам сарфлайди.

Қуёш ва шамол энергиясидан биргаликда фойдаланувчи тизимлар ҳудуднинг муайян шароитларида бундай тизимлар техник ва иқтисодий кўрсаткичлари жиҳатдан бошқаларига қараганда афзалроқдир.

Дунё амалиёти ва маҳаллий бозорни таҳлил қилиш асосида, шунингдек, табиий, метеорологик ва техник-иқтисодий омилларни ҳисобга олган ҳолда, унумдорлиги 100 литр/кун бўлган, узоқ ҳудудлар аҳолисини тоза ичимлик суви билан таъминлаш учун автоном тизим сифатида, қуёш фотоэлектрик ўзгарткичга эга, тескари-осмос жараёнига асосланган сув чучутиш қурилмасининг янги конструкцияси ишлаб чиқилди.

Қурилманинг принципаал схемаси 23-расмда тасвирланган. Қурилма иккита асосий қисмга эга: *энерготаъминот* - фотоэлектрик панел, контроллер, аккумулятор ва калитдан иборат; ҳамда *чучутиш* - бусстер насоси, 3 та дастлабки филтрлар, мембрана ва сўнги филтрга эга 5 босқичли тескари осмос тизими.



23-расм. Тескари-осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиш қурилмаси принципаал схемаси:

1-фотоэлектрик панел; 2-контроллер; 3-Аккумулятор; 4-калит; P-бусстер насоси; 5-тескари осмос тизими; F₁, F₂, F₃ дастлабки филтрлар; F₄-сўнги филтр.



**24-расм. Қурилма тажрибавий нусхаси
умумий кўриниши⁷**

Тескари-осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиши қурилмаси тажриба нусхасининг тавсифи ва ишлаш принципи. Унумдорлиги 100 литр/кун бўлган қурилманинг тажрибавий нусхаси умумий кўриниши 24-расмда тасвирланган. Тизимни самарали йиғиш учун қурилма қисмларини танлашда техник муҳандислик ҳисоблашлар амалга оширилди.

Қурилма тажрибавий нусхаси қуйидаги қисмлардан тузилган: максимал қуввати 50Вт бўлган қуёш фотоэлектрик панели, аккумулятор (24В , $8\text{А}\cdot\text{ч}$), бусстер насоси (кучланиш 24В , ўзгармас ток 0.6А , оқим тезлиги $50\text{-}60\text{л/соат}$, босим $345\text{-}550\text{кПа}$). Сув тўғридан-тўғри манбадан ёки ер ости сув ҳавзасидан олинади.

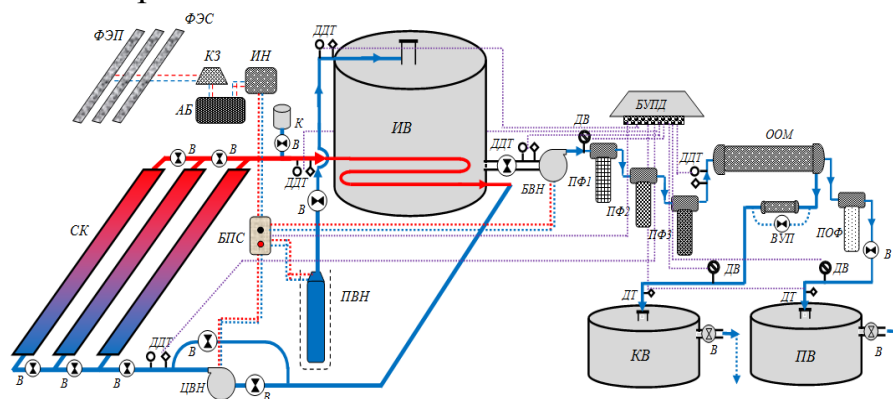
Қурилма қуйидаги умумий ўлчамларга эга: $125\text{-}60\text{-}60\text{см}$ йиғилган ҳолатда, вазни $35\text{-}40\text{ кг}$ атрофида. Кўчириш бино ичида ва ташқарисида ишлатишга қулай, фақат қуёш панели юзасига қуёш нурланиши тушишини таъминлаш лозим бўлади.

Тескари-осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиши қурилмаси иш режимини температурага боғлиқ равишда оптималлаштириши. 24-расмда келтирилган фотоэлектрик ўзгаргичга эга тескари-осмос жараёнига асосланган сув чучутгич қурилмасининг энергетик таҳлили натижасида умумий энергетик йўқотишларнинг 21% га яқини мембрана модулида юз бериши аниқланди. Бу ерда ҳарорат диапазони муҳим аҳамият касб этади. Бунинг асосий сабаби шундаки, ҳарорат ортиши билан шўр сувнинг қовушқоқлиги пасаяди, натижада ғовақлардан ўтиш янада юмшоқлашади ва бу энергетик йўқотишлар камайишига олиб келади. Сувнинг динамик қовушқоқлиги 20°C ҳароратда тақрибан $1,0\text{ мПа}\cdot\text{с}$. ни ташкил этса, бу кўрсаткич 40°C ҳароратда $0,65\text{ мПа}\cdot\text{с}$. гача пасаяди, яъни 35% га, бу эса гидравлик йўқотишларни камайишига олиб келади. Натижада бу мембрана орқали бўлаётган сув оқими учун сарфланаётган энергия миқдорининг камайишига олиб келади.

Тажрибавий тасдиғини олиш учун тегишли тажрибалар амалга оширилди, натижада ҳарорат ортиши билан насос қувватининг пасайишига мембрана орқали сув оқимининг ортиши, яъни 10°C ҳароратда 16л/соат дан, 40°C да 24л/соат гача ортиши кузатилди. Шунингдек, тажрибалар натижаси сув температурасининг 20°C дан 40°C гача ортганида ҳажм бирлигидаги сув учун сарфланаётган энергия сарфи $2,1\text{кВт}\cdot\text{ч/м}^3$ дан $1,65\text{кВт}\cdot\text{ч/м}^3$ гача, яъни 22% га камайишини кўрсатди.

⁷Автономная водоопреснительная установка. № FAP 00891, 28.03.2014г.

Юқоридагиларни инобатга олган ҳолда, тескари-осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиш қурилмаси конструкциясининг 25-расмда тасвирланган янги принципиал схемаси ишлаб чиқилди.



25-расм. Қуёш иссиқлик ва фотоэлектрик ўзгартгичлар билан жиҳозланган, тескари осмос жараёнига асосланган, қуёш сув чучутиш қурилмаси принципиал схемаси:

ФЭС - фотоэлектрик станция; ФЭП - фотоэлектрик панел; КЗ - контроллер; ИН - инвертор; АБ - аккумулятор; БПС - ҳисоблагич ва калитли блок; ЦВН - сув насоси; БВН - бустер сув насоси; ПВН - сув насоси; СК - қуёш коллектори; В - бурагич; К - компенсатор; ИВ - сув (манба); КВ - шур сув; ПВ - чучук сув; ПФ - дастлабки филтр; ПОФ - сунги филтр; ООМ - мембрана; ДДТ - босим ва ҳарорат датчиги; ДВ - сув улчагич; БУПД - бошқариш ва маълумотларни узатиш блоки.

Мазкур қурилмада мембранага берилувчи шўр сувни қуёш коллектори ёрдамида дастлабки иситиш босқичидан ўтказилади. Бундай схема ёрдамида оптимал ишчи ҳарорат таъминланади, яъни паспорт маълумотларига асосан, ўзгариш диапазони 25°C дан 35°C гача бўлган мембрана модулидаги ҳароратнинг оптимал қиймати таъминланади.

Сувнинг сифат таҳлили. Ишлаб чиқилган, тескари осмос жараёнига асосланган қуёш сув чучутиш қурилмаси ёрдамида олинган чучук сув сифати таҳлили амалга оширилди. Республиканинг турли ҳудудларидан шўр сув намуналари (ер ости ресурсларидан) тўпланиб, чучуклаштиришгача ва қурилма ёрдамида чучуклаштирилгандан сўнг намуналар Бухоро вилояти СЭОМга жўнатилди ва ўрнатилган тартибда сув сифати бўйича ўлчаш ва таҳлиллар амалга оширилди, тегишли маълумотномалар олинган.

Диссертациянинг «Қуёш сув чучутиш қурилмаларининг техник-иқтисодий ва экологик кўрсаткичлари» деб номланган бешинчи боби қаралаётган қуёш сув чучутиш қурилмалари техник-иқтисодий ва экологик кўрсаткичлари таҳлилига бағишланган. Ҳисоблашлар хомашё, материаллар ва маҳаллий бозорда мавжуд қисмлар, шунингдек қурилмани яратиш учун талаб этиладиган харажатларни ҳисобга олган ҳолда амалга оширилди. Шу билан бирга, марказлашган ичимлик суви таъминоти тизимига уланмаган ҳамда турли хил етказиб бериш усуллари ёрдамида таъминланаётган, ҳудудларда ичимлик сувининг нархи ҳам инобатга олинган.

Натижалар шуни кўрсатдики, парниксимон қурилма учун қоплаш муддати 0,2 дан 1,1 йилгачани ташкил этди. Кўп босқичли қурилма учун дастлабки харажатлар миқдори кўпроқ бўлгани сабабли, ушбу кўрсаткич парниксимон

қурилмага нисбатан узоқроқ бўлиб, 0,36 дан 1,5 йилгачани ташкил этади. Тескари осмос жараёнига асосланган қурилма учун эса, дастлабки харажатлар миқдори кўп бўлишига қарамасдан, қурилманинг унумдорлиги бошқалардан юқорилиги ҳисобига, ушбу кўрсаткич 0,13 дан 0,48 йилгачани ташкил этади.

Қуёш сув чучутиш қурилмаларининг экологик кўрсаткичлари. Қуёш сув чучутиш қурилмаларидан ичимлик суви таъминоти тизимида фойдаланиш анъанавий ёқилғи-энергетик ресурсларни тежаш билан бир қаторда атроф муҳитга CO₂ оқимини камайтириш имконини яратади. Тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатадики, парник типигадаги қуёш сув чучутгичидан фойдаланиш ҳисобига атроф муҳитга CO₂ оқимининг камайиши, мос равишда, кўмирдан фойдаланишга қараганда йилига 400кг дан 467кг гача, газдан фойдаланишга нисбатан эса йилига 113кг дан 132 кг гача миқдорни ташкил этади. Бу кўрсаткич кўп босқичли чучутгич учун, мос равишда, кўмирдан фойдаланишга қараганда йилига 935кг дан 1002кг гача, газдан фойдаланишга нисбатан эса йилига 265кг дан 284кг гача миқдорни ташкил этади. Тескари осмос жараёнига асосланган қурилма учун эса мазкур кўрсаткич, кўмирдан фойдаланишга қараганда йилига 6679кг дан 13358кг гача, газдан фойдаланишга нисбатан эса йилига 1894кг дан 3787кг гача миқдорни ташкил этади.

Қаралаётган қуёш сув чучутиш қурилмалари қоплаш муддатларини аниқлаш бўйича олинган натижалар асосида қуйидаги хулосага келиш мумкин. Ҳозирги шароитда чекка ҳудудлар аҳолиси учун ичимлик суви сифатини ошириш мақсадида, қуёш сув чучутиш қурилмаларини яратиш ва улардан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан рентабел ҳисобланади. Шу билан бирга юқорида қаралган қуёш сув чучутиш қурилмаларини яратиш ва улардан аниқ шароитларда фойдаланиш бўйича қўшимча таҳлил олиб бориш мақсадга мувофиқ ҳисобланади.

ХУЛОСА

Тадқиқот натижаларига кўра қуйидаги асосий хулосалар чиқарилди:

1. Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмаларида юз берувчи иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини ҳисобга олган ҳолда, эксергетик баланс асосида, уларнинг иссиқлик режимлари математик модели ишлаб чиқилди, натижада мазкур қурилма ишлаб-чиқариш қувватининг температурага боғлиқлиги аниқланди, уларнинг иссиқлик самарадорлигини аниқлаш бўйича сонли ҳисоблашлар амалга оширилди.

2. Қуёш иссиқлик қурилмаларида, шунингдек қаралаётган қуёш сув чучутиш қурилмаларида уларнинг температура режимлари 40°C дан 90°C гача диапазонда ўзгариши аниқланди ва уларда иссиқлик ташувчи сифатида ишлатиш мақсадида оксид материаллар (SiO₂ ва Al₂O₃) нанозаррачалари асосидаги наносуюқликлар таклиф этилди.

3. Қаралаётган қуёш сув чучутиш қурилмасида иссиқлик манбаи сифатида ишлатиш учун полимер материаллар (полиамид ва поликарбонат)га асосланган ҳамда наносуюқликли иссиқлик ташувчига эга қуёш коллекторининг янги

конструкцияси ишлаб чиқилди, наносуюқликларнинг иссиқлик физикавий хусусиятларини инобатга олган ҳолда мазкур коллектор иссиқлик кўрсаткичларини аниқлаш бўйича ҳисоблашлар бажарилиб, натижада қуёш нурланиши оқим зичлиги ва температурага ҳамда нанозаррачалар концентрациясига боғлиқ равишда иссиқлик узатишнинг 12% дан 22% гача ортиши аниқланди.

4. Кўп босқичли қуёш сув чучутиш қурилмасининг такомиллаштирилган, наносуюқликли иссиқлик ташувчига эга полимер қуёш коллектори билан жиҳозланган, иссиқлик самарадорлиги 15% га ошган, янги конструкцияси ишлаб чиқилди ва тажриба нусхаси яратилди, натижада ишлаб-чиқариш қуввати ҳар бир кв.м. юзадан 8,0 литрни ташкил этиши аниқланди.

5. Илк бор тескари осмос жараёнига асосланган, қуввати 50Вт бўлган қуёш фотоэлектрик ўзгарткич билан жиҳозланган, қуёш сув чучутиш қурилмасининг янги конструкцияси ишлаб чиқилди. Натижада ишлаб-чиқариш қуввати кунига 100 литрни ташкил этувчи қурилманинг тажрибавий нусхаси яратилди.

6. Тескари осмос жараёнига асосланиб ишловчи қуёш сув чучутиш қурилмасида сувнинг температурасига боғлиқ равишда, мембрана модулида юз берувчи энергия йўқотишлари қурилма умумий энергия сарфининг 21% ни ташкил этиши ва қурилманинг температурага боғлиқ бўлган мақбул (25°C-35°C диапазонда) иш режимлари аниқланди, натижада қурилма конструкциясининг қуёш иссиқлик ва фотоэлектрик ўзгарткичлардан фойдаланувчи янги принципаал схемаси ишлаб чиқилди.

7. Ишлаб чиқилган қуёш сув чучутиш қурилмаларининг техник-иқтисодий ва экологик кўрсаткичларини ҳисобга олган ҳолда улардан фойдаланиш мақсадга мувофиқлиги асосланди. Мазкур қурилмалар қоплаш муддатлари, конструкциясига боғлиқ равишда 0,2 дан 1,5 йилгача муддатни ташкил этади. Улардан фойдаланиш атроф муҳитга CO₂ оқимини йилига 13358кг гача камайтиришга олиб келиши аниқланди. Мазкур қурилмалардан республиканинг чекка ҳудудларида автоном ичимлик суви таъминоти тизими сифатида фойдаланиш иқтисодий рентабел ҳисобланади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/27.022020.FM/T.110.01
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ПРИ НПО «ФИЗИКА-СОЛНЦЕ» АН РУз**

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

АХАТОВ ЖАСУРЖОН САИДОВИЧ

**ОПРЕСНЕНИЕ СОЛЕННЫХ ВОД В СИСТЕМАХ ПИТЬЕВОГО
ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВЫХ И
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

**05.05.06 - Энергоустановки на основе возобновляемых
видов энергии**

**АВТОРЕФЕРАТ
ДОКТОРСКОЙ (DSc) ДИССЕРТАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора наук (DSc) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2017.1.DSc/T44.

Диссертация выполнена в Физико-техническом институте Академии наук РУз.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета (www.fti.uz/) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net/uz).

Научный консультант: **Лутпуллаев Сагдулла Лутфуллаевич**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Искандаров Зафар Самандарович**
доктор технических наук, профессор

Кенжаев Идирисбек Гуламович
доктор технических наук, профессор

Рахимов Рустам Хакимович
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Ведущая организация: **Каршинский инженерно-экономический институт**

Защита состоится «___» _____ 2021 г. в ___ часов на заседании Научного совета DSc.02/27.02.2020.FM/T.110.01 при НПО «Физика-Солнце» АН РУз. Адрес: Ул. Чингиза Айтматова 2б. 100084, г.Ташкент, Узбекистан. Административное здание Физико-технического института, зал конференций. Тел./Факс: (+99871)235-42-91, e-mail: info.fti@uzsci.net.

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Физико-технического института (зарегистрирован за №___). Адрес: Ул. Чингиза Айтматова 2б. 100084, г.Ташкент, Узбекистан. Физико-технический институт. Тел./Факс: (+99871)235-42-91.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2021 года
(протокол рассылки ___ от _____ 2021 года).

Р.А. Захидов

Вр.и.о. Председатель научного совета по присуждению ученых степеней д.т.н., профессор, академик

Н.Ш.Саидхонов

Вр.и.о. Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней д.ф.-м.н., старший научный сотрудник

М.Н. Турсунов

и.о. Председателя научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., старший научный сотрудник

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (DSc) диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в настоящее время одной из глобальных проблем является обеспечение населения качественной питьевой водой. Согласно данным ООН¹, в засушливых регионах Земли проживают более 1млрд. чел., а дефицит воды испытывают 1/3 населения планеты более чем в 50 странах мира. Вместе с другими способами решения данного вопроса, опреснение соленых вод является реальной технической задачей, при реализации которой необходимо учитывать энергопотребность различных технологий. Научные исследования, направленные на разработку и создание автономных систем питьевого водоснабжения для населения отдаленного от централизованных систем энергообеспечения и питьевого водоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии имеет важное значение. Поскольку, использование возобновляемых источников энергии, в том числе солнечной энергии, приводит к экономии углеводородных топливно-энергетических ресурсов и к улучшению социального состояния населения регионов. В данной сфере интенсивно ведутся исследования по широкому использованию солнечных тепловых и фотоэлектрических преобразователей для опреснения соленых вод, с применением различных методов опреснения.

В мировой практике большое внимание в этой области уделяется повышению эффективности процессов опреснения, с учетом различных его технологий. Среди этих технологий метод обратного осмоса имеет лидирующую позицию с долей 60%, а многоступенчатая дистилляция вторую позицию с 26,5%-й долей от общей уставленной мощности². Если общая установленная мощность опреснительных установок в 2017году составляло 79 миллионов м³ в день, к 2019 году достигло 97,4 миллионов м³ в день³. Актуальными задачами в этой сфере считаются научные исследования, направленные на разработку водоопреснительных установок, работающих за счет возобновляемых источников энергии.

В Узбекистане большое внимание уделяется развитию инновационных технологий в сфере использования возобновляемых источников энергии, в том числе в разработке и создании солнечных опреснительных установок, разработке научно-инженерных основ моделирования тепло-и массообменных процессов в них, оптимизации их конструктивных и теплотехнических параметров, а также повышению их эффективности при использовании в системах питьевого водоснабжения. В данном направлении, в частности, в разработке и создании новых поколений солнечных опреснительных установок, с использованием современных материалов, а также с комбинированным использованием солнечных тепловых и фотоэлектрических преобразователей в целях повышения тепловой эффективности и производительности автономных

¹ World Water Resources and their Use, UNESCO. URL: <http://www.unesco.org>

² International Desalination Association (IDA) Year Book -2016-2017. URL: [//www.idadesal.org](http://www.idadesal.org)

³ International Desalination Association (IDA) Year Book -2018-2019. URL: [//www.idadesal.org](http://www.idadesal.org)

систем питьевого водоснабжения, достигнуты значительные результаты. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах отмечены задачи⁴ «...широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии...». Реализация этих положений, в том числе, по повышению производительности и эффективности солнечных опреснительных установок, а также оптимизация их теплотехнических параметров считаются важнейшими задачами.

Данное диссертационное исследование в определенной степени соответствует задачам, предусмотренным в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-2910 от 20 апреля 2017 года «О Программе комплексного развития и модернизации систем питьевого водоснабжения и канализации на 2017-2021 гг.», № ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сферы на 2017-2021 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Исследования в рамках данной диссертационной работы выполнены в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан: IV. «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологии, фотоники и других передовых технологий».

Обзор международных научных исследований по теме диссертации⁵.

Научные исследования по разработке, моделированию тепло и массообменных процессов, оптимизации теплотехнических характеристик солнечных опреснительных установок проводятся во многих научно-исследовательских центрах мира: Университет Аризона, Висконсинский университет, Университет южной Флориды (США), Исследовательский центр имени М.В. Келдыша, Кубанский государственный университет (Россия), Фраунгоферовский институт, Университет Ахена, Университет прикладных наук Карлсруэ (Германия), Автономный университет Мадрида, Научный центр

⁴ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

⁵ Обзор международных научных исследований по теме диссертации выполнен на основе следующих источников: Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. санг. – Долгорудный: Издательский дом «Интеллект», 2013. –С. 888; A review of the water desalination systems integrated with renewable energy”, Energy Procedia, Vol. 110, pp. 268-274, 2017; Present status of Solar Distillation. Solar Energy 75 (2003) 367-373; Multi-objective optimization of solar Rankine cycles coupled with reverse osmosis desalination considering economic and life cycle environmental concerns. Desalination 2012, 286, 358–371; Renewable energy-driven desalination technologies: A comprehensive review on challenges and potential applications of integrated systems”, Desalination, Vol. 356, pp. 94–114, 2015; <https://idadesal.org>; <https://irena.org>; <http://www.ren21.net>; <http://www.edsoc.com>; <http://www.iwmi.cgiar.org> и др.

Plataforma solar de Almeria at CIEMAT (Испания), Эдинбургский университет, Манчестерский университет (Великобритания), Технион - технологический университет Израиля (Израиль), Ближневосточный технический университет (Турция), Институт электротехники Китайской академии наук (Китай), Токийский технологический институт (Япония), Национальный центр солнечной энергии (Индия), НПО «ГУН» (Туркменистан), НПО «Физика-Солнце» АН РУз (Узбекистан) и других.

В результате выполненных исследований по разработке и созданию солнечных опреснительных установок в мире получен ряд научных результатов, в том числе разработаны и созданы солнечные опреснительные установки с пирамидообразным светопрозрачным покрытием (Университет Южной долины, Египет), разработаны солнечные опреснительные установки, комбинированные с выпарными установками (Университет Аризона, США; Университет Ганновера, Германия), разработаны солнечные коллекторы, работающие по принципу DASC – «Direct absorption solar collector», с использованием наножидкостей, результаты которых показали значительное увеличение их КПД (Университет Нового Южного Уэльса Австралия). Разработаны солнечные обратно-осмотические опреснители на основе цикла Ренкина (Высший технический институт, Кипр; Университет Ла Лагуна, Тенерифе, Испания), разработаны и созданы обратно-осмотические системы с фотоэлектрическими преобразователями (Центр возобновляемых источников энергии (CRES), Греция; Технологический институт Карлсруэ, Германия), разработаны комбинированные обратно-осмотические системы работающие за счет энергии ветра и солнечного излучения (Афинский сельскохозяйственный университет, Греция).

В мире в настоящее время проводятся научные исследования по разработке и созданию опреснительных установок, работающих за счет энергии солнечного излучения с эффективным использованием солнечных тепловых и фотоэлектрических преобразователей, с учетом специфики местоположения, топографии и технических возможностей ресурсов ВИЭ.

Степень изученности проблемы. До настоящего времени вопросы, касающиеся теплового преобразования энергии солнечного излучения и использования ее для опреснения воды, изучались в Центре энергетических исследований Индийского технологического института (Индия), где разработан метод теплового расчета и определение производительности и тепловой эффективности солнечных опреснительных установок; в Ближневосточном исследовательском центре опреснения (Оман), где разработана математическая модель рабочего режима одноступенчатой солнечной опреснительной установки с переливом соленой воды между слоями двухслойного светопрозрачного ограждения; в Университете Мердока (Австралия), где выполнены работы по определению оптимальных параметров, влияющих на эффективность и стоимость установок, как ориентация коллектора и глубина соленой воды в поддоне опреснительной установки, толщина изоляции донной части опреснителя и др.

При разработке солнечных водоопреснительных установок различной конструкции, исследованиях их теплотехнических, экологических и экономических характеристик расчетным и экспериментальным путем, достигнуты существенные успехи учеными, среди которых следует отметить В.Б. Вейнберга, В.В. Вейнберга, К.Т. Трофимова, В.А. Баума, Г.Я. Умарова, П.М. Брдлика, Р.Б. Байрамова, А.Н. Текучева, Авезова Р.Р., Б.М. Ачилова, А.Б.Вардияшвили, Т.Д. Жураева, Ш.И. Клычева, А.Исманжанова и др.

В научных исследованиях в этой области, несмотря на многочисленные работы по созданию различных конструкций солнечных опреснительных установок, не уделено должное внимание вопросам касающимся регенеративного использования теплоты с помощью многоступенчатых систем, что приводит к определенному увеличению их производительности. В этих исследованиях практически не рассмотрены задачи, связанные с интенсификацией процессов теплоотдачи в опреснительных установках за счет использования наножидкостных теплоносителей. Также недостаточно изучено комбинированное использование солнечных тепловых и фотоэлектрических преобразователей для обеспечения эффективной работы и повышения производительности солнечных опреснительных установок.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ. Исследование выполнено в рамках заданий Физико-технического института Академии наук Республики Узбекистан: -А13-Ф-096 «Разработка и создание опытного образца солнечной водоопреснительной установки работающей по методу обратного осмоса» (2009-2011 гг.); -М/Узб-КНР-19/2015 «Исследование теплофизических свойств наножидкостных теплоносителей и их влияния на теплотехнические характеристики низкопотенциальных солнечных установок» (2016-2017 гг.) и ФА-Атех-2018-422 «Разработка технологии получения и эффективного использования наножидкостных теплоносителей в солнечных тепловых преобразователях» (2018-2020 гг.).

Целью исследования является моделирование тепло и массообменных процессов в солнечных опреснительных установках, разработка способов повышения их эффективности, определение их теплотехнических и технико-экономических характеристик, а также оптимальных режимов работы.

Задачи исследования:

моделирование тепло и массообменных процессов, происходящих в соответствующих узлах многоступенчатых солнечных опреснителей, определение их теплотехнических характеристик на основе эксергетического анализа;

разработка и создание опытных образцов и проведение экспериментальных исследований по определению производительности и тепловой эффективности многоступенчатых солнечных опреснителей;

получение наножидкостей на основе наночастиц оксидных материалов и изучение их теплофизических свойств в целях их использования в качестве

теплоносителя в солнечных тепловых установках, в том числе в солнечных опреснительных установках;

разработка новой конструкции солнечного коллектора на основе полимерных материалов с использованием наножидкостных теплоносителей, используемого в качестве теплового источника многоступенчатой солнечной опреснительной установки;

разработка солнечной водоопреснительной установки, работающей по принципу обратного-осмоса, выявление основных факторов, влияющих на производительность солнечных опреснителей данного типа, создание опытного образца и проведение экспериментальных исследований по определению их производительности, оптимизации режимов их работы;

анализ технико-экономических и экологических характеристик рассматриваемых солнечных опреснительных установок при их использовании для питьевого водоснабжения.

Объектом исследования являются солнечные тепловые (многоступенчатые с наножидкостным теплоносителем) и обратно-осмотические (с применением солнечных фотоэлектрических преобразователей) опреснительные установки.

Предметом исследования являются закономерности процессов теплового преобразования солнечной энергии, а также тепло и массообменные процессы, протекающие в соответствующих узлах солнечных водоопреснительных установок.

Методы исследований. Для решения поставленных задач были использованы методы моделирования процессов теплового преобразования энергии солнечного излучения и тепло и массообмена, в результате численной реализации которых определяются тепловая эффективность и производительность солнечных опреснительных установок. Для определения основных теплотехнических, технико-экономических и экологических характеристик рассматриваемых солнечных опреснительных установок использованы результаты теплового моделирования, проведение экспериментов в натуральных условиях и обработка данных.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана математическая модель тепловых режимов многоступенчатых солнечных опреснительных установок для определения их производительности на основе эксергетического анализа, с учетом процессов тепло-и массопереноса в них в зависимости от температуры;

получены наножидкости на основе наночастиц оксидных материалов (SiO_2 и Al_2O_3) и определены их теплофизические свойства (вязкость и теплопроводность), в целях их использования в качестве теплоносителя в солнечных опреснителях, с учетом их температурных режимов в диапазоне от 40°C до 90°C ;

разработана новая конструкция солнечного коллектора на основе полимерных материалов (полиамид и поликарбонат) с наножидкостным

теплоносителем для использования в качестве теплового источника в солнечном опреснителе;

разработана новая усовершенствованная, с тепловой эффективностью больше на 15% по сравнению с существующими аналогами, и экономически рентабельной конструкции многоступенчатой солнечной опреснительной установки, а также создан его опытный образец;

впервые разработана новая конструкция автономной, мобильной солнечной опреснительной установки, основанное на принципе обратного осмоса, и работающий за счет солнечных фотоэлектрических преобразователей, создан опытный образец установки;

установлены оптимальные режимы работы солнечных обратно-осмотических установок в зависимости от температуры в диапазоне 25°C-35°C, и на этой основе разработана новая принципиальная схема конструкции установки с использованием солнечных тепловых и фотоэлектрических преобразователей;

обоснована целесообразность использования разработанных солнечных опреснительных установок в качестве автономных систем питьевого водоснабжения в отдаленных регионах республики, исходя их технико-экономических (сроки окупаемости составляют от 0,2 до 1,5 года) и экологических (с уменьшением выбросов CO₂ в окружающую среду до 13358кг в год) характеристик.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана конструкция и создан опытный образец многоступенчатой солнечной водоопреснительной установки с использованием полимерного солнечного коллектора с наножидкостным теплоносителем;

получены наножидкостные теплоносители на основе наночастиц SiO₂ и Al₂O₃ в качестве теплоносителя в солнечных тепловых установках, которые применены в том числе в солнечных опреснителях;

разработана и создана солнечная водоопреснительная установка, основанная на принципе обратного осмоса, с производительностью 100 литров в день, которая успешно прошла испытания в натуральных условиях, и эта технология передана для организации серийного производства.

Достоверность результатов исследований подтверждается использованием данных, полученных и обработанных с помощью современных средств измерения, применением современных методов теплового расчета и моделирования теплотехнических параметров солнечных опреснительных установок, методов сбора и обработки данных, хорошим совпадением результатов расчетных и экспериментальных исследований.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость исследований заключается в том, что результаты исследования вносят определенный вклад в развитие методов теплового расчета и оптимизации оптических, теплотехнических, энергетических и экологических характеристик солнечных опреснительных установок.

Практическая значимость результатов состоит в реализации разработанных конструкций с использованием полимерных материалов и наножидкостных теплоносителей, позволяющих создать новое поколение солнечных опреснителей с уменьшением их себестоимости в два раза.

Результаты исследований по определению производительности разработанных солнечных опреснителей, и снижения выбросов CO₂ в атмосферу за счет их применения, могут быть использованы соответствующими государственными и частными организациями при реализации различных проектов, направленных на экономию традиционных топливно-энергетических ресурсов и снижению выбросов CO₂ в окружающую среду за счет использования солнечной энергии.

Внедрение результатов исследования.

На основе результатов исследований по усовершенствованию тепловых характеристик многоступенчатых солнечных опреснительных установок:

Выполнены исследования в рамках проекта «Усовершенствование установок возобновляемой энергии и исследование моделирования процессов происходящее в них» выполненного в Бухарском государственном университете (Справка Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 89-03-5138 от 09.12.2020г.). В результате определены производительности многоступенчатых солнечных опреснителей при натуральных условиях Бухарской области.

Результаты исследований по получению наножидкостей на основе наночастиц SiO₂ и Al₂O₃ и изучению их теплофизических свойств в целях их использования в качестве теплоносителей в солнечных опреснительных установках были использованы при выполнении фундаментального проекта «Явления переноса и фазовые переходы в наножидкостях» выполненное в Институте ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз. (Справка АН РУз № 2/1255-2763 от 09.12.2020г.), что позволило определить коэффициент теплоотдачи наножидкости на основе наночастиц диоксида кремния и воды, в качестве базовой жидкости, при различных концентрациях и температур.

Результаты по разработке и созданию новой конструкции и исследованию технических характеристик и производительности солнечной водоопреснительной установки, основанной на принципе обратного осмоса, были использованы в зарубежных исследованиях [Desalination, 353, 57-74, 2014, IF:7,09; Sustainable Energy Technologies and Assessments, 42, 2020, Article ID 100884, IF:3,4; Renewable and Sustainable Energy Reviews, 97, 456-477, 2018, IF:12,11; Energy, 112, 164-178, 2016, IF:6,04 и т.д.], что позволило провести анализ различных конструкций, оптимизацию технико-экономических характеристик обратно-осмотических установок с фотоэлектрическими преобразователями и создание их конструкций с комбинированным использованием различных источников ВИЭ.

На основе Лицензионного Договора (№1 от 29.03.2020г.) между ФТИ АН РУз. и ООО «Solar Development Systems», передана технология по созданию «Автономной водоопреснительной установки» (№ FAP 00891 от 20.06.2014г.) в

целях организации серийного производства на производственной базе ООО «Solar Development Systems» (Справка АК «Узэлтехсаноат» №04-1/2366 от 17.12.2020 г). При организации серийного производства установки с выпуском 1000шт. в год, ожидается следующий экономический эффект: создание около 10 новых рабочих мест, производство около 30 тыс. м³ пресной воды в год. В результате использования одной солнечной опреснительной установки расходы на покупку питьевой воды сократятся до 15 млн. сумов в год. Также за счет использования солнечной энергии выбросы CO₂ в окружающую среду, уменьшатся до 13358 кг/год при использовании угля, и до 3787 кг/год при использовании природного газа.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 8 международных конференциях и симпозиумах, а также на 4 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликованы 31 научные работы, из них 1 монография, 14 научных статей в международных (11) и республиканских (3) научных журналах, рекомендованных ВАК РУз, 13 тезисов докладов в материалах международных и республиканских конференций, получены 1 патент на полезную модель и 2 свидетельства на программные продукты для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть диссертации изложена на 187 страницах машинописного текста, содержащего 110 рисунков и 10 таблиц.

Автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность покойному профессору Р.Р.Авезову, за оказание всесторонней поддержки при выполнении исследований в рамках данной диссертационной работы, а также отмечает его роль в целом в научной деятельности автора.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект, предмет и методы исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике, приведены обзор международных научных исследований по теме диссертации, степень изученности проблемы, изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе **«Опреснение соленых вод с использованием ВИЭ: востребованность, состояние и тенденции развития»** представлены результаты анализа состояния питьевого водоснабжения, оценки ресурсов, а также прогнозные данные по ресурсам пресной воды в мире. Представлена оценка водных ресурсов и состояния питьевого водоснабжения в Узбекистане. Проанализированы современные мировые тенденции по развитию применения опреснительных установок с использованием ВИЭ. Сформулированы основные научно-технические задачи, рассматриваемые в данной диссертационной работе.

Во второй главе **«Расчетные и экспериментальные исследования по определению тепловых характеристик многоступенчатых солнечных водоопреснительных установок»** разработан способ повышения тепловой эффективности и производительности солнечных опреснительных установок путем многократного использования теплоты конденсации. Разработаны математические модели тепловых режимов многоступенчатых солнечных опреснительных установок. Выполнены численные расчеты по определению их производительности и тепловой эффективности. Разработаны и созданы опытные образцы солнечных опреснительных установок и проведены экспериментальные исследования по определению их производительности.

При создании модели расчета многоступенчатой солнечной водоопреснительной установки использована модель для парникового опреснителя с модифицированием с учетом многократности процессов испарения и конденсации. Как известно, солнечные опреснительные установки парникового типа являются тепловыми преобразователями, не производящие полезную работу в виде механической и электрической энергии, а их эксергетическая эффективность представляет собой меру необратимости оптических и тепловых процессов, протекающих в их отдельных элементах. Составляются балансовые уравнения для каждого узла, с учетом процессов тепло и массообмена определяется тепловая (эксергетическая) эффективность и производительность установки.

В этих опреснителях тепло передается путем излучения, испарения и конвекции, т.е. суммарный коэффициент теплоотдачи (α^{Σ}), определяется следующим выражением:

$$\alpha^{\Sigma} = \alpha_{\text{изл}} + \alpha_{\text{исп}} + \alpha_{\text{кон}} \quad (1)$$

$\alpha_{\text{изл}}$, $\alpha_{\text{исп}}$, $\alpha_{\text{кон}}$ - соответствующие коэффициенты теплоотдачи излучением, испарением и конвекцией, для определения значения которых используются следующие выражения:

$$\alpha_{\text{изл}} = \frac{\varepsilon \sigma (T_{\varepsilon} + 273,15)^4 - (T_{\varepsilon} + 273,15)^4}{(T_{\varepsilon} - T_{\varepsilon})} \quad (2)$$

$$\alpha_{\text{исп}} = 16,273 \cdot 10^{-3} \alpha_{\text{кон}} \quad (3)$$

$$\alpha_{\text{кон}} = C(Gr \cdot Pr)^n \frac{\lambda}{\delta} \quad (4)$$

где T_{ε} и T_{ε} - соответственно, температура поверхности испарения и конденсации; ε - степень черноты; σ - постоянная Стефана -Больцмана; Gr - критерий Грасгофа; Pr - критерий Прандтля; λ - коэффициент теплопроводности паровоздушной смеси; δ - расстояние между поверхностью испарения и конденсации; значения коэффициентов C и n определяются на основе диапазона изменений значений критерия Грасгофа.

Тепловая эксергия одноступенчатого (рис.1.) парникового опреснителя может быть описана в следующем виде:

$$E_{\text{экс,ч}} = \alpha_{\text{исп,э}} \left[(T_{\varepsilon} - T_{\varepsilon}) - (T_{\text{о.с.}} + 273,15) \ln \left(\frac{T_{\varepsilon} + 273,15}{T_{\varepsilon} + 273,15} \right) \right] \quad (5)$$

А мгновенная тепловая эффективность данного опреснителя определяется с помощью следующего выражения:

$$\eta_i = \frac{\dot{q}_{\text{исп,э}}}{q_{\text{пад}}} = \frac{\alpha_{\text{исп,э}}(T_{\varepsilon} - T_{\varepsilon})}{q_{\text{пад}}} \quad (6)$$

В активных одноступенчатых солнечных опреснительных установках (рис.1) перепад температур между поверхностями испарения и конденсации может быть увеличен путем интегрирования солнечного коллектора, где происходит нагрев теплоносителя, и испарительно-конденсационной камеры, где осуществляются процессы испарения воды и конденсации водяных паров, в результате чего производится конденсат.

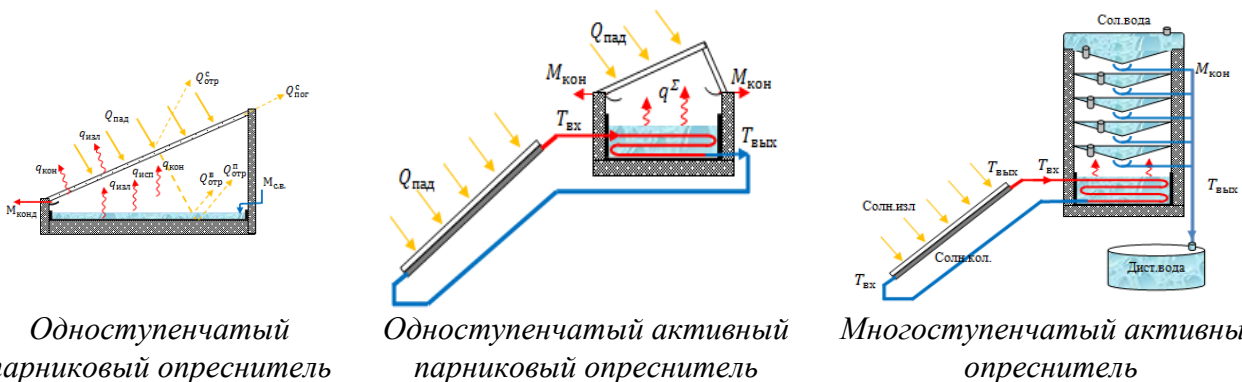


Рис.1. Принципиальные схемы рассматриваемых одно и многоступенчатых солнечных опреснителей

Для проведения расчетов по определению тепловых характеристик учитывается, что в данном случае используется солнечный коллектор в

качестве теплового источника, выходные параметры которого одновременно являются входными для испарительно-конденсационной камеры.

Выражения для оценки эксергетической эффективности данного активного солнечного опреснителя можно представить в следующем виде:

$$\eta_{\text{мен,эк}} = \frac{\alpha_{\text{эфф}} \left[(T_g - T_c^{\text{эВМ}}) - (T_{o.c.} + 273,15) \ln \left(\frac{T_g + 273,15}{T_c^{\text{эВМ}} + 273,15} \right) \right] F_{\text{под}}}{(0,933) [F_{\text{под}} q_{\text{над}}(t) + F_{\text{кол}} q_{\text{над}}(t)]}. \quad (7)$$

где r – скрытая теплота парообразования; $F_{\text{кол}}$ и $F_{\text{под}}$ – соответственно площади солнечного коллектора и поверхности испарения.

В существующих конструкциях ⁶ солнечных опреснительных установок с многоступенчатыми испарительно-конденсационными камерами были достигнуты положительные результаты по увеличению эффективности и производительности солнечных опреснителей за счет рекуперативного использования теплоты конденсации. Но, несмотря на это, увеличивались себестоимость установки за счет использования солнечного коллектора. В целях решения данной проблемы в настоящей работе была поставлена задача уменьшения стоимости установки с сохранением его тепловых характеристик. Данная задача решается за счет использования новых типов солнечных коллекторов на основе полимерных материалов, оптимизацией конструкции многоступенчатой испарительной камеры (рис.1).

Разработан метод теплового расчета на основе уравнения энергетических балансов каждой ступени многоступенчатой солнечной опреснительной установки, например, для воды в i -й ступени это уравнение имеет следующий вид:

$$m_{\text{вi}} C_{\text{вi}} \frac{dT_{\text{вi}}}{dt} = \alpha_{\text{к}(i+1)} F_{\text{ки}} (T_{\text{ки}} - T_{\text{вi}}) + \alpha_i F_{\text{ви}} (T_{\text{к}(i+1)} - T_{\text{вi}}) \quad (8)$$

При определении соответствующих коэффициентов теплоотдачи используются следующие выражения:

$$\alpha_{\text{кон.в-к}} = 0,884 \left[(T_g - T_k) + (T_g + 273) \frac{P(T_g) - P(T_k)}{268,9 \cdot 10^3 - P(T_g)} \right]^{1/3} \quad (9)$$

$$P(T) = \exp \left(25,317 - \frac{5144}{T + 273} \right) \quad (10)$$

$$\alpha_{\text{у.в-к}} = \varepsilon_{\text{эфф}} \sigma \left[(T_g + 273)^2 + (T_k + 273)^2 \right] (T_g + T_k + 546) \quad (11)$$

$$\varepsilon_{\text{эфф}} = \left(\frac{1}{\varepsilon_k} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1 \right)^{-1} \quad (12)$$

$$\alpha_{\text{исп.в-к}} = 16,273 \cdot 10^{-3} \alpha_{\text{кон.в-к}} \frac{P(T_g) - P(T_k)}{T_g - T_k} \quad (13)$$

⁶ Ахатов Ж.С. Разработка и исследование солнечных парниковых водоопреснителей с многоступенчатыми рекуперативными испарительно-конденсационными камерами: Авт.канд.дис.-Ташкент, 2007.- 22с.

Выражения (9), (11) и (13), соответственно, для определения коэффициентов теплопередачи: -конвективной ($\alpha_{кон.в-к}$), -излучением ($\alpha_{и.в-к}$), -и путем испарения ($\alpha_{исп.в-к}$) между кюветами и водой.

Определение тепловых режимов многоступенчатой солнечной водоопреснительной установки и анализ полученных результатов: система дифференциальных уравнений, преобразуя их в систему алгебраических уравнений, с помощью явного метода, решаются методом последовательного приближения (итерация). Разработана и создана вычислительная программа в среде Visual C+. На рис.2. представлена блок схема алгоритма данной расчетной модели. Изменения температуры окружающей среды варьировались в диапазоне от 20°C до 30°C для выбранного дня при проведении расчетных экспериментов, а плотность потока солнечного излучения доходила до 1100Вт/м².

На рис.3 представлены расчетные значения изменения температуры воды в соответствующих ступенях данной установки. Как видно из графиков (рис.3 а) и б)), наблюдается разница начальных значений температур между первой и остальными днями экспериментов, начиная со второго дня. На рис.3 б) представлены значения начальных температур шестого дня экспериментов, которые варьируются от 31°C до 40°C, в начале дня. При этом максимальные значения температуры воды в этих ступенях, в полдень достигают от 40°C до 90°C в первый день, и от 42°C до 95°C в шестой день.

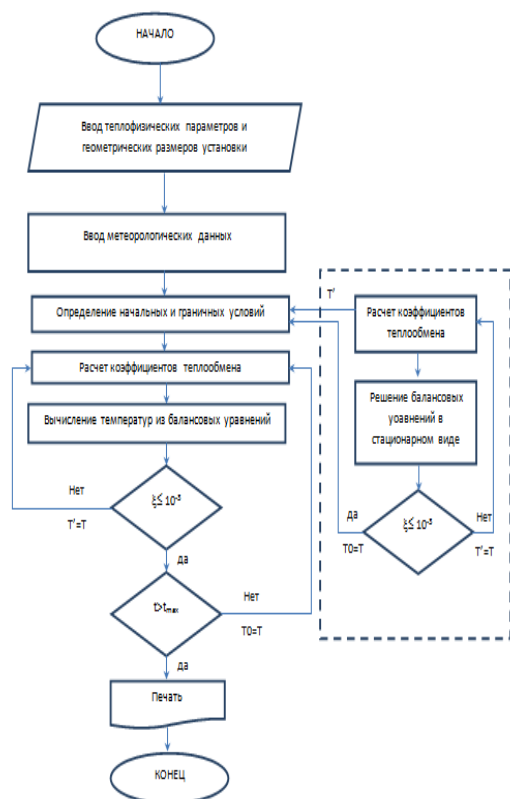


Рис.2. Блок схема алгоритма расчетной модели: T' - приблизительные значения температуры; T_0 - начальная температура.

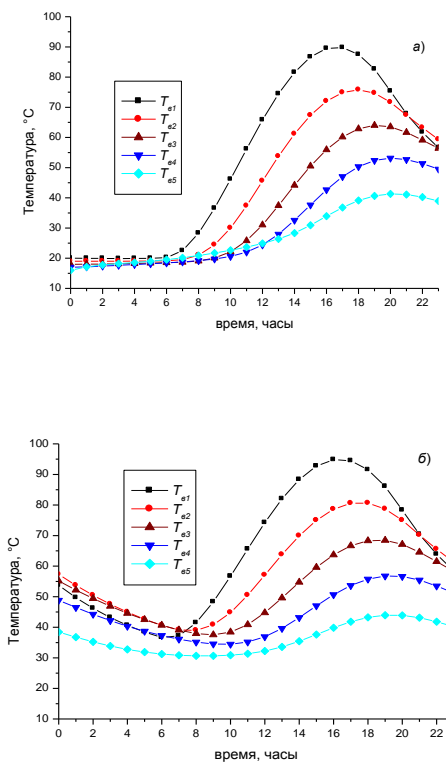


Рис.3. Расчетные значения изменения температуры воды в ступенях в течение первого - а), и шестого - б) дня опреснительной установки

На рис.4 представлены расчетные значения отдельных α , и суммарных β , коэффициентов теплоотдачи в каждой ступени установки. Как известно, в таких системах суммарный коэффициент теплоотдачи определяется с учетом процессов конвекции, излучения и испарения.

На рис.5 представлены значения выхода конденсата из каждой ступени опреснителя. Из графика видно, что в данной установке процесс выхода конденсата также продолжается после заката Солнца, за счет инерции системы, т.е. аккумулированной энергии. Результаты расчетов показывают, что при вышеизложенных условиях максимальный выход конденсата каждой из ступеней, соответственно, достигает от $0,15 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ до $0,45 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$. Суммарная производительность при этом из каждого м^2 площади данной установки составляет около 7,0-8,0 литров пресной воды в день.

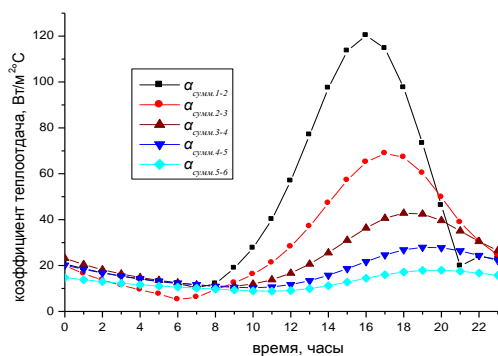


Рис.4. Расчетные значения суммарных коэффициентов теплоотдачи

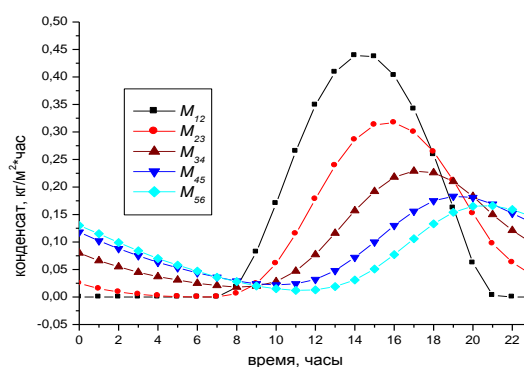


Рис.5. Выход конденсата из каждой ступени опреснителя

Экспериментальные исследования. На основе принципиальной схемы (рис.1) разработан и создан опытный образец многоступенчатой солнечной опреснительной установки, общий вид которого представлен на рис.6.



Рис.6. Общий вид опытной установки

В данном опытном образце установки, в отличие от предыдущих вариантов конструкции, используется солнечный коллектор на основе полимерных материалов, а также многоступенчатая испарительная камера, совмещенная баком созданные из нержавеющей стали и из полимерных материалов.

На рис.7 представлены экспериментальные значения изменения температуры воды в ступенях опреснительной установки. Как видно из графиков (рис.7), их максимальные значения соответственно, (с первой до пятой), в полдень варьируются от 80°C до 35°C .

На рис.8 представлены значения выхода пресной воды из каждой ступени данного солнечного опреснителя. Результаты сопоставительного анализа расчетных (рис.5) и экспериментальных (рис.8) данных показывает их

сходимость. Суммарная производительность при этом каждого кв.м. площади данной установки составляет около 7,0 литров пресной воды в день, в некоторых дней летом оно достигает до 7,5-8,0 литров при максимальных значениях плотности потока солнечного излучения. Результаты расчетных и экспериментальных исследований также показали, что оптимальное число ступеней многоступенчатой солнечной опреснительной установки составляет 5, с учетом температурного перепада между последующими ступенями (8-10°C), при этом диапазон рабочей температуры установки (60-80°C).

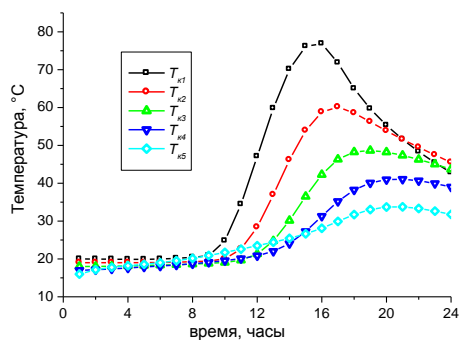


Рис.7. Экспериментальные значения температуры воды в ступенях

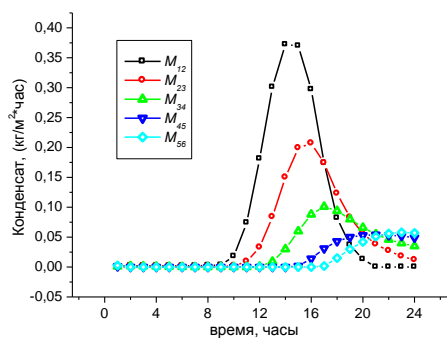


Рис.8. Выход пресной воды из каждой ступени опреснителя

Расчет тепловых характеристик многоступенчатой солнечной водоопреснительной установки с разделенными камерами испарения и конденсации: разработана новая конструкция солнечной опреснительной установки с разделенными камерами испарения и конденсации, существенно отличающаяся от существующих конструкций, принципиальная схема которой представлена на рис.9.

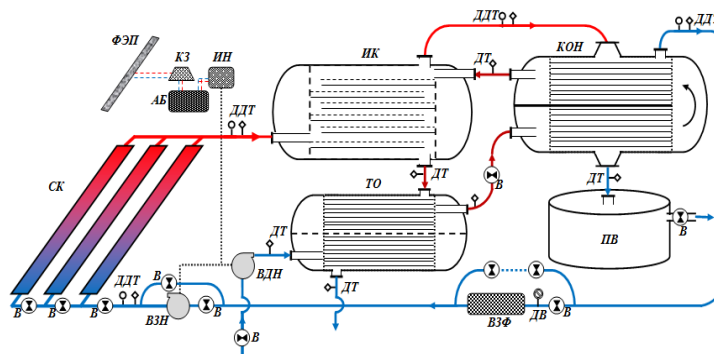


Рис.9. Принципиальная схема солнечной водоопреснительной установки с разделенными камерами испарения и конденсации:

СК- солнечный воздушнонагревательный коллектор; ИК- испарительная камера; КОН- конденсатор; ТО- теплообменник; ПВ- емкость для пресной воды; ВЗД- воздушный насос; ВДН- водяной насос; ФЭП, КЗ, АБ, ИН- соответственно, фотоэлектрическая панель, контроллер заряда, аккумуляторная батарея и инвертор; ВЗФ- фильтр для воздуха; ДВ- датчик влажности; ДДТ- датчики давления и температуры; ДТ- датчик температуры; В- вентиль.

Принцип работы данной установки заключается в следующем: исходная вода подается в опреснитель с помощью насоса (до 50 м), работающее за счет

ФЭС. Вода, проходя через теплообменник, где предварительно нагревается, подается в конденсатор, где происходит процесс конденсирования паровоздушной смеси. В результате производимый конденсат собирается в резервуар. В системе используется солнечный воздухонагревательный коллектор. С помощью воздушного насоса поток воздуха подается в испарительную камеру, где происходит процесс испарения. В данной установке используются стандартные компоненты, как теплообменник и конденсатор, применяемые в промышленных установках с известными техническими параметрами.

Используется многоступенчатая испарительная камера, в которой проходят противоположные потоки соленой воды и нагретого воздуха, для оценки тепловых характеристик которого были составлены системы уравнения энергетического баланса для всех основных узлов. Система уравнений решается численным способом, используя так называемый «явный метод».

Результаты расчетов. Были определены скорости испарения и тепловая эффективность испарительной камеры, соответственно, при различных значениях (10°C, 20°C и 30°C) температуры окружающей среды, влажности входящего воздуха (10%, 40% и 80%), а также скорости входящего воздуха (от 0,1 м/с до 1,0 м/с). На рис.10 (а,б), представлены примеры результатов таких расчетов при 10°C температуры окружающей среды и 0,7м/с скорости входящего воздуха.

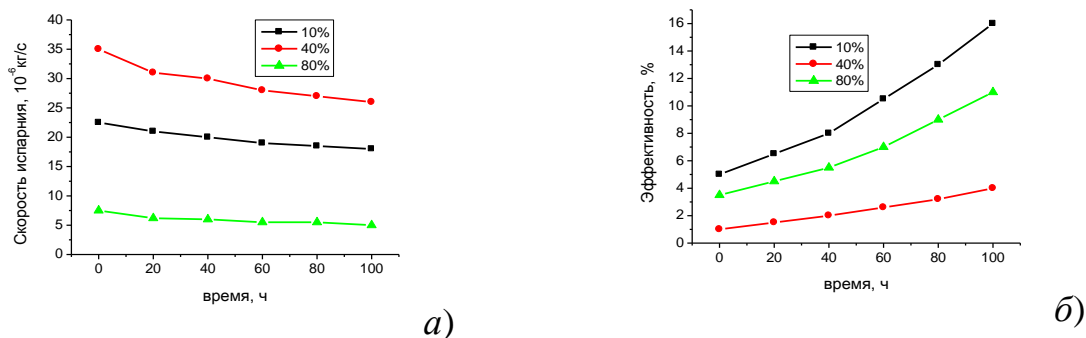


Рис.10. Расчетные значения скорости испарения -а) и тепловой эффективности -б) испарительной камеры

Как показывают результаты, производительность данной установки достигает до 2,0 (кг/ч) в зависимости от плотности потока падающей солнечной радиации, а суммарный выход конденсата составляет около 12 л/день с каждого м² поверхности солнечного коллектора.

Для получения экспериментального подтверждения расчетных результатов, на основе разработанных конструкций, создан опытный образец установки и проведены соответствующие эксперименты.

Экспериментальные исследования. Опытный образец данной установки был оснащен всеми измерительными приборами как показана на рис.9. Результаты экспериментов показали, что производительность данного многоступенчатого опреснителя более чем в два раза выше, чем парниковых опреснителей. Экспериментальные результаты имеют хорошее совпадение с расчетными данными с максимальным отклонением не более 7%.

В третьей главе «Исследование теплофизических свойств наножидкостных теплоносителей и их влияние на теплотехнические характеристики солнечных водоопреснительных установок» представлены результаты исследований по получению наножидкостных теплоносителей с соответствующими теплофизическими свойствами в целях их дальнейшего использования в качестве теплоносителя в солнечных тепловых преобразователях. Вместе с этим создание новых конструкций солнечных коллекторов с использованием полимерных материалов и наножидкостных теплоносителей, в целях достижения улучшения тепловых характеристик солнечных опреснительных установок.

Использование наножидкостей в качестве теплоносителя в солнечных тепловых преобразователях вместо обычных теплоносителей является новым подходом. Анализ показывает, что в солнечных установках можно добиться улучшения эффективности, используя наножидкости. Однако, не имеются достаточно утвердительных результатов, которые охватывали бы несколько категорий или же получившие эмпирическую зависимость, которую можно было бы применить ко всем или хотя бы для нескольких типов наножидкостей.

С какими свойствами наножидкостей исследователи связывают надежды по интенсификации теплообмена? В первую очередь это вызвано высокой теплопроводностью наночастиц. В общем случае теплопередача происходит посредством ламинарного или турбулентного потока теплопередающей среды. В этих процессах значение температуры и давления варьируется в широком диапазоне и наиболее важным ограничением является низкая теплопроводность обычных жидкостей.

Например, вода имеет самую высокую теплопроводность среди часто используемых жидкостей, хотя она равна $\sim 0,6 \text{ Вт/мК}$ при комнатной температуре, что на несколько порядков ниже значения теплопроводности металлов, оксидов металлов и одностенной углеродной нанотрубки (SWCNT), как показано на рис. 11.

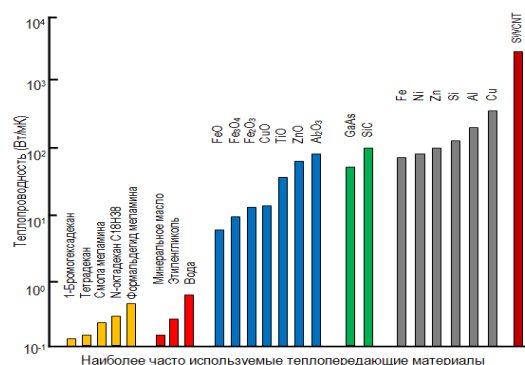


Рис.11. Теплопроводность наиболее часто используемых материалов

Были исследованы и продолжены работы по изучению влияния различных факторов влияющих на увеличение теплопроводности наножидкостей, таких как объемная концентрация, материал, размер наночастиц, свойства базовой жидкости, температура, кислотность и т.д.

Анализ факторов, характерных для наножидкостей, в частности, седиментационная неустойчивость и склонности наночастиц к взаимодействию друг с другом показывает, что влияние данного взаимодействия может быть уменьшено путем подбора значения ζ -потенциала, причем агрегация наночастиц приводит к изменению тепловой проводимости наножидкостей.

Приготовление и исследование седиментационных свойств наножидкостей на основе наночастиц SiO₂ и Al₂O₃. Были приготовлены суспензии на основе наночастиц SiO₂ и Al₂O₃ и воды, и изучены их седиментационные свойства, в целях их дальнейшего использования в солнечных тепловых преобразователях в качестве теплоносителя.

Этапы приготовления: **1-этап** выбор материала наночастиц: были выбраны порошки (SiO₂ и Al₂O₃) в качестве исходного материала (рис.12). **2-этап** приготовление суспензий на основе наночастиц выбранных материалов (SiO₂ и Al₂O₃) и воды, с различными концентрациями рис.13. Проведены процесс соникации в течение 7-12 минут с помощью ультразвукового прибора (Ultrasonic disintegrator UD-11) с частотой 20kHz для получения однородной суспензии. **3-этап** определение размера частиц выбранных материалов (SiO₂ и Al₂O₃) с помощью измерительных приборов, «Zetasizer Nano S90» и «Mastersizer 2000» (Лазерный анализатор размеров частиц с блоком диспергирования Hydro 2000MU). В данном случае определены размеры наночастиц Al₂O₃ и SiO₂, которые были равны, соответственно, 50нм и 12нм.



Al₂O₃

SiO₂

Рис.12. Порошки SiO₂ и Al₂O₃

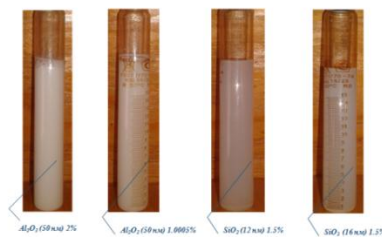


Рис.13. Суспензии на основе наночастиц SiO₂ и Al₂O₃

4-этап наблюдение процесса седиментации в суспензиях. Суспензия представляет собой многофазную коллоидную систему, в которой дисперсная твердая фаза равномерно распределена в жидкой дисперсионной среде. Приготовлены суспензии на основе наночастиц диоксида алюминия с концентрацией от 1,0% до 2,0%, со средними значениями размеров частиц 50нм, и диоксида кремния с концентрацией 1,5%, с размером частиц 12нм и 16нм. Процесс седиментации наблюдался в различных временных интервалах и фиксировались состояния суспензий (рис.14). Как показали результаты, процессы седиментации и агломерации наночастиц зависят от продолжительности процесса соникации, а количество седимента зависит от размера и концентрации наночастиц в суспензии.

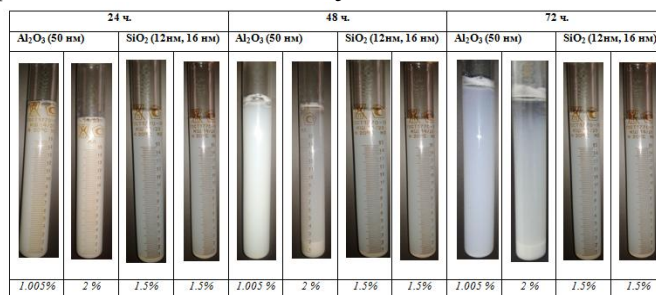


Рис.14. Процесс седиментации суспензий на основе наночастиц Al₂O₃ и SiO₂ при различных размерах и концентрациях

Экспериментальные исследования получения и определения вязкости наножидкости (SiO_2 +вода). Динамическая вязкость полученных наножидкостей (SiO_2 +вода) с размером наночастиц ($7\div 40\text{нм}$) измерялась методом ротационной вискозиметрии на реометре «НААКЕ RheoStress RS600». Результаты показали, что с увеличением температуры значения динамической вязкости систем падают, а с увеличением объемного содержания наночастиц увеличиваются. При малых значениях концентрации вязкость системы (SiO_2 +вода) практически не зависит от частоты.

Расчетные исследования тепловых характеристик существующих плоских солнечных коллекторов (ПСК) при использовании наножидкостных теплоносителей. Проведены расчеты по определению характеристик ПСК, с учетом теплофизических свойств полученных наножидкостей (SiO_2 +вода). Создан САД модель ПСК для гидродинамического анализа (CFD) и проведения теплотехнических расчетов.

В целях сравнения результатов, расчеты проведены для наножидкости и обычного теплоносителя - воды. Известно, что расчетные исследования основываются на методе составления тепловых балансов каждого узла установки. Однако, стоит отметить, что основные уравнения решаются методом конечного объема с применением ПО «Solidworks Flow Simulation».

На рис.16, показаны распределения температур на поверхности и по всему объему ПСК при $800\text{Вт}/\text{м}^2$ плотности потока солнечной радиации и $10\text{л}/\text{ч}$ расходе теплоносителя и 20°C температуре окружающей среды.

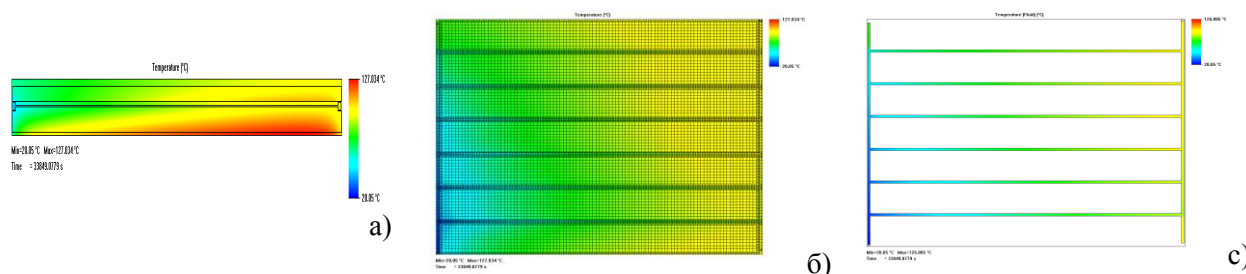


Рис.16. Распределение температуры по боковому профилю -а), на поверхности абсорбера -б), теплоносителя по теплообменнику -в) ПСК

Как показали результаты расчетов при вышеизложенных условиях, разница температуры при использовании наножидкости и воды в качестве теплоносителя в ПСК достигает до 20°C .

Расчетные и экспериментальные исследования тепловых характеристик новой конструкции солнечного коллектора из полимерных материалов с использованием наножидкостных теплоносителей. Анализ результатов исследований по изучению влияния теплопроводности и материалов солнечных коллекторов различных типов, т.е. на основе ПВХ (Поливинилхлорид), ПБ (полибутен), и ПП-Р (PP-R: полипропилен рандом сополимер), показали, что различные материалы имеют различные значения теплопроводности, в зависимости от их молекулярной структуры, а теплопроводность также зависит от толщины материала и скорости потока текучей среды внутри коллектора. Таким образом, тепловая эффективность коллектора зависит от материала, от

их теплопроводности, но при низких температурах, а также малых расходах теплоносителя, их влияние можно считать незначительным. Исходя из этого, стоит отметить, что при выборе материала не стоит ориентироваться только на их теплопроводности.

Нами была поставлена задача разработки и создания солнечного коллектора из полимерных материалов, при этом учитывается возможность их применения в двухконтурных системах, в том числе в солнечных опреснителях, а также использования в них наножидкостных теплоносителей, в целях интенсификацию теплоотдачи в опреснителе.

Для решения данной задачи нами была разработана конструкция солнечного коллектора из полимерных материалов, принципиальная схема которого представлена на рис.17.

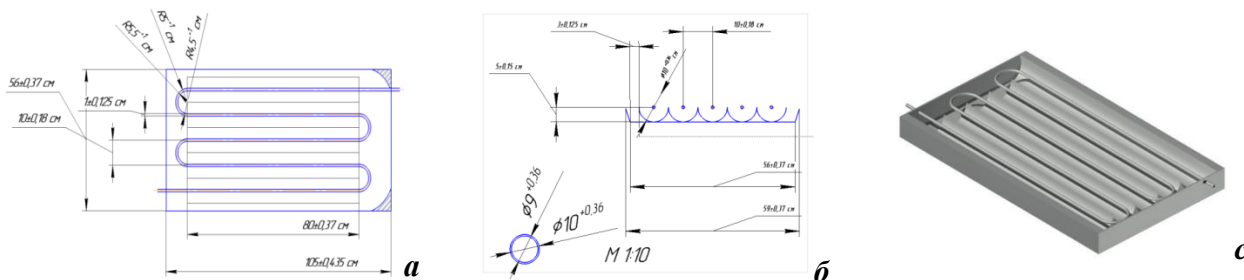


Рис.17. Принципиальная схема абсорбера - а) и рефлектора - б), а также общий вид полимерного солнечного коллектора

Расчетные исследования. Разработана математическая модель для расчета тепловых характеристик данного коллектора. Математическая модель основывается на системе дифференциальных уравнений энергетических балансов каждого составляющих элементов коллектора.

Результаты расчетов. С использованием разработанной модели были проведены численные расчеты по определению тепловых характеристик данного коллектора, результаты которых представлены в (рис.18).

Из графиков а) и б) рис.18, видно, что при соответствующих значениях плотности потока солнечного излучения и температуры окружающей среды, максимальные значения температуры абсорбера и теплоносителя на выходе коллектора достигают 50°C и 70°C, соответственно.

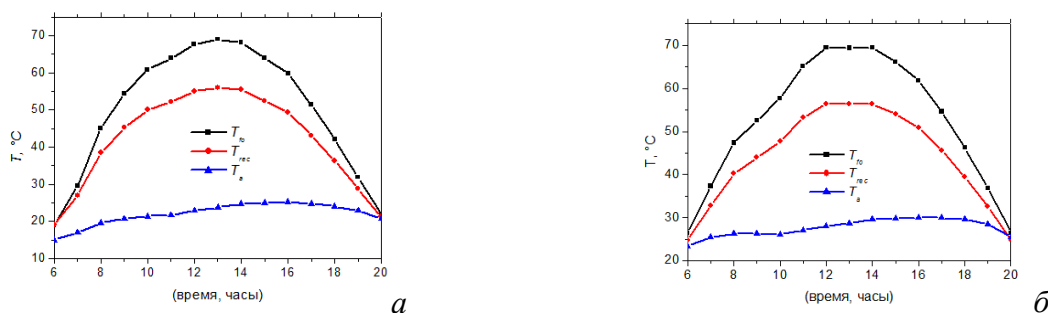


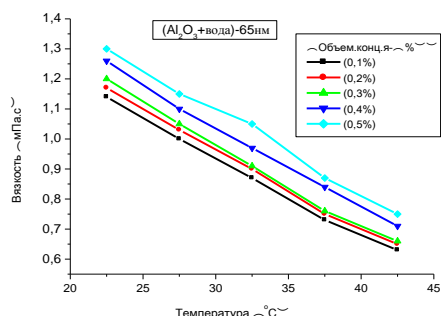
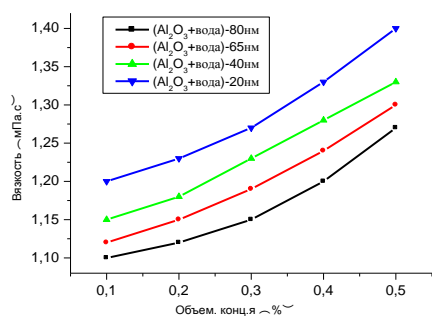
Рис.18. Изменение температуры абсорбера (ресивера) (T_{rec}) и теплоносителя (T_{fo}) на выходе коллектора в течение светового дня

Экспериментальные исследования. В качестве светопрозрачного покрытия используется поликарбонат с температурным диапазоном эксплуатации от -

40°C до +120°C, максимальное термическое расширение (при $\Delta T=80^\circ\text{C}$) составляет 2,5мм/м, светопропускание 70-82%.

Было изучено влияние тепловых характеристик солнечного коллектора из полимерных материалов с наножидкостным теплоносителем на параметры многоступенчатой солнечной водоопреснительной установки.

Теплофизические свойства наножидкости (Al_2O_3 +вода). Вязкость наножидкости (Al_2O_3 +вода) измерялась в температурном диапазоне от 22,5°C до 45°C. Как показано на рис.19 а), при объемной концентрации 0,1%, вязкость наножидкости с размером наночастиц 20нм, составляет 1,20мПа·с, при этом она снижается до 1,10мПа·с для наночастиц с размером 80нм.



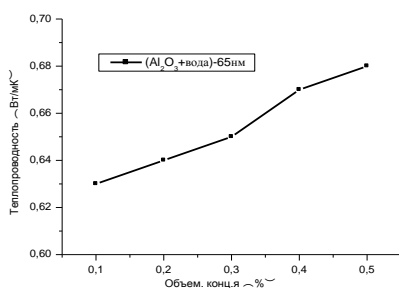
а)

б)

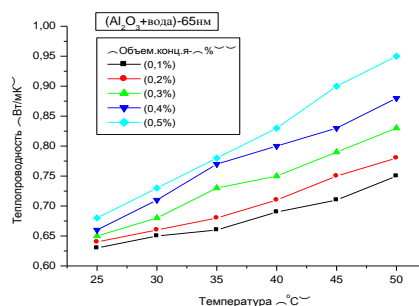
Рис.19. Изменения вязкости наножидкости (Al_2O_3 +вода) в зависимости от объемной концентрации - а) и температуры - б)

Как представлено на рис.19. б), при температуре 27,5°C вязкость наножидкости (Al_2O_3 +вода) с объемной концентрацией 0,5% и с размером наночастиц 65нм увеличивается на 27,47%, по сравнению с вязкостью воды.

Теплопроводность. Как показано на рис.20 а) повышение теплопроводности наножидкости (Al_2O_3 +вода) с размером наночастиц 65нм, при объемной концентрации 0,5% достигает 11,2%.



а)



б)

Рис.20. Зависимости теплопроводности наножидкости (Al_2O_3 +вода) от объемной концентрации - а) и температуры - б)

На рис.20 б) представлено увеличение теплопроводности наножидкости (Al_2O_3 +вода) с размерами наночастиц 65нм с повышением температуры, в диапазоне от 25°C до 50°C.

Проведены численные расчеты по определению тепловых характеристик многоступенчатого солнечного опреснителя, с учетом теплофизических свойств наножидкостей.

На рис.21 представлены сравнительные значения дневного изменения температуры воды и наножидкостного теплоносителя на выходе солнечного коллектора. Разность температуры составляет до 7°С при максимальной плотности потока солнечного излучения.

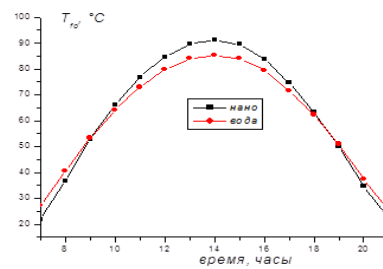
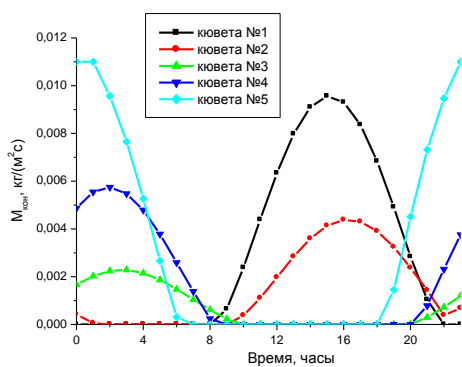
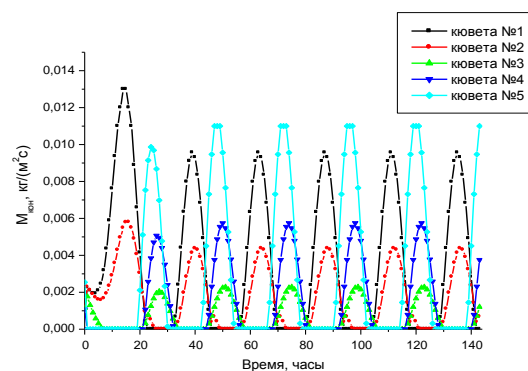


Рис.21. Дневное изменение температуры воды и наножидкости на выходе солнечного коллектора

На рис.22 представлены суточные а) и недельные б) изменения выхода конденсата из каждой ступени многоступенчатой солнечной опреснительной установки при использовании полимерного коллектора с наножидкостным теплоносителем.



а)



б)

Рис.22. Суточные - а) и недельные - б) изменения выхода конденсата из каждой ступени многоступенчатой солнечной опреснительной установки

Как видно из рис.22, процесс конденсации продолжается после заката Солнца и выход конденсата продолжается в ночное время за счет инерционности системы. Сопоставительный анализ тепловой эффективности и производительности многоступенчатой солнечной опреснительной установки, при использовании плоского солнечного коллектора с водяным теплоносителем и нового полимерного коллектора с наножидкостным теплоносителем показывает, что во втором варианте производительность увеличивается на 15-20%, а себестоимость при этом снижается до двух раз.

В четвертой главе «Солнечные водоопреснительные установки, работающие по принципу обратного - осмоса» представлены результаты исследований по разработке метода расчета энергетических характеристик и определения производительности солнечных обратно-осмотических опреснительных установок, а также результаты расчетно-экспериментальных исследований по выбору соответствующих компонентов и оптимизации энергетических и эксплуатационных параметров данной установки, и результаты экспериментов на опытном образце с производительностью до 100л/день, а также новой конструкции установки с солнечными тепловыми и фотоэлектрическими преобразователями.

Анализ современных конструкций солнечных водоопреснительных установок, работающих по принципу обратного осмоса. Обратно-

осмотические опреснители с солнечными преобразователями по принципу их энергообеспечения можно разделить на три группы: 1) системы, работающие от солнечного цикла Ренкина; 2) системы с приводом от солнечных фотоэлектрических преобразователей; 3) системы с приводом от электрической энергии, получаемой из комбинированных источников (в частности, от ветряного агрегата и солнечной фотоэлектрической станции).

В цикле Ренкина рабочей жидкостью является вода или органический состав, хотя другие типы неорганических и органических жидкостей могут быть также использованы. Преимущество органических рабочих жидкостей в циклах Ренкина состоит в том, что они работают при более низких температурах. Системы с энергообеспечением от солнечных фотоэлектрических преобразователей бывают с аккумулятором и без него, а также с блоком регенерации энергии. Эти системы требуют более низкого потребления энергии по сравнению с другими методами опреснения воды.

Комбинированные системы, работающие за счет энергии ветра и солнечного излучения, при специфических условиях местности такие системы по техническим и экономическим показателям являются выгодными по сравнению с другими.

На основе анализа мировой практики и локального рынка, а также учитывая натурные, метеорологические и технико-экономические факторы, была разработана новая конструкция обратно-осмотической опреснительной установки с солнечным фотоэлектрическим преобразователем для использования в качестве автономной системы питьевого водоснабжения населения отдаленных регионов, с производительностью до 100л/день, принципиальная схема которого представлена на рис.23. Установка имеет два основных узла: *энергоснабжения*, - состоящей из фотоэлектрической панели, контроллера заряда, аккумулятора и переключателя; и *опреснения*, - состоящей из бустерного насоса, 5-ти ступенчатой обратно-осмотической системы очистки с тремя предфильтрами, мембраны и постфильтра.

Описание и принцип работы опытного образца солнечной обратно-осмотической опреснительной установки. На рис.24 изображен общий вид опытного образца установки с производительностью до 100л/день. При создания экспериментального образца установки, выполнены технические и инженер-ные расчеты для эффективной компоновки системы.

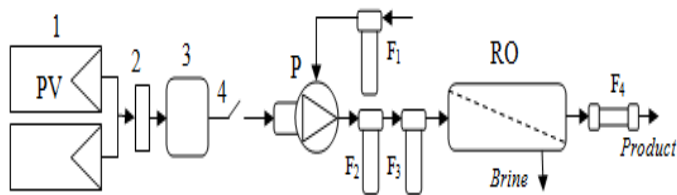


Рис.23. Принципиальная схема солнечной обратно-осмотической опреснительной установки:

1-Фотоэлектрическая панель; 2-Контроллер; 3-Аккумулятор; 4-Переключатель; P-Бустерный насос; 5-обратно осмотическая система; F₁, F₂, F₃ предфильтры; F₄-постфильтр.

Опытный образец включает в себя следующие компоненты: солнечная фотоэлектрическая панель с 50Вт пиковой мощностью, аккумулятор (24В , $8\text{А}\cdot\text{ч}$), бустерный насос (с напряжением 24В , при постоянном токе $0,6\text{А}$, скоростью потока $50\text{-}60\text{л/час.}$, давлении - $345\text{-}550\text{кПа}$). Подача соленой воды осуществляется прямым образом из источника воды или из резервуара.

Установка имеет следующие габаритные размеры: $125\text{-}60\text{-}60\text{см}$ при раскладном варианте, вес около $35\text{-}40\text{кг}$. Легко транспортируется и удобно для использования, как внутри помещения, так и снаружи, при этом необходимо обеспечить поступление солнечного излучения к фронтальной поверхности солнечной панели.

Оптимизация режимов работы солнечных обратно-осмотических опреснителей в зависимости от температуры. В результате анализа энергобаланса обратно-осмотической опреснительной установки с фотоэлектрическим преобразователем (рис.24), выявлено что в мембранном модуле происходят потери энергии около 21% . Здесь температурный диапазон имеет важное значение. Основная причина этого состоит в том, что с увеличением температуры, вязкость соленой воды уменьшается, и в результате прохождение через поры осуществляется более гладко, что приводит к уменьшению энергетических потерь. Это означает, что, если значение динамической вязкости воды составляет приблизительно $1,0\text{ мПа}\cdot\text{с.}$, при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ и уменьшается до $0,65\text{ мПа}\cdot\text{с.}$, при температуре $40\text{ }^\circ\text{C}$, т.е. на 35% , которое приводит к уменьшению гидравлических потерь. В конечном итоге, это приводит к уменьшению потребляемой энергии для обеспечения потока через мембрану.

Для получения экспериментального подтверждения, были проведены соответствующие эксперименты, результаты которых показали, что с повышением температуры, мощность насоса уменьшается и увеличивается скорость потока воды через мембрану с 16л/ч , при $10\text{ }^\circ\text{C}$ до 24л/ч , при $40\text{ }^\circ\text{C}$. Как показывают результаты экспериментов, при увеличении температуры воды от $20\text{ }^\circ\text{C}$ до $40\text{ }^\circ\text{C}$, наблюдается уменьшение расхода удельной энергии за единицу объема воды от $2,1\text{кВт}\cdot\text{ч/м}^3$ до $1,65\text{кВт}\cdot\text{ч/м}^3$, т.е. до 22% .

С учетом вышеизложенного, нами была разработана принципиальная схема новой солнечной опреснительной установки, основанной на методе обратного осмоса, как показано на рис.25.



Рис.24. Общий вид опытного образца опреснительной установки с солнечным фотоэлектрическим преобразователем⁷

⁷Автономная водоопреснительная установка. № FAP 00891, 28.03.2014г.

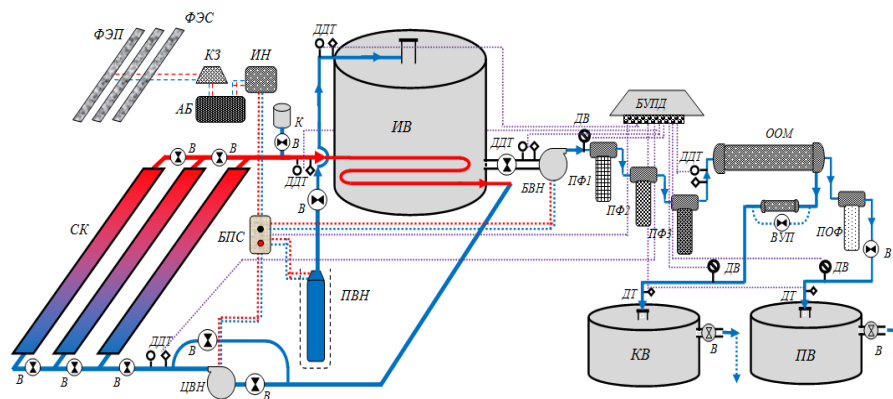


Рис.25. Принципиальная схема солнечной опреснительной установки, основанной на методе обратного осмоса с применением солнечных фотоэлектрических и тепловых преобразователей:

ФЭС - фотоэлектрическая станция; ФЭП - фотоэлектрическая панель; КЗ - контроллер заряда; ИН - инвертор; АБ - аккумулятор; БПС - блок с переключателем и счетчиком; ЦВН - циркуляционный водяной насос; БВН - бустерный водяной насос; ПВН - погружной водяной насос; СК - солнечный коллектор; В - вентиль; К - компенсатор; ИВ - исходная вода; КВ - рассол; ПВ - пресная вода; ПФ - предварительный фильтр; ПОФ - постфильтр; ООМ - обратно-осмотическая мембрана; ДДТ - датчики давления и температуры; ДВ - датчик воды; БУПД - блок управления и передачи данных.

В данной установке используются солнечные коллекторы для предварительного нагрева соленой воды для обеспечения оптимальной температуры соленой воды, подаваемой в обратно-осмотическую мембрану. С помощью такой схемы можно обеспечить оптимальный рабочий режим, т.е. обеспечивается оптимальная рабочая температура для мембранных модулей, которая изменяется в диапазоне от 25°C до 35°C по их паспортным данным.

Качественный анализ воды. Нами был проведен анализ качества производимой пресной воды с помощью разработанной солнечной обратно-осмотической опреснительной установки. Были собраны образцы соленых вод (из подземных источников) из различных регионов республики. После измерений образцы вод (до и после опреснения) были направлены в СЭЦ Бухарской области, где были проведены соответствующие измерения по определению качества воды, и получены соответствующие справки.

Пятая глава «**Технико-экономические и экологические показатели солнечных опреснительных установок**» посвящена анализу технико-экономических и экологических характеристик рассматриваемых солнечных опреснительных установок. Расчеты выполнены с учетом стоимости сырья, материалов и комплектующих, имеющих в локальном рынке, а также расходов, связанных с капиталовложениям по созданию опреснительных установок. В расчетах также учтена стоимость питьевой воды в регионах, не подключенных к централизованным системам водоснабжения, обеспечение которых осуществляется различными способами транспортировки.

При определении срока окупаемости рассматриваемых солнечных опреснительных установок (парниковые, многоступенчатые и обратно-осмотические), были учтены следующие параметры: производительность установки, срок годности, объем капиталовложений, эксплуатационные и

амортизационные расходы, а также стоимость единичного объема и стоимость продажи производимой пресной воды.

Как показывают результаты срока окупаемости установок для парникового типа, составляет от 0,2 до 1,1 года. Для многоступенчатой установки, дольше, чем у парникового за счет большего капиталовложения, т.е. срок варьируется от 0,36 до 1,5 года. Для обратно-осмотической установки, несмотря на большие начальные капиталовложения, благодаря высокой производительности, сроки окупаемости становятся самыми короткими, и составляют от 0,13 до 0,48 года.

Экологические показатели солнечных водоопреснительных установок. Использование солнечных опреснительных установок в системах питьевого водоснабжения, вместе с уменьшением расхода традиционных топливно-энергетических ресурсов позволяет сократить количество выбросов CO_2 в окружающую среду. Как показывают результаты исследований, за счет использования парникового солнечного опреснителя можно достичь уменьшения выбросов CO_2 в окружающую среду, соответственно, от 400 до 467 кг в год по сравнению с использованием угля, и от 113 до 132 кг в год по сравнению с использованием природного газа. Этот показатель для многоступенчатого опреснителя составляет, соответственно, от 935 до 1002 кг в год по сравнению с использованием угля, и от 265 до 284 кг в год по сравнению с использованием природного газа. Для обратно-осмотической установки данный показатель был от 6679 до 13358 кг в год по сравнению с использованием угля, и от 1894 до 3787 кг в год по сравнению с использованием природного газа.

На основе полученных результатов определения сроков окупаемости рассматриваемых солнечных опреснителей, можно сделать вывод о том, что в целях улучшения качества питьевого водоснабжения населения отдаленных регионов, создание и использование этих солнечных опреснителей является экономически рентабельным. При этом, целесообразно проведение дополнительного анализа при создании и использовании рассмотренных выше опреснителей в конкретных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов исследования сделаны следующие основные выводы:

1. Разработана математическая модель тепловых режимов многоступенчатых солнечных опреснительных установок на основе эксергетического баланса, с учетом процессов тепло-и массопереноса в них, в результате установлена температурная зависимость производительности данной установки, выполнены численные расчеты по определению их производительности и тепловой эффективности.

2. Получены наножидкости на основе наночастиц оксидных материалов (SiO_2 и Al_2O_3) и исследованы их теплофизические свойства (вязкость и теплопроводность), в целях использования в качестве теплоносителя в

солнечных тепловых установках, в том числе в солнечных опреснителях, с учетом температурных режимов рассматриваемых опреснительных установок в диапазоне от 40 °С до 90°С.

3. Разработана новая конструкция солнечного коллектора на основе полимерных материалов (полиамид и поликарбонат) с наножидкостным теплоносителем, выполнены расчеты тепловых характеристик данного коллектора с учетом теплофизических свойств наножидкостных теплоносителей, результаты которых показали повышение теплоотдачи от 12% до 22% в зависимости от концентрации наночастиц, температуры и плотности потока солнечного излучения.

4. Разработана новая усовершенствованная конструкция многоступенчатой солнечной опреснительной установки, оснащенной полимерным солнечным коллектором с наножидкостным теплоносителем, приводящим к повышению тепловой эффективности на 15%. Создан опытный образец установки и проведены испытания по определению ее производительности, которое составляет до 8,0 литров от каждого кв.м. площади.

5. Впервые разработана новая конструкция солнечной опреснительной установки, работающей по принципу обратного осмоса, оснащенной солнечным фотоэлектрическим преобразователем мощностью 50Вт. Создан опытный образец установки с производительностью до 100 л/день, установка прошла успешные испытания в лабораторных и натуральных условиях, техническое решение защищено охранным документом.

6. Выполнен эксергетический анализ солнечной опреснительной установки, работающей по принципу обратного осмоса, в результате чего выявлены энергетические потери в мембранном модуле, в зависимости от температуры исходной воды, составляющий до 21% от общего энергопотребления в установке. Установлены оптимальные режимы работы данной установки в зависимости от температуры в диапазоне 25°С-35°С. На этой основе разработана новая принципиальная схема конструкции установки с использованием солнечных тепловых и фотоэлектрических преобразователей.

7. Обоснована целесообразность использования разработанных солнечных опреснительных установок исходя их технико-экономических и экологических характеристик. Сроки окупаемости разработанных установок, в зависимости от конструкции, составляют от 0,2 до 1,5 года. Уменьшение выбросов CO₂ в окружающую среду, в результате их использования, составляет до 13358кг в год. Создание и использование разработанных солнечных опреснителей в качестве автономных систем питьевого водоснабжения в отдаленных регионах республики является экономически рентабельным.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREES
DSc.02/27.02.2020.FM/T.110.01 AT SPA «PHYSICS-SUN»
ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE

AKHATOV JASURJON SAIDOVICH

**DESALINATION OF SALINE WATER IN DRINKING WATER SUPPLY
SYSTEMS USING THERMAL AND PHOTOVOLTAIC CONVERTERS OF
SOLAR ENERGY**

05.05.06 – Power installations on the base of renewable energy sources

**ABSTRACT
OF DOCTORAL DISSERTATION (DSc) ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2021

The theme of doctoral (DSc) dissertation on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.DSc/T44.

Dissertation has been prepared at the Physical-technical Institute of Academy of Sciences of RUz.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific Council (www.fti.uz/) and on Information-educational portal «ZiyoNet» (<http://www.ziyo.net>).

Scientific consultant: **Sagdulla Lutfullaevich Lutpullaev**
doctor of physical-mathematical sciences, professor

Official opponents: **Iskandarov Zafar Samandarovich**
doctor of technical sciences, professor

Kenjaev Idirisbek Gulamovich
doctor of technical sciences, professor

Rakhimov Rustam Khakimovich
doctor of technical sciences, scientist

Leading organization: **Karshi engineering - economic institute**

The defense will take «___» _____2021 at _____ at the meeting of Scientific council DSc.02/27.02.2020.FM/T.110.01 at the SPA «Physics-Sun» Academy of Sciences of RUz. Address: Chingiz Aytmatov str. 2b, 100084-Tashkent, Uzbekistan. Conference hall of the Physical-technical Institute. Phone/Fax: (99871) 235-42-91, e-mail: info.fti@uzsci.net.

The doctoral dissertation is possible to review in Information-resource centre at Physical-technical Institute (is registered № _____). Address: Chingiz Aytmatov str. 2b, 100084-Tashkent, Uzbekistan. Physical-technical Institute. Phone/Fax: (99871) 235-42-91.

Abstract of the dissertation was distributed on «___» _____ 2021 year.

(mailing report № _____ on «___» _____ 2021 year).

R.A. Zakhidov

p.d. Chairman of the Scientific council on award of scientific degrees, Doctor of technical science, professor, Academician of the AS RUz

N.Sh. Saidkhanov

p.d. Scientific secretary of the Scientific council on award of scientific degrees, Doctor of physical-mathematical science, senior scientist

M.N. Tursunov

p.d. Chairman of the Scientific seminar under Scientific council on award of scientific degrees, Doctor of technical science, senior scientist

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

The relevance and demand of the topic of the dissertation. Currently, one of the global problems is the provision of the population with high-quality drinking water. According to the UN, more than 1 billion people live in the arid regions of the Earth, and 1/3 of the world's population is experiencing water shortage in more than 50 countries of the world. Together with other ways of solving this issue, desalination of saline water is a real technical solution. Scientific research aimed development and creation of autonomous drinking water supply systems for the population, remote from centralized systems of energy and drinking water supply, using renewable energy sources (RES) is of great importance. In world practice, much attention in this area is paid to increasing the efficiency of desalination processes, taking into account its various technologies. Among these technologies, the reverse osmosis method is in the leading position with a share of 60%, and multistage distillation is in the second position with a 26.5% share of the total installed capacity. Scientific research aimed at the development of desalination plants powered by RES are considered topical tasks in this area.

Compliance of the research with the priority directions of development of science and technology of the Republic of Uzbekistan. Research within the framework of this dissertation work was carried out in accordance with the priority direction of the development of science and technology of the Republic of Uzbekistan: IV. «Development of methods for the use of renewable energy sources, the creation of technologies and devices based on nanotechnology, photonics and other advanced technologies».

Review of international scientific research on the topic of the dissertation. Scientific research on the development, modeling of heat and mass transfer processes, optimization of the thermal characteristics of solar desalination plants are carried out in many research centers around the world: University of Arizona, University of Wisconsin (USA), Kuban State University (RF), University of Aachen, University of Applied Sciences Karlsruhe (Germany), Research Center Plataforma solar de Almeria at CIEMAT (Spain), University of Edinburgh, (UK), Middle East Technical University (Turkey), Institute of Electrical Engineering of the CAS (China), Tokyo Institute of Technology (Japan), National Solar Energy Center (India), SA «GUN» (Turkmenistan), SPA «Physics-Sun» of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Uzbekistan) and others.

The level of study of the problem. In scientific research in this area, despite numerous works on the creation of various designs of solar desalination plants, due attention has not been paid to issues related to the regenerative use of heat using multistage systems. These studies practically did not consider the intensification of heat transfer processes in desalination plants by using of nanofluids. Also, the combined use of solar thermal and PV systems to ensure efficient operation of solar desalination plants has not been sufficiently studied.

The relationship of the dissertation research with the plans of research work. The study was carried out within the framework of the assignments of the Physical-technical Institute of SA «Physics-Sun» of the Academy of Sciences of the

RUz: «Development and creation of a prototype solar water desalination plant operating by the reverse osmosis method»; «Investigation of the thermophysical properties of nanofluids and their influence on the thermal characteristics of solar thermal installations» and «Development of technology for the production and effective use of nanofluid heat carriers in solar thermal converters».

The aim of the research is to develop ways to increase the efficiency and productivity of solar desalination plants, simulate heat and mass transfer processes in them, optimize their thermal and technical and economic characteristics.

The tasks of the research: modeling heat and mass transfer processes in multistage solar desalination plants, determining their thermal characteristics based on exergy analysis; development and creation of prototypes and determine their productivity and thermal efficiency; obtaining nanofluids based on nanoparticles of oxide materials and studying their thermophysical properties; development of a new design of a polymeric solar collector with the use of nanofluids; development of a solar reverse osmosis desalination plant; analysis of the technical, economic and environmental characteristics of solar desalination plants.

The object of research is solar thermal (multistage with a nanofluid) and reverse osmosis (using solar PV) desalination plants.

The subject of research is the patterns of the processes of thermal conversion of solar energy, as well as heat and mass transfer processes occurring in the corresponding nodes of solar water desalination plants.

Methods of the research: simulation of the processes of thermal conversion of solar energy and heat and mass transfer were used. To determine the main thermal, technical, economic and environmental characteristics, the results of experiments in natural conditions and data processing were used.

The scientific novelty of the research is as follows:

a mathematical model of thermal regimes of multistage solar desalination plants was developed based on exergy balances, taking into account the processes of heat and mass transfer, the temperature dependence of the productivity of this plant was established, numerical calculations were performed to determine their productivity and thermal efficiency;

nanofluids based on nanoparticles of oxide materials (SiO_2 and Al_2O_3) have been obtained and their thermophysical properties (viscosity and thermal conductivity) have been investigated in order to use them in solar desalination plants, taking into account the temperature regimes of the considered desalination plants in range from 40°C to 90°C ;

a new design of a solar collector based on polymeric materials (polyamide and polycarbonate) with a nanofluid, for use as a heat source in the considered solar desalination plant, has been developed;

a new improved design of a multistage solar desalination plant was developed with improved thermal engineering (with an increase in thermal efficiency by 15%), and technical and economic (halving the cost of the unit) characteristics, a prototype unit was developed and created and tests were carried out to determine its performance, which is up to 8.0 liters from each sq. m. area;

for the first time, a new design of a solar desalination plant operating on the principle of reverse osmosis, equipped with a solar PV with a power of 50W, was developed, a prototype unit with a capacity of up to 100 l / day was created;

the optimal operating modes of solar reverse osmosis desalination plants were established, depending on the temperature in the range of 25°C-35°C, and on this basis, a new schematic diagram of the installation was developed using solar thermal and photovoltaic converters;

substantiated the expediency of using the developed solar desalination plants as autonomous drinking water supply systems in remote regions of the republic, based on their technical and economic (payback periods are from 0.2 to 1.5 years) and environmental (with a decrease in CO₂ emissions into the environment to 13358 kg per year) characteristics.

The practical results of the research are as follows: a design and a prototype of a multistage solar water desalination plant were developed using a polymer solar collector with a nanofluid; obtained nanofluid based on SiO₂ and Al₂O₃ nanoparticles as a heat carrier in solar thermal installations; a solar reverse osmosis water desalination plant was developed with a capacity of 100 liters per day, and this technology was transferred to the organization of serial production.

Scientific and practical significance of the research results. The research results make a certain contribution to the development of methods for thermal calculation and optimization of optical, thermal, energy and environmental characteristics of solar desalination plants. The practical significance of the results lies in the implementation of the developed designs using polymeric materials and nanofluids, which make it possible to create a new generation of solar desalination plants with a halving of their cost.

Implementation of research results. Certificate of the Ministry of higher and secondary specialized education of the RUz. № 89-03-5138 dated 09.12.2020); Reference of the Academy of Sciences of the RUz. № 2/1255-2763 dated 09.12.2020); On the basis of the License Agreement (№1 dated 29.03.2020) between the Physical-technical Institute and LLC «Solar Development Systems», the technology for the creation of an «Autonomous water desalination plant» (№ FAP 00891 dated 20.06.2014) was transferred in order to organize serial production (Reference of JSC «Uzeltekhsanoat» № 04-1/2366 dated 17.12.2020).

Approbation of the results. The main results of the dissertation work were reported and discussed at 8 international and at 4 republican scientific conferences.

Publication of the results. The main results are published in 31 research works, including 1 monograph, 14 scientific papers in international (11) and republican (3) journals, 13 abstracts in the materials of conferences, 1 patent for a useful model and 2 certificates for computer software products.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a bibliography and appendices. The thesis is presented on 187 pages, containing 110 figures and 10 tables.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Akhatov J.S., Chun Chang, Juraev T.D. Temperature mode optimization for solar reverse-osmosis water desalination// Applied Solar Energy, (Allerton Press Inc./New York).2020.Vol.56. №1. 47-53 pp. (№3, CiteScore, IF=1.8).

2. Ахатов Ж.С., Самиев К.А., Жураев Т.И. Метод теплового расчета пассивных и активных солнечных водоопреснительных установок // Фан ва технологиялар тараккиёти журнали, Бухоро мухандислик-технология институти. 2020й. №3, с. 118-130. (05.00.00; №4).

3. Akhatov J.S. Desalination of saline water with the use of RES: demand, current situation, development trends, forecasts for the future (Review) // Applied Solar Energy, (Allerton Press Inc./New York).2019.Vol.55. №2. 133-148pp. (№3, CiteScore, IF=1.5).

4. Shaomeng Dai, Zheshao Chang, Chun Chang, Jasurjon S. Akhatov, Xin Li. Numerical study on the directly-irradiated vortex reactor for solar CO₂ coalgasification// Solar Energy, 2019. 188,573-585pp. (№3, CiteScore, IF=8.1).

5. Ахатов Ж.С., Халимов А.С., Жураев Э.Т., Жураев Т.И. Исследование тепловых характеристик солнечной водоопреснительной установки с разделенными камерами испарения и конденсации // Проблемы информатики и энергетики. 2019, №3, с.66-79.(05.00.00; №5).

6. Tianzeng Ma, Lei Wang, Chun Chang, Jasurjon S. Akhatov, Mingkai Fu, Xin Li. A comparative thermodynamic analysis of isothermal and nonisothermal CeO₂-based solar thermochemical cycle with methane-driven reduction // Renewable Energy, 2019. 143, 915-921pp.(№3, CiteScore, IF=11.2).

7. Ахатов Ж.С., Самиев К.А., Жураев Т.И. Расчетные исследования тепловых характеристик солнечного коллектора из полимерных материалов // Проблемы информатики и энергетики. 2019, №2, с.69-77.(05.00.00; №5).

8. Ахатов Ж.С. Опреснение соленых вод с помощью тепловых и фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. Lambert Academic Publishing, 2018. 140с.

9. Akhatov J.S., Mirzaev S.Z., Zhiyong Wu, Telyaev S.S., Juraev E.T., Juraev T.I. Research on thermophysical properties of nanofluids based on SiO₂ nanoparticles for use as a heat-transfer medium in solar-thermal converters // Applied Solar Energy, (Allerton Press Inc./New York). 2018. Vol.54. №1. 50-60pp. (№3, CiteScore, IF=1.1).

10. Akhatov J.S., Mirzaev S.Z., Halimov A.S., Telyaev S.S., Juraev E.T. Study of the possibilities of thermal performance enhancement of flat plate solar water collectors by using of nanofluids as heat transfer fluid. // Applied Solar Energy, (Allerton Press Inc./New York). 2017.Vol.53. №3. 250-257pp. (№3, CiteScore, IF=0.8).

11. Akhatov J.S. Energy and Exergy analysis of solar PV powered reverse osmosis desalination. // Applied Solar Energy, (Allerton Press Inc./New York). 2016.Vol.52. №4. 265-270pp. (№3, CiteScore, IF=0.8).

12. Akhatov J.S., Halimov A.S., Saidov H.H. A study of the influence of inlet air flow humidity and temperature on thermal efficiency of an evaporation chamber of a solar water desalination plant // Applied Solar Energy, (Allerton Press Inc./New York). 2016.Vol.52. №2. 109-114pp. (№3, CiteScore, IF=0.8).

13. Avezov R.R., Akhatov J.S., Avezova N.R. A review on photovoltaic-thermal (PV-T) air and water collectors // Applied Solar Energy, (Allerton Press Inc./New York). 2011. Vol.47. №3. 169-183pp. (№3, CiteScore, IF=0.3).

14. Akhatov J.S., Agüera A.L., I.R.Cabo, D.R.Rey, E.V.Montes, V.Gandara. Performance study of Solar dryer for agriculture and marine products // Environmental Engineering and Management Journal. Vol. 10, №8 (2011) 1011-1013 pp.(№3, CiteScore, IF=1.6).

15. Aybar H.Ş., Akhatov J.S., Avezova N.R., Halimov A.S. Solar powered RO desalination: Investigations on pilot project of PV powered RO desalination system // Applied Solar Energy, (Allerton Press Inc./New York). 2010. Vol.46. №4. 275-284pp. (05.00.00; №4).

II бўлим (II часть; part II)

16. Патент на полезную модель № FAP 00891 от 20.06.2014. «Автономная водоопреснительная установка». Авторы: Ахатов Ж.С., Аvezова Н.Р., Касымов Ф.Ш., Халимов А.С. // Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. №4 (156).2014.с.54-55.

17. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ: Гувохнома № DGU 07366 от 14.11.2019. «Компьютерная программа для расчета тепловых характеристик многоступенчатого солнечного опреснителя». Авторы: Ахатов Ж.С., Самиев К.А., Жураев Т.И, Хайриев У.Н // Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. №1 (225).2020.с.349-350.

18. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ: Гувохнома № DGU 06684 от 23.05.2019. «Компьютерная программа для расчета тепловых характеристик солнечного коллектора на основе полимерных материалов». Авторы: Ахатов Ж.С., Самиев К.А., Бабаев С.С., Жураев Т.И. // Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. №8 (220).2019.с.556-557.

19. Ахатов Ж.С., Самиев К.А. Анализ технико-экономических характеристик солнечных водоопреснительных установок при их использовании в нынешних условиях некоторых регионов Республики Узбекистан // Труды Международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 22-23 Сентября 2020г., г.Ташкент. с.34-40.

20. Ахатов Ж.С., Юлдашев И.А., Сайфиева Х.Ф. Анализ основных параметров влияющих на теплопроводность наножидкостей на основе наночастиц Al₂O₃ (Часть-1) // Ўзб. Респ. Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги,

Наманган муҳандислик-қурилиш Институти, «Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари» мавзусида Республика миқёсида илмий-амалий конференция, Наманган, 22-23 апрель 2020й., 281-286б.

21. Ахатов Ж.С., Юлдашев И.А., Сайфиева Х.Ф. Анализ основных параметров влияющих на теплопроводность наножидкостей на основе наночастиц Al_2O_3 (Часть-2) // Ўзб. Респ. Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги, Наманган муҳандислик-қурилиш Институти, «Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари» мавзусида Республика миқёсида илмий-амалий конференция, Наманган, 22-23 апрель 2020й., 287-292б.

22. Ахатов Ж.С., Жураев Т.И., Жураев Э.Т., Кулагина Н. Методика приготовления наножидкостей на основе наночастиц Al_2O_3 и изучение их свойств в целях использования в качестве теплоносителя в солнечных тепловых установках // «Европа Иттифокининг «RENES « лойихаси доирасида Халқаро илмий-амалий анжумани маърузалар туплами. 26-28 Март 2019й., Гулистон. 87-93б.

23. Ахатов Ж.С., Жураев Т.И., Жураев Э.Т., Авдиевич В.Н. SiO_2 ва Al_2O_3 нанозаррачалари асосидаги наносуюкликларнинг турли концентрацияларда седиментация жараёнини кузатиш // «Использование возобновляемых источников энергии: новые исследования, технологии и инновационные подходы» мавзусидаги Республика илмий-амалий конференцияси // 25-26 сентябрь 2018й., Тошкент ш., 240-244 б.

24. Ахатов Ж.С., Теляев С.К., Авдиевич В.Н., А.А.Искандаров, С.З.Мирзаев. Управление процессом теплообмена выбором оптимальных концентраций и материала наночастиц // Международная конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 13-14 Июнь 2017г., г.Ташкент. с.90-94.

25. Akhatov J.S. Status and perspectives of the development of solar energy utilization in Uzbekistan // The International Symposium «New Tendencies of Developing Fundamental and Applied physics: Problems, Achievements, Prospective», Tashkent, November 10-11, 2016. p.280-282.

26. Akhatov J.S., Halimov A.S. A study of flow rate influence of a heat transfer fluid-nanofluid on the thermal performances of flat-plate solar collector // The International Symposium «New Tendencies of Developing Fundamental and Applied physics: Problems, Achievements, Prospective», Tashkent, November 10-11, 2016. p.278-280.

27. Ахатов Ж.С., С.З.Мирзаев, Халимов А.С., Теляев С.К. Моделирование процесса теплопередачи наножидкости - теплоносителя в плоском солнечном коллекторе // Республиканская конференция «Возобновляемые источники энергии: технологии и установки», ИМ НПО «Физика-Солнце», 28-29 июня 2016 г. с.283-286.

28. Akhatov J.S., Halimov A.S., Agüera A.L., Gandara V. A Study the Influence of Absorbing Layer on the Efficiency of Solar Drying Chamber. International

Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, June 20-22, 2012 Sorrento, Italy, 87-92 pp.

29. Akhatov J.S., Halimov A.S., Juraev E.T. Performance study of small scale solar PV powered RO desalination system// ISES Solar World Congress, 2011, 28 August - 2 September, Kassel, Germany, Rural Energy Supply Section, 62-71 pp.

30. Ахатов Ж.С. Автономная водоопреснительная установка, работающая на солнечной энергии // «Экология хабарномаси» №3/2010г. с.40-42.

31. Ахатов Ж.С., Авезова Н.Р., Самиев К.А., Халимов А.С. Малогабаритная обратно-осмотическая водоопреснительная установка, работающая на солнечной энергии // «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» Материалы международной конференции, посвященной 80-летию академика М.С. Саидова. 21-22 ноябрь 2010г., г. Ташкент. 66-67с.

Автореферат «Гелиотехника» журнали таҳририятдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тиллардаги матнлари ўзаро мувофиқлаштирилди (05.11.2021 йил).

Босишга рухсат этилди: 18.11.2021 йил
Бичими 60x45 ¹/₈, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 4. Адади: 100. Буюртма: № 70.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.