

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА «ИЛМИЙ-
ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МАЪСУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН ЖАМИЯТ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.T.03.03 РАҚАМЛИ БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

«ФИЗИКА-ҚУЁШ» ИИЧБ ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

АВЕЗОВА НИЛУФАР РАББАНАКУЛОВНА

**ЯССИ КОЛЛЕКТОРЛАРДА ҚУЁШ ЭНЕРГИЯСИНИ ИССИҚЛИККА
АЙЛАНТИРИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ ВА
УЛАРНИНГ АСОСИЙ ПАРАМЕТРЛАРИНИ ИССИҚ СУВ
ТАЪМИНОТИ ТИЗИМЛАРИДА ФОЙДАЛАНИШ УЧУН
ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

**05.05.05 – Иссиқлик техникасининг назарий асослари;
05.05.06 – Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги энергия қурилмалари**

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

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Contents of the Doctoral (DSc) Dissertation Abstract

Авезова Нилуфар Раббанакуловна

Ясси коллекторларда қуёш энергиясини иссиқликка
айлантириш жараёнларини моделлаштириш ва уларнинг
параметрларини иссиқ сув таъминоти тизимларида
фойдаланиш учун оптималлаштириш..... 3

Авезова Нилуфар Раббанакуловна

Моделирование процессов теплового преобразования
солнечной энергии в плоских коллекторах и оптимизация
их основных параметров для использования в системах
горячего водоснабжения..... 29

Avezova Nilufar Rabbanakulovna

Simulation of solar thermal conversion processes in flat-plate
collectors and optimization their main parameters for using in
hot water supply systems..... 55

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 59

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА «ИЛМИЙ-
ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МАЪСУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН ЖАМИЯТ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.T.03.03 РАҚАМЛИ БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

«ФИЗИКА-ҚУЁШ» ИИЧБ ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

АВЕЗОВА НИЛУФАР РАББАНАКУЛОВНА

**ЯССИ КОЛЛЕКТОРЛАРДА ҚУЁШ ЭНЕРГИЯСИНИ ИССИҚЛИККА
АЙЛАНТИРИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ ВА
УЛАРНИНГ АСОСИЙ ПАРАМЕТРЛАРИНИ ИССИҚ СУВ
ТАЪМИНОТИ ТИЗИМЛАРИДА ФОЙДАЛАНИШ УЧУН
ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

**05.05.05 – Иссиқлик техникасининг назарий асослари;
05.05.06 – Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги энергия қурилмалари**

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

Техника фанлари бўйича фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2017.2.DSc/T43 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация «Физика-Куёш» ИИЧБ Физика-техника институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасига (www.tdtu.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот-таълим порталига (www.ziyo.net) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи: **Абдурахмонов Абдужаббор**
техника фанлари доктори

Расмий оппонентлар: **Попель Олег Сергеевич**
техника фанлари доктори, профессор

Аббасов Ёркин Садикович
техника фанлари доктори, доцент

Юлдошев Исроил Абриевич
техника фанлари доктори

Етакчи ташкилот: **Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва «Илмий-техника маркази» МЧЖ ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.03.03 рақамли бир марталик илмий кенгашнинг 2018 йил «___» _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2. Тел./ факс: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (___ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2. Тел./ факс: (99871) 227-03-41.

Диссертация автореферати 2018 йил «___» _____да тарқатилди.
(2018 йил «___» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси).

К.Р. Аллаев

Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш раиси, ЎзР ФА академиги,
т.ф.д., профессор

О.Х. Ишназаров

Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш илмий котиби, т.ф.д., к.и.х.

Дж.Н. Муҳиддинов

Илмий кенгаш ҳузуридаги илмий
даражалар берувчи илмий семинар
раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (докторлик диссертацияси (DSc) аннотацияси)

Диссертация мавзусининг зарурати ва долзарблиги. Дунё миқёсида энергетика амалиётида ноанъанавий ва қайта тикланувчан энергия манбаларидан фойдаланиш кўламларини кенгайтириш, углеводородли ёқилғи-энергетик ресурсларни тежаш ва экологик мувозанатни барқарорлаштиришга қаратилган илмий тадқиқотлар муҳим аҳамият касб этмоқда. Шу жиҳатдан ривожланган мамлакатларнинг «узоқ муддатли миллий энергетик дастурларида қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш улушини камида 20 фоизга етказиш вазифаси белгиланган»¹. Бу борада жаҳон амалиётида қайта тикланувчан энергия манбаларидан бири ва кўлами жиҳатидан устуворликка эга бўлган қуёш энергиясидан иссиқлик ва электр таъминоти тизимларида фойдаланиш жадал суръатлар билан олиб борилмоқда ва ўз навбатида мазкур соҳанинг ривожланишига алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда иссиқ сув таъминоти тизимларига ясси қуёш коллекторларини жорий қилиш, ҳамда уларнинг иссиқлик самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ушбу соҳада, жумладан, 2016 йилда дунё мамлакатларида сув иситиш учун фойдаланилаётган ясси қуёш коллекторларининг умумий қуввати 456 ГВт (652 млн. кв.м.), улардан фойдаланишнинг йиллик ўсиш суръати 2004-2016 йиллар мобайнида 13,69 фоизни ташкил қилган². Бу борада қуёш энергиясини ясси қуёш коллекторларида иссиқлик энергиясига айлантириш жараёнларини моделлаштириш, уларнинг конструктив, иссиқлик-техникавий ва режим параметрларини оптималлаштириш, иссиқлик синовларини такомиллаштириш, иссиқ сув таъминоти тизимларида фойдаланиш самарадорлигини ошириш йўллари ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий ва муҳандислик асосларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ҳозирги кунда иқтисодиётнинг турли тармоқларида қуёш энергиясидан кенг миқёсларда фойдаланиш учун технологик жиҳатдан тайёр соҳалардан бири уни иссиқлик энергиясига айлантириш ва ҳосил қилинган энергиядан турар-жой бинолари, коммунал-маиший ва ижтимоий объектларнинг иссиқ сув таъминоти тизимларида иссиқлик манбаи сифатида фойдаланиш муаммоларига алоҳида эътибор қаратилди. Бу борада, жумладан, иссиқ сув таъминоти тизимларининг асосий элементи бўлган ясси қуёш коллекторларининг самарадорлиги юқори бўлган янги авлодларини, улар асосида икки контурли иссиқ сув таъминоти тизимларини яратиш ҳамда қуёший-ёқилғили қозонхоналарни ишлаб чиқиш ва улардан фойдаланишда сезиларли натижаларга эришилди. Шу билан бирга ясси қуёш коллекторларини мунтазам такомиллаштириш, иссиқ сув таъминотида фойдаланиш кўламларини кенгайтириш учун уларнинг техникавий-иқтисодий ва экологик кўрсаткичлари тўғрисидаги илмий асосланган натижалар талаб этилмоқда. 2017-2021 йилларда

¹ <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>

² «Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends in 2016. Detailed Market Figures 2015». IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2017.

Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... яқин келажакда устувор вазифа сифатида иқтисодиётнинг энергия ва ресурс сиғимларини қисқартириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий қилиш, қайта тикланувчан энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш ...»³ вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан, ясси қуёш коллекторларининг иссиқ сув таъминоти тизимларида фойдаланиш самарадорлигини ошириш, уларнинг асосий параметрларини оптималлаштириш, қуёш энергиясини иссиқликка айлантириш жараёнларини моделлаштириш ечимларини ишлаб чиқиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчан энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида» ва 2017 йил 8 ноябрдаги ПҚ-3379-сон «Энергия ресурсларидан оқилона фойдаланишни таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорларини ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни ривожлантириш, бошқа илғор технологиялар, иссиқлик қурилмаларини яратиш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи⁴.

Қуёш энергиясини суюқликларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторлари ёрдамида иссиқликка айлантиришнинг илмий-амалий жиҳатларига йўналтирилган изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари, жумладан Висконсин университетида (АҚШ), Қуёш технологиялари институтида (Швейцария), Қуёш энергияси миллий марказида (Ҳиндистон), Хитой халқ республикаси Фанлар академияси Энергетик тадқиқотлар институтида (Хитой халқ республикаси), АҚШ миллий стандартлар бюросида (АҚШ), Россия Фанлар академияси Бирлашган юқори ҳароратлар институтида (Россия Федерацияси), Туркменистон Фанлар академиясининг «Гун» ИИЧБсида (Туркменистон) ва Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси «Физика-Қуёш» ИИЧБсида (Ўзбекистон) кенг миқёсларда олиб борилмоқда.

Коллекторларда қуёш энергиясини иссиқликка айлантириш жараёнларини чуқур тадқиқ қилиш ва уларнинг асосий параметрларини иссиқ сув таъминоти тизимлари талабларига мослаштириш бўйича дунё миқёсида бир

³ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

⁴ Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи: <http://www.iea-shc.org>; <http://www.ren21.net>; Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. с англ. – Долгорудный: Издательский дом «Интеллект», 2013. – С. 888 ва бошқа манбалар асосида бажарилган.

қатор долзарб муаммолар ечилган ва қуйидаги муҳим илмий натижаларга эришилган, жумладан: қуёш иссиқлик таъминоти тизимлари ва қайта тикланувчан энергия манбаларини динамик моделлаштириш дастурини яратиш борасидаги ҳисобий-назарий ва тажрибавий изланишлар асосида ясси қуёш коллекторларнинг сертификацион синовларини ўтказиш усуллари ишлаб чиқилган (Висконсин университети, АҚШ; Қуёш технологиялари институти, Швейцария; Қуёш энергияси миллий маркази, Ҳиндистон); жаҳон миқёсида ишлаб чиқарилаётган ясси қуёш коллекторларнинг 70% улушини ташкил қилувчи шишадан ясалган ва нур ютувчи сиртида селектив қопламалари бўлган қувурсимон вакуум коллекторлари яратилган (Хитой Халқ Республикаси Фанлар академияси Энергетик тадқиқотлар институти, Хитой Халқ Республикаси); суюқ иссиқлик ташувчи муҳитларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторлари ва улар негизида алоҳида ишловчи ва мужассамлашган иссиқ сув таъминоти тизимларининг, ҳамда биноларни иситишга ва қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қуритишга мўлжалланган қуёший ҳаво иситгичларнинг наъмунавий нусхалари яратилган ва уларнинг асосий иссиқлик-техникавий тавсифлари аниқланган (АҚШ Миллий стандартлар бюроси, АҚШ; Россия Фанлар академияси Бирлашган юқори ҳароратлар институти, Россия Федерацияси, Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Физика-техника институти, Ўзбекистон).

Дунёда қуёш энергиясини коллекторлар ёрдамида иссиқликка айлантириш жараёнларини моделлаштириш ва ясси қуёш коллекторларини такомиллаштириш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда: тежамкор иссиқ сув таъминоти тизимлари қурилмаларини ишлаб чиқиш, уларнинг асосий иссиқлик-техникавий параметрларини оптималлаштириш, турли иссиқлик ташувчи муҳитларни иситишга мўлжалланган ясси қуёш коллекторларини яратиш ва самарадорлигини ошириш борасида тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Бугунги кунга қадар қуёш энергиясини ясси қуёш коллекторлари ёрдамида иссиқликка айлантириш муаммолари Қайта тикланувчан энергия манбалари миллий лабораториясида (NREL, АҚШ), коллекторларни сертификатлаш маркази (ALTEN-1, Германия) ва бошқа кўплаб илмий марказларда олиб борилган. Жаҳон бозорида ясси қуёш коллекторларининг юқори самарадорлигини таъминлаш борасидаги тадқиқотлар асосан янги материаллар ва технологиялардан фойдаланиш асосида Five Star (XXP), Viessmann (Германия) ва GREENoneTEC (Австрия) компанияларида олиб борилган⁵.

Россия Фанлар академияси Бирлашган юқори ҳароратлар институти-нинг Қайта тикланувчан энергия манбалари ва энергия тежамкорлиги лабораториясида ясси қуёш коллекторларининг иссиқлик ва атмосфера таъсирига бардошли пластиклардан ясалган авлодлари яратилган ва уларнинг иссиқлик синовлари услублари такомиллаштирилган. Бутунроссия қишлоқ хўжалигини электрлаштириш илмий-тадқиқот институтида ясси қуёш коллектор-

⁵ Попель О.С., Фортов В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире. М.: Изд.дом МЭИ, 2015. – 450 с.

лари учун вакуумлаштирилган шаффоф қопламалар яратилган. Сув ва ҳавони иситишга мўлжалланган ясси қуёш коллекторларни яратиш ва самарадорлигини ошириш борасидаги илмий тадқиқот ишлари Р.Б.Байрамов ва А.Д.Ушакова (Туркменистон Республикаси), А.И.Исманжанов (Қирғизистон Республикаси), Р.А.Зоҳидов, Р.Р.Авезов, Ш.К.Клычев, Ё.С.Аббосов, С.Ф.Эргашев, З.С.Искандаров ва Б.Э.Хайриддиновлар (Ўзбекистон Республикаси) раҳбарлигида бажарилган.

Шу кунга қадар олиб борилган илмий-тадқиқот ишларида ясси қуёш коллекторларнинг шаффоф қопламалари ўта шаффоф ҳисобланиб, улар орқали ўтаётган қуёш нурларининг қисман ютилиши ва иссиқликка айланиши натижасида шаклланадиган ички иссиқлик манбаи таъсирини ҳисобга олиш ва унинг коллекторлар нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг мазкур шаффоф қопламалар орқали атроф-муҳитга йўқотадиган иссиқлик оқимини камайтириши мумкинлигига етарлича эътибор берилмаган, ясси қуёш коллекторларнинг максимал иссиқлик унумдорлигини улар нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг минимал массасида таъминлаш муаммолари ўз ечимини топмаган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси «Физика–Қуёш» илмий ишлаб чиқариш бирлашмасининг Физика-техника институти илмий тадқиқот ишлари режасининг ПФИ-3 «Ясси қуёш иссиқлик коллекторларининг «шаффоф қоплама-нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панел» тизимининг оптикавий ва иссиқлик-техникавий тавсифларини тадқиқ қилиш» (2007-2011), ППИ-4 «Суюқ иссиқлик ташувчи муҳитларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторлари ва абсорберларининг асосий иссиқлик-техникавий параметрларини аниқлаш ва уларнинг иссиқлик синовларини ўтказишнинг тезкор усулини ишлаб чиқиш ва амалга ошириш» (2015-2017) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ясси қуёш коллекторларининг иссиқ сув таъминоти тизимларида фойдаланиш самарадорлигини ошириш, уларнинг асосий иссиқлик-техникавий ва конструктив параметрларини оптималлаштириш ва уларда қуёш энергиясини иссиқликка айлантириш жараёнларини моделлаштириш ечимларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ясси қуёш коллекторларининг шаффоф қопламалари орқали ўтувчи қуёш нурланишининг қисман ютилиш ва иссиқликка айланиш жараёнларини моделлаштириш асосида уларда ҳосил бўлган ички иссиқлик манбаининг қувватини мазкур шаффоф қоплама қалинлиги бўйича экспоненциал қонуният бўйича тақсимланишини эътиборга олган ҳолда аниқлаш учун ҳисобий ифодани ўрнатиш;

ясси қуёш коллекторларининг шаффоф қопламаларида ички иссиқлик манбаи мавжуд бўлганда уларнинг ички ва ташқи сиртларида ҳарорат ва юзавий иссиқлик оқими зичлиги қийматларини аниқлаш учун ҳисобий ифодадларни келтириб чиқариш;

ясси куёш коллектори нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг келтирилган самаравий иссиқлик йўқотиш коэффициентини уларнинг ўртача иш ва атроф муҳит ҳарорати, шаффоф қоплама орқали ўтаётган куёш нурларининг қисман ютилиши ва иссиқликка айланишини ҳисобга олган ҳолда аниқлаш учун аппроксимацион ифодани келтириб чиқариш;

ясси куёш коллекторининг япроқ-қувур шаклидаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг ўртача иш ҳароратини бевосита аниқлаш ва уларнинг иссиқлик ташувчи каналларида ҳаракатланаётган суюқликнинг ўртача массавий ҳароратини аниқлаш услубларини ишлаб чиқиш ҳамда мазкур турдаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларнинг қувурлараро масофаларини оптималлаштириш;

ясси куёш коллекторларининг квазибарқарор табиий шароитларда қисқа муддатли иссиқлик синовларини ўтказиш учун мўлжалланган тажрибавий стендни яратиш ва ундан ясси куёш коллекторларининг асосий иссиқлик-техникавий параметрларини аниқлашда фойдаланиш, ҳамда синов натижаларини қайта ишлаш услубларини такомиллаштириш;

ясси куёш коллекторларининг солиштирма иссиқлик унумдорлигини улар ёрдамида қиздирилаётган сувнинг олдиндан белгилаб қўйилган ҳароратига боғлиқ ҳолда аниқлаш учун иссиқлик моделини ишлаб чиқиш ва уни амалга ошириш асосида мазкур коллекторларнинг кунлик, ойлик ва йиллик иссиқлик унумдорлигини, техникавий-иқтисодий ва экологик кўрсаткичларини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ясси куёш коллекторлари, уларнинг шаффоф қопламалари ва япроқ-қувур шаклидаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панеллари танланган.

Тадқиқотнинг предмети ясси куёш коллекторлари шаффоф қопламалари ва нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларида куёш энергиясининг иссиқликка айланиш қонуниятлари, япроқ-қувур шаклидаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларида рўй берадиган иссиқлик жараёнларидан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида ясси куёш коллекторлари унсурларида куёш нурланишининг қабул қилиниши, ютилиши ва иссиқликка айланиш жараёнларининг физикавий модели ва уни ҳисобий амалга ошириш учун иссиқлик техникаси назарий асосларининг тан олинган усуллари, ясси куёш коллекторларининг асосий иссиқлик-техникавий параметрларини аниқлаш учун иссиқлик моделлаштириш услублари ва табиий шароитдаги тажриба усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

илк бор ясси куёш коллекторлари шаффоф қопламалари орқали ўтаётган куёш нурланишининг қисман ютилиш ва иссиқликка айланиш жараёнларини моделлаштириш асосида уларда шаклланган ички иссиқлик манбаи қувватини аниқлаш учун янги аналитик ифода ишлаб чиқилган;

шаффоф қопламаларда ички иссиқлик манбаи мавжуд бўлганда уларнинг қалинлиги бўйича ҳарорат ва иссиқлик оқимлари юзавий зичликларининг тақсимланиши ва уларнинг мазкур шаффоф қоплама ички

ҳамда ташқи сиртларидаги қийматларини аниқлаш учун тегишли ифодалар ишлаб чиқилган;

ясси қуёш коллекторлари нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг келтирилган самаравий иссиқлик йўқотиш коэффициентини уларнинг ўртача иш ҳамда атроф-муҳит ҳароратларини эътиборга олган ҳолда ҳисоблаш учун аппроксимацион ифода ишлаб чиқилган;

илк бор ясси қуёш коллекторларининг япроқ-қувур шаклидаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларида кечаётган иссиқлик жараёнларини моделлаштириш асосида уларнинг ўртача иш ҳароратини бевосита аниқлаш услуби, улар орқали ҳаракатланаётган суюқликнинг ўртача массавий ҳароратини аниқлаш учун аналитик ифода ишлаб чиқилган;

ясси қуёш коллекторлари нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг қувурлараро масофасини комплекс оптималлаштириш услуби таклиф қилинган ва уларнинг қувурлараро масофаси оптимал қийматининг мазкур панелларнинг нур ютувчи пластинкаларининг самаравий иссиқлик йўқотиш коэффициенти, қалинлиги, иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентиға боғлиқлик графиги илк бор ҳосил қилинган;

суюқликларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторларининг табиий шароитда иссиқлик синовларини ўтказиш учун тажрибавий стенд яратилган ва унинг ёрдамида коллекторларнинг қисқа муддатли иссиқлик синовларини ўтказиш, синов муддатларини қисқартириш ва уларнинг натижаларини қайта ишлашнинг тезкор услублари ишлаб чиқилган;

илк бор ясси қуёший коллекторларнинг иссиқлик унумдорлигини улар ёрдамида қиздирилаётган сувнинг олдиндан белгилаб қўйилган ҳароратига боғлиқ равишда аниқлаш учун уларнинг иссиқлик модели ишлаб чиқилган;

илк бор ясси қуёший сув иситгич коллекторларнинг йиллик ва мавсумий (йилнинг илиқ даврларида) иссиқлик унумдорлигини аниқлаш учун аппроксимацион ифодалар ишлаб чиқилган ва мазкур коллекторларнинг иссиқ сув таъминоти тизимларида оқилона фойдаланиш муддатлари, техникавий-иқтисодий ва экологик кўрсаткичлари аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

япроқ-қувур шаклидаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларнинг қувурлараро масофасини мазкур панелларнинг нур ютувчи пластинкаларининг қалинлиги, самаравий иссиқлик йўқотиш ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда оптималлаштириш услуби ишлаб чиқилган;

суюқ иссиқлик ташувчи муҳитларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторларининг асосий иссиқлик-техникавий параметрларини аниқлаш бўйича ўтказиладиган иссиқлик синовлари натижаларини тезкор қайта ишлаш услуби ишлаб чиқилган;

ясси қуёш коллекторларининг оний иссиқлик унумдорлигини улардан олинадиган иссиқ сувнинг олдиндан белгилаб қўйилган ҳароратига боғлиқ равишда аниқлашнинг муайян ечимлари ишлаб чиқилган;

ясси куёш коллекторларининг йил ва йилнинг илик мавсуми давомидаги иссиқлик унумдорлиги, самарадорлиги ва тегишли техникавий-иқтисодий ва экологик кўрсаткичлари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги атроф муҳитнинг кўп йиллик ўртача статистик метеопараметрларидан, замонавий моделлаштириш ва оптималлаштириш усулларидан, ҳисоблаш техникаси ва ўлчов воситаларидан фойдаланилганлигига асосланади, ҳамда бир хил шароитларда ҳисобий ва тажрибавий натижаларнинг ўзаро мос келиши ва тадқиқот натижаларининг мазкур соҳада илгаридан маълум бўлган ечимлар билан таққосланиши ва уларнинг тадқиқотда таклиф қилинган умумий ифодалар ва ечимлардан хусусий ечим сифатида келиб чиқиши билан тасдиқланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти иссиқлик техникаси назарий асосларининг жисмларда ички иссиқлик манбаи мавжуд бўлган ҳолдаги иссиқлик ўтказувчанлик бўлими ва қисман нур ютувчи шаффоф қопламали ясси куёш иссиқлик қурилмаларининг иссиқлик ҳисоби назарияси ва амалиёти ривожига қўшган ҳиссаси билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти ясси куёш коллекторларининг япроққувур шаклидаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг асосий иссиқлик-техникавий параметрларини оптималлаштириш бўйича натижалари келгусида мазкур коллекторларнинг янги, кам металл сарфловчи, иссиқлик-техникавий параметрли оптималлаштирилган авлодларини яратишга, коллекторларнинг иссиқлик синовлари натижаларини қайта ишлашнинг тезкор услуби уларни синаш учун талаб қилинадиган муддатни 8-10 мартагача қисқартириш имкониятини беради. Шу билан бирга тадқиқотнинг ясси куёш коллекторларининг йиллик иссиқлик унумдорлиги ва улардан фойдаланиш асосида CO_2 эмиссияси миқдорининг камайишини аниқлаш бўйича натижалари республика вазирликлари ва муассасалари томонидан куёш энергиясидан иссиқ сув таъминоти тизимларида фойдаланиш ҳисобига анъанавий ёқилғи-энергетика ресурсларини тежаш ва атроф-муҳитга чиқариб ташланадиган CO_2 эмиссияси миқдорини камайтириш бўйича тадбирларни режалаштиришда фойдаланилиши мумкин.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ясси куёшлий коллекторларнинг иссиқ сув таъминоти тизимларида фойдаланиш самарадорлигини ошириш, уларнинг асосий иссиқлик-техникавий ва конструктив параметрларини оптималлаштириш, куёш энергиясини иссиқликка айлантириш жараёнларини моделлаштириш бўйича олинган натижалар асосида:

куёшлий сув иситиш коллекторлари япроқ қувур шаклидаги нур ютувчи панелларининг минимал массасида максимал иссиқлик унумдорлигини таъминлаш учун уларнинг қувурлари орасидаги масофани комплекс оптималлаштиришнинг услуби «MIR SOLAR» МЧЖ корхонасида жорий қилинган («Ўзэлтехсаноат» АКнинг 2017 йил 22 ноябрдаги 02-2974-сонли маълумотномаси). Илмий-тадқиқот ишлари натижаларининг амалиётга жорий қилиниши коллекторларнинг алюминийдан ясалган нур ютувчи иссиқлик

алмаштиргич панелларининг элементларини тайёрлашда уларнинг ҳар 1 м² юзасидан 0,4015 кг алюминий тежаш имконини берган;

япроқ қувур шаклидаги нур ютувчи панеллар «MIR SOLAR» МЧЖ корхонасида SUV-10 русумли қуёший сув иситиш коллекторларини ишлаб чиқаришда жорий қилинган («Ўзэлтехсаноат» АКнинг 2017 йил 22 ноябрдаги 02-2974-сонли маълумотномаси). Ушбу коллекторлардан турар-жой, коммунал-маиший ва ижтимоий объектларининг йилнинг иссиқ мавсумида иссиқ сув таъминоти тизимларида фойдаланиш йилига 1457,1 минг м³ табиий газни иқтисод қилиш, ҳамда атроф-муҳитга чиқарилаётган СО₂ миқдорини 1972,3 тоннага камайтириш имконини берган;

жанубга йўналтирилган ва уфққа нисбатан бурчак остида жойлаштирилган ясси гелиоқурилмалар ёруғлик қабул қилувчи сиртларининг тўғри тушувчи қуёш нурлари билан ёритилиш вақтининг бошланиш ва тугаш онларини ҳисоблаш дастури ишлаб чиқилиб, Катта Қуёш Сандони гелиостатларининг кузатув тизимларининг дастурий бошқарувида қўлланилган (ЎзР ФАнинг 2017 йил 22 ноябрдаги №2/1255-2479 маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижаларининг қўлланилиши Катта Қуёш Сандони гелиостатларининг электр узатмаларига сарфланадиган йиллик электр энергия сарфини 4400 кВт·соат гача камайтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 8 та халқаро конгресс ва анжуманларда, 2 та республика илмий-амалий анжуманларида баён этилган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 36 та илмий иш чоп этилган, жумладан, 1 та монография (хорижда), Ўзбекистон Республикаси ОАКнинг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш бўйича тавсия қилган илмий нашрларда 18 та (16 та халқаро ва 2 та республика журналларида) мақола нашр этилган, 1 та фойдали модель учун патент ва ЭХМлар учун 3 та дастурий маҳсулотга гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 186 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Иссиқ сув таъминоти тизимларида суюқ иссиқлик ташувчи муҳитларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторларининг асосий конструктив ечимлари, иссиқлик-техникавий параметрлари, иссиқлик ҳисоби моделлари ва синовлари**» деб номланган биринчи бобида ясси қуёш коллекторлари (ЯҚК)нинг асосий конструктив ечимлари, ишлаб чиқарилиш технологиялари, иссиқлик унумдорлигини аниқлаш бўйича амалдаги иссиқлик моделлари, иссиқлик синовлари услублари ва асосий конструктив ва режим параметрларини оптималлаштириш соҳасида бажарилган тадқиқотлар натижаларини қиёсий таҳлил қилиш асосида мазкур коллекторнинг шаффоф қоплама (ШҚ)ларида қуёш нурланиши (ҚН)нинг қисман ютилиши ва иссиқликка айланишининг коллектор нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панел (НИАП)ларининг мазкур ШҚ орқали иссиқлик йўқотишларига таъсири, уларнинг ўртача иш ҳарорати, уларнинг иссиқлик ташувчи канал (ИТК)ларида ҳаракатланаётган суюқ иссиқлик ташувчи муҳит (СИТМ)нинг ўртача массавий ҳарорати, тадқиқ қилинаётган япроқ-кувур НИАПларининг қувурлараро масофасини улар орқали ўтаётган СИТМ сарфига боғлиқ равишда ўрганилмаганлиги, мазкур НИАПларнинг амалдаги иссиқлик синовларини қайта ишлаш услублари асосида уларнинг иссиқлик самарадорлиги ва атроф-муҳитга иссиқлик йўқотиш коэффициентларини алоҳида аниқлашнинг имконияти йўқлиги ҳамда мазкур коллекторларнинг иссиқ сув таъминоти тизим (ИСТТ)ларидаги ресурс кўрсаткичларининг улардан олинадиган иссиқ сув ҳароратига боғлиқ равишда аниқлаш услубининг етарлича ишлаб чиқилмаганлиги ифодаланган.

Диссертациянинг «**Ясси қуёш коллекторларининг шаффоф қопламаларида қуёш нурланишининг қисман ютилиши ва иссиқликка айланиши ва уларда ички иссиқлик манбаи мавжуд бўлганда кечаётган иссиқлик жараёнларини моделлаштириш**» деб номланган иккинчи бобида ЯҚКнинг ШҚларида улар орқали ўтаётган ҚНнинг қисман ютилиши ва иссиқликка айланиши натижасида уларда ички иссиқлик манбаи (ИИМ)нинг шаклланиши, ҳарорат майдонлари ва улар орқали иссиқлик узатилиши уларда ИИМ мавжуд бўлган ҳолат учун ўрганилган.

ЯҚК ШҚларида уларнинг ташқи сиртига тушувчи йиғинди (тўғри ва диффуз) ҚНнинг ва НИАП сиртидан қайтувчи ва ШҚнинг ички сиртига тушувчи диффуз ҚНнинг мазкур ШҚ орқали ўтиш жараёнида унинг ташқи ва

$$q_v(x) = \frac{1}{\delta_{uu}} \left[A_1 \left(1 - e^{-\frac{[\beta(\delta-x)]_{uu}}{\cos r_m}} \right) + A_2 \left(1 - e^{-\frac{(\beta x)_{uu}}{\cos r_m}} \right) + (B_1 + C_1) \left(1 - e^{-\frac{[\beta(\delta-x)]_{uu}}{\cos r_o^{\text{ref}}}} \right) + (B_2 + C_1) \left(1 - e^{-\frac{(\beta x)_{uu}}{\cos r_o^{\text{ref}}}} \right) \right] \quad (1)$$

1-ШҚ; 2-«НИАП-ШҚ» тизимининг БХҚ;
3- НИАП

**1-расм. ЯҚК ШҚлари орқали ўтаётган
ҚНларининг кўп марталаб ички қайтиши
ва ютилишининг принципиал схемаси**

$$q_{nom_w}^\Sigma = q_v \delta_w = (A_1 + A_2) \left[1 - \frac{\cos r_m}{(\beta \delta)_w} \left(1 - e^{-\frac{(\beta \delta)_w}{\cos r_m}} \right) \right] + (B_1 + B_2 + C_1 + C_2) \left[1 - \frac{\cos r_\partial}{(\beta \delta)_w} \left(1 - e^{-\frac{(\beta \delta)_w}{\cos r_\partial}} \right) \right] \quad (2)$$

Ҳисобий изланишлар натижаларига кўра қалинлиги ($\delta_{ш}$) 0,004 м, синдириш кўрсаткичи ($n_{ш}$) 1,526 бўлган оддий дераза шишасидан иборат ШҚда тўғри ($q_{туш}^T$) ва диффуз ($q_{туш}^D$) ҚН оқимининг юзавий зичлиги мос равишда 700 Вт/м^2 ва 70 Вт/м^2 бўлганда ҳамда мазкур ШҚ сиртига тушаётган ҚНнинг тушиш бурчаги (i_T) 30° , диффуз ҚНнинг эквивалент тушиш бурчаги ($i_{\delta}^{экв}$) $58,2^\circ$ бўлганда унда ҳосил бўлган ИИМ қувватининг

юзавий зичлиги ($q_{\Sigma_{\text{ют}_{\text{ш}}}}^{\Sigma}$) НИАП қорайтирилган сиртининг ҚНни интеграл самаравий қайтариш коэффиценти (ρ_p) 0,05 бўлганда 41,42 Bm/m^2 ва 0,10 бўлганда 43,26 Bm/m^2 ни ташкил қилади ва бу ҳолат учун (2) ифодадаги A_1 , A_2 , B_1 , B_2 , C_1 ва C_2 ларнинг қийматлари мос равишда 669,6; 27,1; 64,4; 4,9; 57,8 ва 7,3 Bm/m^2 ни ташкил қилади.

ЯҚҚнинг ШҚларида қуввати $\frac{q_{\Sigma_{\text{ют}_{\text{ш}}}}^{\Sigma}(x)}{\delta_{\text{ш}}}$ га тенг бўлган ИИМ мавжуд бўлган шароитда унинг иссиқлик ўтказувчанлик дифференциал тенгламасини

$$\frac{d^2 t_x}{dx^2} + \frac{q_{\Sigma_{\text{ют}_{\text{ш}}}}^{\Sigma}(x)}{(\delta\lambda)_{\text{ш}}} = 0 \quad (3)$$

интеграллаш асосида ишда мазкур ШҚ қалинлиги бўйича ҳарорат (t_x) ва иссиқлик оқими юзавий зичлигининг (q_x) тақсимланиши ва уларнинг ШҚ ички ($t_{\text{ш}}, q_{x=0}$) ва ташқи ($t_{\text{ш}_2}, q_{x=\delta}$) сиртларидаги қийматларини ҳисоблаш учун тегишли ифодалар ҳосил қилинган.

Табиийки, ЯҚҚнинг ШҚларида ИИМнинг мавжудлиги унинг ички сирти ($t_{\text{ш}_1}$) ҳароратининг $\Delta t_{\text{ш}_1}$ га ошишига ва бу ўз навбатида НИАПнинг мазкур ШҚ орқали иссиқлик йўқотишини

$$\Delta q_{\text{ш}_1} = K_{\text{ш}_{p-o}} (\bar{t}_p - t_o) - \alpha_{\Sigma_{\text{ш}_{p-\text{ш}_1}}}^{\Sigma} \Delta t_{\text{ш}_1} \quad (4)$$

га камайишига олиб келади. Бу ерда

$$K_{\text{ш}_{p-o}} = \left(\frac{1}{\alpha_{\Sigma_{\text{ш}_{p-\text{ш}_1}}}^{\Sigma}} + \frac{\delta_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{ш}}} + \frac{1}{\alpha_{\Sigma_{\text{таш}_{\text{ш}_2-o}}}^{\Sigma}} \right)^{-1} \quad (5)$$

– НИАПнинг мазкур ШҚда ИИМ мавжуд бўлмаган ҳолда (яъни $\beta_c=0$)ги иссиқлик йўқотиш коэффиценти; $\alpha_{\Sigma_{\text{ш}_{p-\text{ш}_1}}}^{\Sigma}$ – НИАП ва ШҚнинг ички сирти ўртасидаги умумий (конвектив ва нурланиш орқали) иссиқлик алмашинув коэффиценти; λ_c – ШҚ материалининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти; $\alpha_{\Sigma_{\text{таш}_{\text{ш}_2-o}}}^{\Sigma}$ – ШҚ ташқи сирти ва атроф-муҳит ўртасидаги умумий иссиқлик алмашинув коэффиценти; $\bar{t}_p$ – НИАПнинг ўртача иш ҳарорати; t_o – атроф-муҳит ҳарорати.

Ишда (4) ифодадаги $\Delta t_{\text{ш}_1}$ қийматининг шаклланиш қонуниятларини таҳлил қилиш асосида НИАПнинг ШҚ орқали атроф-муҳитга самаравий иссиқлик йўқотиш коэффицентини аниқлаш учун

$$K_{\text{ш}_{p-o}}^{\text{эфф}} = K_{\text{ш}_{p-o}} \left[1 - 2,36 \cdot 10^{-3} \frac{\beta_c q_{\Sigma_{\text{таш}_{\text{ш}_2-o}}}^{\Sigma} (0,9485 + \rho_{p-\text{эфф}})}{\alpha_{\Sigma_{\text{таш}_{\text{ш}_2-o}}}^{\Sigma} (\bar{t}_{p-\text{эфф}} - t_o)} \right] \quad (6)$$

аппроксимацион ифода ўрнатилиб, унда $K_{\text{ш}_{p-o}}$ дан фарқли равишда, ШҚда

ҚНнинг қисман ютилиши ва иссиқликка айланиши ҳамда НИАП сиртининг самаравий нур қайтариш коэффициенти $\rho_{p_{эфф}}$ ҳисобга олинган.

Бажарилган илмий изланишлар натижаларига кўра $q_{туш_c}^\Sigma = 800 \text{ Вт/м}^2$, $\alpha_{таш_{ш2-o}}^\Sigma = 25,0 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\bar{t}_p = 50^\circ\text{C}$, $t_o = 30^\circ\text{C}$; $\delta_{ш} = 0,004 \text{ м}$, $\lambda_{ш} = 0,75 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $\alpha_{хк_{p-ш1}}^\Sigma = 8,4406 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ва $\rho_{p_{эфф}} = 0,05$ бўлганда яхши сифатли ШҚлар ($\beta_{ш} = 15 \div 20 \text{ м}^{-1}$) учун $K_{ш_{p-o}}^{эфф}$ нинг $K_{ш_{p-o}}$ ($6,118 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$)га нисбатан камайиши $7 \div 9\%$ ни ва ўрта сифатли ШҚлар ($\beta_{ш} = 30 \div 35 \text{ м}^{-1}$) учун $11,3-13,7\%$ ни ташкил қилади. Ишда «НИАП–ШҚ» тизими БХҚ қатламида кечадиган иссиқлик жараёнларининг $\alpha_{хк_{p-ш1}}^\Sigma$ нинг БХҚ нинг ўртача ҳарорати ($\bar{t}_{хк}$)га боғлиқлиги қонуниятларини тадқиқ қилиш асосида ўзгарганда ва $\alpha_{таш_{ш2-o}}^\Sigma = 25,0 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\delta_{ш} = 0,004 \text{ м}$, $\lambda_{ш} = 0,75 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ бўлганда ЯҚКнинг БХҚнинг оптимал қалинлиги $\delta = 0,014 \text{ м}$ ва $\beta_c = 0$ бўлганда $K_{кел_{p-o}}$ нинг $\bar{t}_p$ ва t_o қийматларининг $40^\circ\text{C} \leq \bar{t}_p \leq 60^\circ\text{C}$ ва $20^\circ\text{C} \leq t_o \leq 40^\circ\text{C}$ диапазонлардаги ўзгаришларига боғлиқлиги аниқлаш учун

$$K_{кел_{p-o}} = 5,8426 + 0,0218 \bar{t}_p + 0,0117 t_o, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \quad (7)$$

аппроксимацион ифода ўрнатилди.

Коллектор ШҚсида ҚНнинг қисман ютилиши ва иссиқликка айланишини ҳисобга олган ҳолда коллекторнинг самаравий келтирилган иссиқлик йўқотиш коэффициенти ($K_{кел_{p-o}}^{эфф}$) ни аниқлаш учун

$$K_{кел_{p-o}}^{эфф} = \left(4,2501 + 0,0218 \bar{t}_{p_{эфф}} + 0,0117 t_o \right) (1 - A \beta_c / (\bar{t}_{p_{эфф}} - t_o)) + 1,5925, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}, \quad (8)$$

ифода тақдим қилинди. Унда

$$A = 2,36 \cdot 10^{-3} q_{туш_{ш}}^\Sigma (0,9485 + \rho_{p_{эфф}}) / \alpha_{таш_{ш2-o}}^\Sigma, \text{ м} \cdot \text{°C}. \quad (9)$$

$\beta_c = 0$ бўлганда (8) ечим (7) шаклга келади.

Диссертациянинг «Суюқ иссиқлик ташувчи муҳитларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторларининг япроқ-қувур шаклидаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларида кечадиган иссиқлик жараёнларини моделлаштириш» деб номланган учинчи бобида ЯҚКнинг асосий унсури бўлган ҚНни ютиб, уни паст потенциалли иссиқликка айлантирувчи ва уни қиздириладиган муҳитга берувчи НИАПларининг асосий иссиқлик-техникавий параметрларини моделлаштириш ёрдамида аниқлаш натижалари келтирилган.

НИАПлардаги иссиқлик жараёнлари унинг қорайтирилган сиртида ютилаётган йиғинди ҚН, унинг ўртача иш ҳарорати ва унинг ИТКларида ҳаракатланаётган СИТМнинг ўртача массавий ҳарорати, режими ва тавсифи таъсири остида шаклланади.

НИАПнинг қорайтирилган сиртида ютиладиган йиғинди ҚН оқимининг юзавий зичлиги ($q_{\text{ют}p}^{\Sigma}$)

$$q_{\text{ют}p}^{\Sigma} = (\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^m q_{\text{тушш}}^m + (\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^{\delta} q_{\text{тушш}}^{\delta}, \quad (10)$$

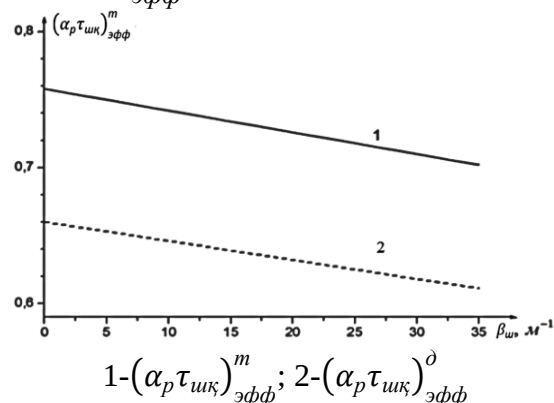
ифода орқали аниқланади. Бу ерда $(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^m$ ва $(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^{\delta}$ – НИАП қорайтирилган сиртининг тўғри ва диффуз ҚН учун келтирилган самаравий ютиш коэффицентлари.

Ишда ШҚларнинг ҚНни самаравий ўтказиш коэффиценти ($\tau_{\text{шэфф}}$) НИАП сиртининг ҚНни самаравий ютиш коэффиценти ($\alpha_{p\text{эфф}}$) ва ШҚнинг ташқи сиртидаги чанг ва кир қатламларининг тушаётган ҚНни ўтказиш коэффиценти ($\tau_{\text{чк}}$)ни аниқлаш бўйича ифодалар асосида НИАП сиртининг мазкур коллектор фронтал сиртининг бирлик юзасига келтирилган самаравий иссиқлик йўқотиш коэффицентини аниқлаш учун

$$(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}} = \left[\frac{(1-\rho_{\text{ш}})^2 \tau_{\text{чк}} e^{-\frac{(\beta\delta)_{\text{ш}}}{\cos r}}}{1-\rho_{\text{ш}}^2 e^{-\frac{2(\beta\delta)_{\text{ш}}}{\cos r}}} - (1-\tau_{\text{шр}}) \right] \frac{\alpha_p}{1-\rho_p \rho_{\text{шэфф}}^{\delta}}, \quad (11)$$

тўғри ва диффуз ҚН учун умумий ҳолда ёзилган ифода ҳосил қилиниб, унда $\rho_{\text{ш}}$ – ШҚнинг ҚНни қайтариш коэффиценти; α_p – НИАП қорайтирилган сиртининг ҚНни ютиш коэффиценти; $\rho_{\text{шэфф}}^{\delta}$ – ШҚнинг НИАП қорайтирилган сиртидан қайтувчи диффуз ҚНни самаравий қайтариш коэффиценти; $\tau_{\text{шр}}$ – ШҚ ромининг ҚН ўтказиш коэффиценти.

Бир қатламли оддий дераза шиша ($\delta_{\text{ш}}=0,004$ м, $n_{\text{ш}}=1,526$)сидан иборат бўлган ШҚ учун $i_m=0$; $i_{\text{эфф}}^{\text{ЭКВ}}=58,2^{\circ}$; $\tau_{\text{шр}}=0,93$; $\tau_{\text{чк}}=0,94$; $\rho_{p\text{эфф}}=0,05$; $\alpha_p^m=0,95$; $\rho_{p_r}=0,05$; $\alpha_p^{\delta}=0,90$; $\rho_p^{\delta}=0,10$ ва $\rho_{\text{шэфф}}^{\delta}=0,15$ бўлгандаги $(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^m$ ва $(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^{\delta}$ ларнинг $\beta_{\text{ш}}$ га боғлиқлик графиклари 2-расмда келтирилган.



2-расм. $(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}$ нинг $\beta_{\text{ш}}$ га боғлиқлиги

2-расмдаги графикларнинг таҳлилига кўра $(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^m$ ва $(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^{\delta}$ ларнинг $\beta_{\text{ш}}$ га боғлиқлиги унинг 0 дан 35 м^{-1} гача бўлган ўзгариш оралиғида деярли чизикли бўлганлиги боис мазкур боғлиқликни

$$(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^m = 0,758 - 0,0016 \beta_{\text{ш}}, \quad (12)$$

$$(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^{\delta} = 0,660 - 0,0014 \beta_{\text{ш}} \quad (13)$$

аппроксимацион ифодалар орқали тақдим қилиш мумкин.

СИТМларни қиздиришга мўлжалланган ЯҚК НИАПларида кечадиган иссиқлик жараёнларини моделлаштиришнинг марказий масалаларидан бири

уларнинг атроф-муҳитга йўқотадиган иссиқлик оқимини ҳисоблашдаги асосий фактор бўлган ўртача иш ҳарорати ($\bar{t}_p$)ни аниқлашдир.

Мазкур масалани тажриба усули билан, яъни $q_{\Sigma_{юм_{и}}}$ ва t_o нинг ҳар хил қийматларида кўп сонли термोजуфтликлар орқали НИАПларнинг юзасидаги маҳаллий ҳароратларни ўлчаб, уларнинг ўртача қийматлари асосида аниқлаш иложсиз хатоликларга олиб келади. Шу боис $\bar{t}_p$ нинг қийматини ШҚ орқали ўтаётган ҚНнинг қисман ютилиши ва иссиқликка айланиши таъсирини ҳисобга олган ҳолда аниқлаш учун (8) ифода ва ЯҚКларнинг келтирилган иссиқлик унумдорлигини аниқлаш бўйича

$$q_{\phi o i} = q_{\Sigma_{юм_p}} - K_{кел_{p-o}}^{\phi \phi} (\bar{t}_{p_{\phi \phi}} - t_o) \quad (14)$$

ифодани биргаликда ечиш асосида илк бор бевосита (контактсиз) усул таклиф қилинди ва $\bar{t}_{p_{\phi \phi}}$ нинг қийматини аниқлаш учун

$$\bar{t}_{p_{\phi \phi}} = 22,9358 \{ [(5,8426 - 0,010 t_o - 0,0218 A\beta_c)^2 + 0,0872 ((5,8426 + 0,0117 A\beta_c) t_o + 0,0117 t_o^2 + 4,2501 A\beta_c + q_{\Sigma_{юм_p}} - q_{\phi o i})]^{0,5} - 58426 + 0,0101 t_o + 0,028 A\beta_c \}, ^\circ C \quad (15)$$

формула таклиф қилиниб, унинг ишончлилиқ даражаси асослаб берилди.

(15) формулада

$$q_{\phi o i} = (\dot{m} c_p)_f (t_{f_{чиқ}} - t_{f_{кир}}) \quad (16)$$

қаралаётган коллекторнинг бирлик фронтал сирти юзасига келтирилган иссиқлик унумдорлиги, $\dot{m}_f$ – коллектор орқали ўтаётган СИТМнинг унинг бирлик фронтал сирти юзасига келтирилган сарфи; c_p – СИТМнинг солиш-тирма иссиқлик сиғими; $t_{f_{кир}}$ ва $t_{f_{чиқ}}$ – мос равишда СИТМнинг коллекторга киришдаги ва ундан чиқишдаги ҳароратлари.

ЯҚКнинг НИАПларида кечадиган иссиқлик жараёнларини моделлаштиришнинг яна бир муҳим жиҳати улар орқали оқиб ўтаётган СИТМнинг мазкур НИАПларнинг ИТКлари узунлиги бўйича ўрталаштирилган ўртача массавий ҳарорати ($\bar{t}_{f_l}$)ни аниқлашдир.

Юқорида (кириш қисмда) таъкидлаб ўтилганидек, мавжуд амалиётда ЯҚКнинг иссиқлик синовлари натижаларини қайта ишлашда $\bar{t}_{f_l}$ нинг ўрнига унинг

$$\bar{t}_{f_{ap}} = 0.5(t_{f_{чиқ}} + t_{f_{кир}}) \quad (17)$$

ифода ёрдамида аниқланадиган ўртача арифметик қийматидан фойдаланилади ва мазкур ифода бўйича ҳисобланган $\bar{t}_{f_{ap}}$ нинг қиймати $\dot{m}_f$ га боғлиқ ҳолда 4÷5% гача хатоликка олиб келади.

Япроқ-кувур шаклидаги НИАП бирлик унсурининг элементар бўлаги учун иссиқлик баланси тенгламасини тузиш ва уни (14) ва (16) ифодалар

билан биргаликда ечиш асосида $\bar{t}_{f_l}$ ни аниқлаш услуби ишлаб чиқилди ва уни ҳисоблаш учун илк бор

$$\bar{t}_{f_l} = \frac{q_{\Sigma p}^{\Sigma}}{K_{\text{келр-о}}^{\text{эфф}}} + t_o - \left(t_{f_{\text{чик}}} - t_{f_{\text{кир}}} \right) \left/ \ln \frac{\frac{q_{\Sigma p}^{\Sigma}}{K_{\text{келр-о}}^{\text{эфф}}} + t_o - t_{f_{\text{кир}}}}{\frac{q_{\Sigma p}^{\Sigma}}{K_{\text{келр-о}}^{\text{эфф}}} + t_o - t_{f_{\text{чик}}}} \right. \quad (18)$$

ифода таклиф қилинди.

Ҳисобий изланишлар натижаларига кўра $t_o=37,7^\circ\text{C}$, $q_{\Sigma \text{туш}_c}^{\Sigma}=840 \text{ Вт/м}^2$ ($q_{\text{туш}_c}^m=745 \text{ Вт/м}^2$, $q_{\text{туш}_c}^0=95 \text{ Вт/м}^2$), $\beta_{\text{ш}}=35\text{м}^{-1}$, $(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^T=0,70$ ва $(\alpha_p \tau_{\text{шк}})_{\text{эфф}}^D=0,61$ бўлганида $q_{\Sigma p}^{\Sigma}$ нинг (10) ифода бўйича ҳисобланган қиймати $579,45 \text{ Вт/м}^2$ га тенг. $q_{\text{фой}}$ нинг $t_{f_{\text{кир}}}=20,2^\circ\text{C}$, $t_{f_{\text{чик}}}=60,1^\circ\text{C}$, $\dot{m}_f=2,5495 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$ ва $C_{p_f}=4186,8 \text{ Дж/(кг } ^\circ\text{C)}$ бўлганидаги (18) ифода бўйича ҳисобланган қиймати $425,90 \text{ Вт/м}^2$ ни ташкил қилади. $\bar{t}_{p_{\text{эфф}}}$ нинг (17) ифода бўйича ҳисобланган қиймати $55,53^\circ\text{C}$ га тенг. $\bar{t}_{p_{\text{эфф}}}$, t_o , $q_{\Sigma \text{туш}_c}^{\Sigma}$, $\alpha_{\text{таш}_c}^{\Sigma}$ ва $\beta_{\text{ш}}$ нинг кўрсатилган қийматларида ва $\rho_{p_{\text{эфф}}}=0,05$ бўлганда $K_{\text{келр-о}}^{\text{эфф}}$ нинг (8) ифода асосида ҳисобланган қиймати $6,7264 \text{ Вт/(м}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$ ни ташкил қилади. $\bar{t}_{f_l}$ нинг юқорида кўрсатилган параметрлари қийматлари асосида (18) ифода бўйича ҳисобланган қиймати $41,87^\circ\text{C}$ га тенг бўлиб, у $\bar{t}_{f_{ap}}$ нинг (17) ифода орқали ҳисобланган қиймати ($40,15^\circ\text{C}$)га нисбатан $1,72^\circ\text{C}$ га (яъни $4,27\%$ га) юқоридир.

$K_{\text{келр-о}}^{\text{эфф}}$ билан бир қаторда ЯҚКнинг асосий иссиқлик параметрларидан бири уларнинг НИАПлари иссиқлик самарадорлиги коэффициенти (η_{uan}) бўлиб, у НИАП элементларидан унинг ИТКларида ҳаракатланаётган СИТМга иссиқлик берилишининг самарадорлигини тавсифлайди.

Ишда $\bar{t}_{f_\ell}$ нинг шаклланиш қонуниятларини таҳлил қилиш асосида ЯҚК НИАПнинг иссиқлик самарадорлиги коэффициентини аниқлаш учун

$$\eta_{uan} = \frac{(\dot{m}c_p)_f}{K_{\text{келр-о}}^{\text{эфф}}} \ln \left[\left(\frac{q_{\Sigma p}^{\Sigma}}{K_{\text{келр-о}}^{\text{эфф}}} + t_o + t_{f_{\text{кир}}} \right) / \left(\frac{q_{\Sigma p}^{\Sigma}}{K_{\text{келр-о}}^{\text{эфф}}} + t_o + t_{f_{\text{чик}}} \right) \right] \quad (19)$$

ифода ўрнатилган. Ҳисобий изланишлар натижаларига кўра $(\dot{m}c_p)_f=10,6742 \text{ Вт/(м}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$, $K_{\text{келр-о}}^{\text{эфф}}=6,7264 \text{ Вт/(м}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$, $q_{\Sigma p}^{\Sigma}=579,45 \text{ Вт/м}^2$, $t_o=32,7^\circ\text{C}$, $t_{f_{\text{кир}}}=20,2^\circ\text{C}$, $t_{f_{\text{чик}}}=60,1^\circ\text{C}$ бўлганда η_{uan} нинг (20) ифода бўйича ҳисобланган қиймати $0,8225$ ни ташкил қилади.

$q_{\text{фой}}$ нинг (14), (16) ва $\eta_{uan}=0,8225$ бўлганда

$$q_{\text{фой}} = \eta_{uan} [Q_{\Sigma p}^{\Sigma} - K_{\text{келр-о}}^{\text{эфф}} (\bar{t}_{f_l} - t_o)] \quad (20)$$

ифода бўйича ҳисобланган қийматлари ($425,90 \text{ Вт/м}^2$)нинг бир хиллиги ЯҚК НИАПларининг таклиф қилинган иссиқлик модели ва у асосида бажарилган

$K_{\text{кел}p-o}^{\text{эфф}}$, $\bar{t}_{p\text{эфф}}$, $\bar{t}_{f_l}$, ва $\eta_{\text{уап}}$ ларни ҳисоблаш услубларининг ишончилигини тасдиқлайди.

Жаҳон амалиётида ЯҚКнинг юқори самарали ва кам металл сарфловчи авлодларини яратиш соҳасидаги бош масалалардан бири мазкур коллекторнинг максимал иссиқлик унумдорлигини улар НИАПларининг минимал массасида таъминлашдир. Ишда коллекторнинг келтирилган иссиқлик унумдорлиги ($q_{\text{фой}}$)нинг унинг НИАПининг коллектор фронтал сиртининг бирлик юзасига келтирилган массаси ($m_{\text{уап}}^{\text{кел}}$)га нисбатини аниқлаш учун

$$\frac{q_{\text{фой}}}{m_{\text{уап}}^{\text{кел}}} = \frac{(2a_{\text{нюп}}\eta_{\text{нюп}} + d_{\text{таш}})\pi d_{\text{ич}}\bar{\alpha}_{\kappa_{\text{ич}}}\left[q_{\text{юмп}}^{\Sigma} - K_{\text{кел}p-o}(\bar{t}_{f_l} - t_o)\right]}{\left[(2a_{\text{нюп}}\eta_{\text{нюп}} + d_{\text{таш}})K_{\text{кел}p-o} + \pi d_{\text{ич}}\bar{\alpha}_{\kappa_{\text{ич}}}\right]\left[2a_{\text{нюп}}\eta_{\text{нюп}}\rho_{\text{нюп}} + 0,25\pi(d_{\text{таш}}^2 - d_{\text{ич}}^2)\right]\rho_{\text{итк}}}, \quad (21)$$

ифода ҳосил қилиниб унда

$$\eta_{\text{нюп}} = th\left(a_{\text{нюп}}\sqrt{\frac{K_{\text{кел}p-o}}{(\delta\lambda)_{\text{нюп}}}}\right) / a_{\text{нюп}}\sqrt{\frac{K_{\text{кел}p-o}}{(\delta\lambda)_{\text{нюп}}}} \quad (22)$$

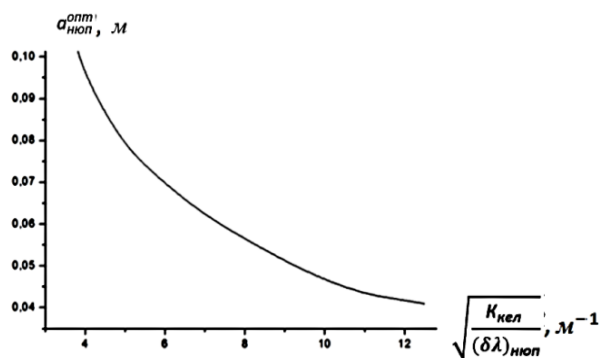
– япроқ-кувур НИАПнинг нур ютувчи пластинка (НЮП)сининг иссиқлик самарадорлиги коэффиценти; $a_{\text{нюп}}$, $\delta_{\text{нюп}}$, ва $\lambda_{\text{нюп}}$ – мос равишда НЮП кенглигининг ярми, қалинлиги ва материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти; $d_{\text{ич}}$, $d_{\text{таш}}$ – мос равишда НИАП ИТКларининг ички ва ташқи диаметрлари; $\alpha_{\kappa_{\text{ич}}}$ – ИТКлар девори ички сиртининг конвектив иссиқлик алмашинув коэффицентининг ўртача қиймати; $\rho_{\text{нюп}}$ ва $\rho_{\text{итк}}$ – мос равишда НЮП ва ИТКлар ясаиш материалларининг зичлиги.

(21) ифода мақсадли функция сифатида $a_{\text{нюп}}$ нинг критик қийматларини $\alpha_{\kappa_{\text{ич}}}$ нинг таъсирини ҳисобга олган ҳолда (СИТМнинг ИТКлар орқали сарфи – G_f орқали) аниқлаш учун ўта мураккаб бўлганлиги боис $a_{\text{нюп}}^{\text{кр}}$ нинг G_f га боғлиқлиги ишда график ечим орқали аниқланди.

(21) ифоданинг кўп параметрлилиги ва $\alpha_{\kappa_{\text{ич}}}$ нинг G_f ва $\bar{t}_{f_l}$ га мураккаб боғлиқлиги боис, $\frac{q_{\text{фой}}}{m_{\text{уап}}^{\text{кел}}}$ нинг қийматини аниқлаш учун MathCAD 2001 Professional пакетида алгоритм ва дастурий таъминот ишлаб чиқилди ва у япроқ-кувур шаклидаги НИАП ларнинг қувурлараро масофаси ва улар орқали суюқлик сарфини комплекс оптимизациялаш учун таклиф қилинган математик модел (DGU № 02506) учун асос бўлди.

Ҳисобий изланишлар натижаларига кўра ЯҚК ларидан ҳарорати $55\div 60^\circ\text{C}$ бўлган иссиқлик сув олиш учун СИТМнинг оптимал сарфи $8\div 12 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{соат})$ ва ҳарорати $35\div 40^\circ\text{C}$ бўлган илиқ сув олиш учун $20\div 25 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{соат})$ ни ташкил қилади.

Қўйилган масалани ечиш учун мазкур ишда бажарилган илмий-тадқиқот ишлари натижаларини умумлаштириш асосида ЯҚКнинг япроқ-кувур шаклидаги НИАПларида қувурлараро масофанинг оптимал қиймати



3-расм Суюқликларни киздиришга мўлжалланган ЯҚКнинг япроқ-кувур шаклидаги НИАПларида қувурлараро масофаси оптимал қиймати ярми (a_{nio}^{opt}) нинг $\sqrt{\frac{K_{kel}}{(\delta\lambda)_{nio}}}$ параметрига боғлиқлиги

ларини оптималлаштириш бўйича олинган натижаларнинг амалийлиги ва a_{nio}^{opt} ни аниқлаш бўйича таклиф қилинган иссиқлик моделнинг ишончлигини тасдиқлайди.

3-расмда келтирилган натижалар асосида СИТМларни киздиришга мўлжалланган ЯҚКнинг иссиқликка бардошли пластик маҳсулотлардан тайёрланадиган НИАПларининг янги конструктив ечими таклиф қилинди («Қуёш энергияси коллектори» ФМ учун №00908 рақамли патент, 03.04.2014).

Диссертациянинг «Суюқ иссиқлик ташувчи мухитларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторларининг асосий иссиқлик-техникавий параметрларини аниқлаш учун квазибарқарор табиий шароитларда ўтказиладиган тажрибалар ва уларнинг натижаларини қайта ишлаш услубларини ривожлантириш» деб номланган тўртинчи бобида мазкур турдаги коллекторларнинг иссиқлик синовлари ва уларнинг натижаларини қайта ишлаш услубларини мукаммаллаштириш бўйича тадқиқотлар натижалари келтирилган. Таъкидлаш лозимки, ЯҚКни АҚШ Миллий стандартлар бюросининг умумтанолинган услуги бўйича синов натижаларини график усулда қайта ишлаш асосида фақат η_{uan} ва $K_{kel\,p-o}$ ларнинг кўпайтмасидан иборат бўлган комплекс — $(\eta_{uan}K_{kel\,p-o})$ нинг туш пайтидаги қийматини аниқлаш мумкин.

ЯҚКнинг иссиқлик синовлари юзасидан ишда таклиф қилинган мукаммаллаштирилган услубнинг моҳияти уларнинг синов натижаларини қайта ишлаш амалиётига $\bar{t}_{p\,эфф}$ ва $\bar{t}_{fl}$ ларнинг қийматларини аниқлаш бўйича биринчи марта таклиф қилинган ифодаларни ҳамда синовларни ўтказиш жараёнларини оқилона режалаштириш ва уларнинг ўтказиш муддатларини сезиларли қисқартиришни имконини берувчи қўшимча шартларни киритишдан иборат. Таъкидлаш лозимки, ЯҚКнинг квазибарқарор табиий

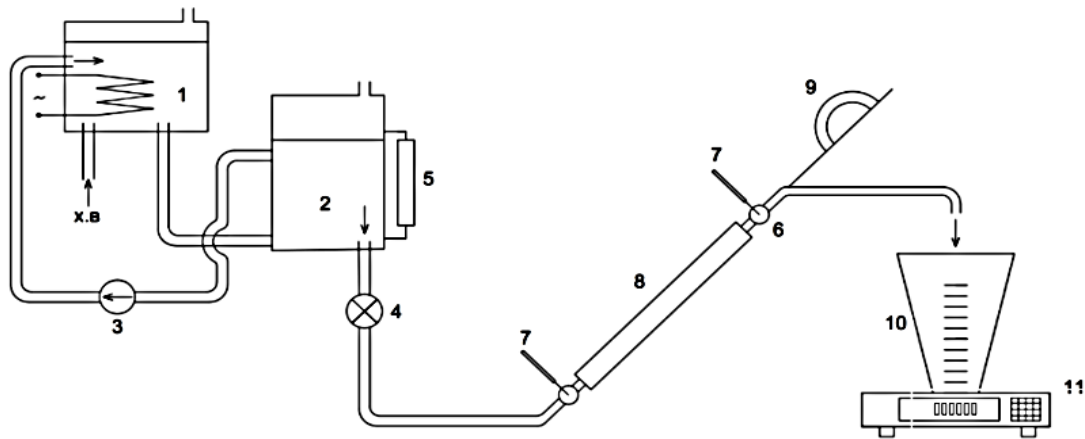
(a_{nio}^{opt}) нинг $\sqrt{\frac{K_{kel\,p-o}}{(\delta\lambda)_{nio}}}$ параметрга боғлиқ графиги ўрнатилди (3-расм).

Мисдан ясалган НИАПларнинг қалинлиги $\delta_{nio}=0,25$ мм бўлган НЮПлари кенглиги (a_{nio}) нинг коллекторлар сони бўйича тақсимланиши таҳлилига кўра америкалик коллекторлар ишлаб чиқарувчилар маҳсулотининг 33 модификацияси-

дан 25 таси (яъни 75%)да $\sqrt{\frac{K_{kel\,p-o}}{(\delta\lambda)_{nio}}}$ нинг қийматлари $7,5\div 9,0$ м⁻¹ оралиғида a_{nio} қийматлари $0,05\div 0,063$ м ни ташкил қилади ва ўз навбатида ЯҚКнинг япроқ-кувур шаклидаги НИАПларнинг қувурлараро масофа-

шароитларда иссиқлик синовларини ўтказиш жараёнида уларнинг ШҚларида ҚНнинг ютилиши ва иссиқликка айланишининг $K_{келр-о}$ га таъсири ва унинг $\bar{t}_{рэфф}$ ва t_o га боғлиқлиги қоидага мувофиқ ўлчаш натижаларида механик тарзда ҳисобга олинади. Шу боис ЯҚК иссиқлик синовларининг тажриба натижаларини қайта ишлашда $K_{келр-о}$ нинг $\beta_{ш}$, $q_{тушс}^{\Sigma}$, $\rho_{рэфф}$, $\bar{t}_{рэфф}$, $\alpha_{ташс2-о}^{\Sigma}$ ва t_o га боғлиқлигини ҳисобга олиш талаб қилинмайди ва $K_{келр-о}$ нинг қиймати $K_{келр-о}^{эфф}$ нинг қийматига тенг деб қабул қилинади.

СИТМларни қиздиришга мўлжалланган ЯҚКнинг иссиқлик синовлари уларнинг горизонтга нисбатан қиялигини 20 дан 40° гача ва азимутал йўналишини $\pm 5^\circ$ га ўзгартиришига имкон берувчи махсус стенда ўтказилиши мақсадга мувофиқ. СИТМларни қиздиришга мўлжалланган ЯҚК иссиқлик синовларини ўтказиш учун очиқ контурли оддий синов стендининг принцинал схемаси 4-расмда келтирилган.



1-ростланувчан электр иситгичли жамлагич бак; 2-суюқликнинг доимий сарфини таъминловчи жамлагич бак; 3-циркуляцион насос; 4-ростагич вентиль; 5-кўриш шишаси; 6-суюқликни аралаштириш камераси; 7-шишалик термометрлар; 8-синладиган ЯҚКи; 9-пиранометр; 10-мензурка; 11-электрон тарози.

4-расм. ЯҚКнинг иссиқлик синовларини ўтказиш учун очиқ контурли стендининг принцинал иш схемаси

ЯҚК орқали СИТМнинг доимий сарфи (G_f) ва юқори қисмларида сув устидаги босим ва атмосфера босими билан тенглаштириб турувчи ўзаро уланган 2 та (1 ва 2) жамлагич баклар ёрдамида амалга оширилади.

Коллекторга кираётган СИТМ ҳарорати ($t_{f_{куп}}$)нинг доимийлигини таъминлаш учун (1) жамлагич бакнинг ҳажми коллектор фронтал сиртининг бирлик сатҳига 100 л ни, (2) жамлагич бакнинг ҳажми 15 л/м² бўлиши лозим. Суюқликнинг коллектор орқали сарфи (2) жамлагич бак ва (8) коллектор ўртасида ўрнатилган (4) ростлагич вентил ёрдамида амалга оширилади. ЯҚКнинг иссиқлик синовлари ўтказилиши режалаштирилган кун учун

$$Z_{мпв}^{хяк} = Z_{ўқв}^{хяк} + E + 4(L_{ўр} - \lambda_m), \text{ с.м.} \quad (23)$$

ифода асосида берилган жой учун маҳаллий пояс вақти (яъни стандарт вақт) бўйича ҳақиқий ярим кун моменти $Z_{мпв}^{хяк}$ аниқланади.

(23) ифодада $Z_{ўқв}^{хяк}=12c$ – ўртача қуёш вақти (ўқв) бўйича ҳақиқий ярим кун (хяк) моменти. $L_{ўр}$ – қаралаётган маҳаллий соат пояси ўрта меридианининг гра-дуслардаги узунлиги; λ_m – берилган жойнинг шарқий узунлиги бўйича градуслардаги географик узунлиги; E – вақт тенгламасига киритиладиган тузатма.

ЯҚҚнинг $Z_{мпв}^{хяк} \pm 10_{мин}$ вақт оралиғида иссиқлик синовларини ўтказишда визуал кузатувлар натижасига кўра квазибарқарор режимни (яъни $q_{тушc}^{\Sigma} \cong const$, $t_o \cong const$) таъминлаш билан бирга коллектор корпусининг ён деворлари томонидан НИАП сиртининг вертикал сояланиш таъсири минималлашади. НИАП сиртининг горизонтал сояланиши таъсирини минималлаштириш учун $Z_{мпв}^{хяк}$ вақт моментида ЯҚҚни қатъий-жанубий йўналишда уфққа нисбатан $\alpha = 90 - h_{\odot}$ ($h_{\odot}$ – Қуёшнинг баландлиги) бурчак остида ўрнатиш лозим. Мазкур талаблар таъминланган шароитда иссиқлик синовларининг умумий давомийлиги 20 минутни, жумладан, ҳақиқий ярим кун моментида 10 мин олдин ва ундан 10 мин кейинни ташкил қилиши мумкин. Аммо синалаётган коллекторни назорат ўлчовларининг бошланиш вақтигача барқарор иссиқлик режимига чиқариш учун уни эрталаб соат 10 дан кеч бўлмасдан ишга тушириш лозим. Коллекторнинг давомийлиги 3 минутдан кўп бўлмаган ҳар бир иссиқлик синовлари сериясида СИТМнинг коллектор орқали келтирилган сарфи ($\dot{m}_f$), унинг коллекторга киришдаги ($t_{f_{куп}}$) ва чиқишдаги ($t_{f_{чик}}$) ҳароратлари ҳамда $q_{тушc}^{\Sigma}$ ва t_o нинг қийматлари ўлчанади. Юқорида таъкидлаб ўтилганидек, $q_{юмр}^{\Sigma}$ нинг қиймати α_p ва $\tau_{шк}$ ларнинг лаборатория шароитида аниқланган қийматлари асосида аниқланади.

Мазкур бобда СИТМларни қиздиришга мўлжалланган ЯҚҚнинг сутканинг кечқурунги соатларида иссиқлик-техникавий параметрларини аниқлашга асосланган «қоронғи» усулда иссиқлик синовни услубларини ривожлантириш бўйича тадқиқот натижалари келтирилган.

Ўтказилган тажриба натижалари кўра ЯҚҚнинг асосий иссиқлик параметрларини «қоронғи» усулида аниқлашнинг асосий афзаллиги бир соатдан кўп бўлган, тажрибалар давомида t_o , $t_{f_{куп}}$ ва G_f ларнинг доимий қийматларини таъминлаш имконияти мавжуддигидир.

Ушбу бобда қуёший ИСТТлари жамлагич бакларининг сутканинг кечки даврларида нобарқарор иссиқлик режимларини (яъни улардаги иссиқ сув ҳароратининг пасайишини) тадқиқ қилиш натижалари ҳам келтирилган.

Диссертациянинг «Суюқ иссиқлик ташувчи муҳитларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторларининг келтирилган иссиқлик унумдорлиги, техникавий-иқтисодий ва экологик кўрсаткичларини аниқлаш» деб номланган бешинчи бобида ўртача сифатли ЯҚҚнинг келтирилган иссиқлик унумдорлиги ($q_{фой}$)ни ИСТТлари абонентларига бери-

ладиган иссиқ сувнинг олдиндан белгилаб қўйилган қийматлари ($t_{f_{чик}}$)га боғлиқ равишда аниқлаш ва шу асосда улардан фойдаланишнинг техник-кавий-иқтисодий ва экологик кўрсаткичларини тадқиқ қилиш натижалари баён қилинган.

Таъкидлаш лозимки, ҳозиргача ($q_{фой}$)нинг қийматини ($t_{f_{чик}}$)нинг олдиндан белгилаб қўйилган қийматига боғлиқ равишда аниқлаш учун умум тан олинган ифодалар мавжуд эмас. Квазибарқарор шароитларда $q_{фой} = f(t_{f_{чик}})$ боғлиқликни мазкур типдаги коллекторларнинг Хоттел–Уиллер–Блисс (АҚШ) томонидан таклиф қилинган иссиқлик модели асосида, яъни $K_{келр-о}^{эфф}$ ўрнида $K_{келр-о}$ ишлатилган (20) ифода ёрдамида аниқлаш ва $K_{келр-о}$ ни аниқлаш бўйича мазкур ифоданинг таркибига кирувчи параметрларнинг ўзаро боғлиқлигини ва уларнинг ўз навбатида $\bar{t}_{f_l}$ га боғлиқлигини ҳисобга олмасдан аниқлаш катта хатоликларга сабаб бўлиши мумкинлиги аниқланди.

Шу муносабат билан ишда илк бор $q_{фой}$ нинг қийматини $t_{f_{чик}}$ нинг олдиндан белгилаб қўйилган қийматига боғлиқ равишда аниқлаш учун ЯҚКнинг (14), (16) ва (20) тенгламалардан иборат янги иссиқлик (математик) модели тақдим қилинди ва уни амалга оширишда уларнинг таркибига кирувчи $K_{келр-о}^{эфф}$, $\bar{t}_{р_{эфф}}$, $\bar{t}_{f_l}$ ва η_{mn} ларни ҳисоблаш учун ишда илк бор тақдим қилинган мос равишда (8), (15), (18) ва (19) ифодалардан фойдаланиб, уларнинг ўзаро боғлиқлиги ва ҳар бирининг $q_{юбр}^{\Sigma}$, $\dot{m}_f$, $t_{f_{кир}}$, $t_{f_{чик}}$, ва t_o ҳамда коллектор ШҚларида ҚНнинг қисман ютилиши ва иссиқликка айланиши ҳисобга олинди.

ЯҚКнинг тақдим қилинган янги моделини амалиётга татбиқ қилиш учун ишда юқорида кўрсатиб ўтилган параметрларни аниқлаш кетма-кетлиги ва $t_{f_{чик}}$ нинг ИСТТлари абонентлари учун истеъмол аҳамиятига эга бўлган 37, 45 ва 55°C қийматларида $q_{фой} = f(t_{f_{чик}})$ боғлиқлигини аниқлаш учун ҳисоблаш мисоли келтирилган.

(18) ва (19) ечимларини инобатга олган ҳолда (20) ифода бўйича ЯҚК иссиқлик унумдорлигининг кун давомидаги ўртача соатлик қийматлари ($q_{фой_i}$) нинг $\bar{t}_{f_l}$ га боғлиқлиги ва ΔZ вақт оралиғининг (1 соат=3600 сек) эканлиги асосида

$$Q_{фой_i}^{кун} = \sum_{i=z_{бош}}^{z_{мг}^{эфф}} (q_{фой} \Delta Z)_i, \text{ МДЖ}/(\text{м}^2 \text{ кун}) \quad (24)$$

ифода бўйича Тошкент шаҳри учун йил ойларининг тавсифий кунлар бўйича ЯҚКнинг ўртача кунлик иссиқлик унумдорлиги аниқланди. Бу ерда $z_{бош}^{эфф}$ ва $z_{мг}^{эфф}$ – мос равишда ЯҚКнинг фаол фаолиятининг бошланиш ва тугаш вақтлари. Йил ойларининг тавсифий кунлари сифатида уларнинг метеорологик кўрсаткичлари кўп йиллик ўртача ойлик қийматларига мос келувчи ёки жуда яқин бўлган 15-саналари, февраль ойи учун 14-санаси

танлаб олинди. $Q_{фой_i}^{кун}$ нинг $t_{фчик}$ га боғлиқлигининг йил давомида ўзгариши 5-расмда келтирилган.

Ҳисобий изланишлар натижасига кўра $Q_{фой}^{йил}$ нинг $t_{фчик}=37; 45$ ва 55°C даги қийматлари мос равишда 3029,3; 2767,0 ва 2437,1 МДж/(м² йил)ни ташкил қилади.

$t_{фчик}$ нинг 37; 45 ва 55°C лардан фарқ қилувчи қийматлари учун $Q_{фой}^{йил}$ нинг тегишли қийматлари ҳисобий изланишлар натижаларини $Q_{фой}^{йил} = f(t_{фчик})$ боғлиқлик бўйича қайта ишлаш асосида ҳосил қилинган

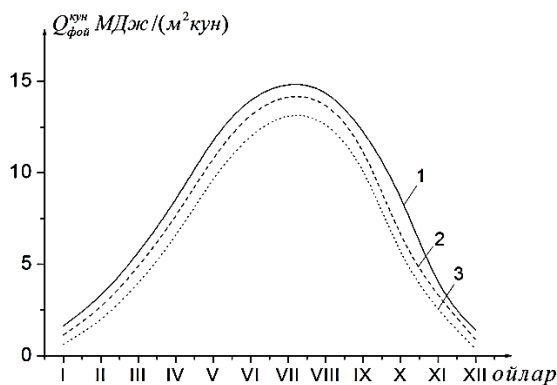
$$Q_{фой}^{йил} = 3029,3 - 32,85(t_{фчик} - 37^{\circ}\text{C}) \text{ МДж/(м}^2 \text{ йил)} \quad (25)$$

аппроксимацион ифода бўйича аниқланиши мумкин. (27) ифодадаги нисбий хатоликнинг максимал қиймати 1% ни ташкил қилади. $Q_{фой_i}^{ой}/Q_{фой}^{йил}$ нисбатнинг йил давомидаги, яъни ойлар бўйича тақсимланишининг $t_{фчик}$ га боғлиқлиги 6-расмда келтирилган. Унда келтирилган маълумотлар таҳлилига кўра, ЯҚКнинг ИСТТларида самарали фойдаланиш даври йилнинг илиқ мавсуми (15-апрелдан 15-октябрча)га тўғри келади ва шу муддат давомида $Q_{фой_i}^{ой}/Q_{фой}^{йил} \geq 0,07$ бўлиб, у Тошкент шаҳри шароитида қуёший ИСТТларидан кўп йиллик тажрибавий фойдаланиш натижаларига мос келади.

Икки контурли қуёший ИСТТларининг ўртача йиллик иссиқлик самарадорлигини

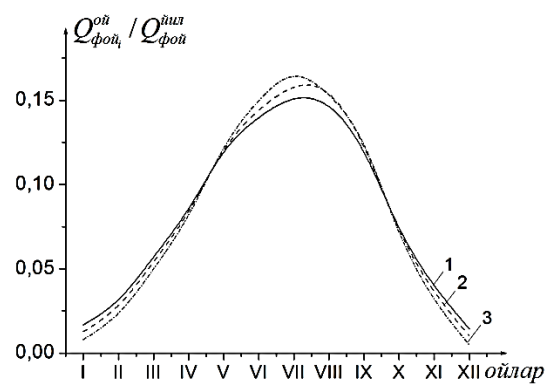
$$\bar{\eta}_{йил} = Q_{фой}^{йил} / Q_{туш}^{йил} \quad (26)$$

нисбат ёрдамида аниқлаш мумкин.



1.2. ва 3-мос равишда $t_{фчик}=37; 45$ ва 55°C учун

5-расм. ЯҚКнинг ойлар тавсифий кунлари бўйича иссиқлик унумдорлиги $Q_{фой}^{кун}$ нинг $t_{фчик}$ га боғлиқлиги



1.2. ва 3-мос равишда $t_{фчик}=37, 45$ ва 55°C учун

6-расм. $Q_{фой_i}^{ой}/Q_{фой}^{йил}$ нисбатнинг ойлар бўйича тақсимланишининг $t_{фчик}$ га боғлиқлиги

$Q_{фой}^{йил}$ нинг (25) ифода бўйича қийматини (26) нисбатга келтириб қўйиш ва $Q_{туш}^{йил}=6866,5 \text{ МДж/(м}^2 \text{ йил)}$ эканлигини ҳисобга олиб Тошкент шаҳри шароитида жанубий йўналишда уфққа нисбатан $\alpha=30^{\circ}$ бурчак остида жойлаштирилган ЯҚК учун қуйидаги ифода ҳосил қилинган

$$\bar{\eta}_{\text{йил}} = 0,4412 - 0,0048(t_{f\text{чик}} - 37^{\circ}\text{C}). \quad (27)$$

Тегишли ҳисобий изланишлар натижаларига кўра йилнинг илиқ мавсуми (йим)да ИСТТларида фойдаланиладиган коллектор учун $q_{\text{туш}}^{\text{йим}}=4563,9 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \text{ мавсум})$ ва $t_{f\text{чик}} = 37^{\circ}\text{C}$ бўлганда $q_{\text{фой}}^{\text{йим}}=2332,5 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \text{ мавсум})$ эканлиги боис (25) ва (27) ифодаларни

$$q_{\text{фой}}^{\text{йим}}=2332,5-18,85(t_{f\text{чик}} - 37^{\circ}\text{C}) \text{ МДж}/(\text{м}^2 \text{ мавсум}) \quad (28)$$

$$\bar{\eta}_{\text{йим}} = 0,5111 - 0,0042(t_{f\text{чик}} - 37^{\circ}\text{C}) \quad (29)$$

шаклларда тақдим қилиш мумкин.

Ҳисоблаш натижаларига кўра ЯҚКдан ИСТТларида фақат йилнинг илиқ мавсумида фойдаланилса ($t_{f\text{чик}}=37; 45$ ва 55°C учун) $q_{\text{фой}}^{\text{йим}}$ нинг қиймати $q_{\text{фой}}^{\text{йил}}$ нинг қийматига нисбатан мос равишда 29,9; 26,8 ва 22,3% га пасаяди.

Ишда $Q_{\text{фой}}^{\text{йил}}$ ва $Q_{\text{фой}}^{\text{йим}}$ ларнинг $t_{f\text{чик}}$ га боғлиқлигини аниқлаш бўйича бажарилган ҳисобий изланишлар асосида ҚЭдан ЯҚК ёрдамида ИСТТларида фойдаланилганда тежаладиган ёқилғи (тё)нинг (коллектор фронтал сиртининг бирлик юзасига келтирилган) миқдорини аниқлаш учун

$$G_{\text{тё}}^{\text{йил}} = \frac{Q_{\text{фой}}^{\text{йил}}}{\eta_{\text{из}} q_{\text{тё}}} = \frac{3029,3-32,85(t_{f\text{чик}}-37^{\circ}\text{C})}{\eta_{\text{из}} q_{\text{тё}}} \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ йил}) \quad (30)$$

$$G_{\text{тё}}^{\text{йим}} = \frac{Q_{\text{фой}}^{\text{йим}}}{\eta_{\text{из}} q_{\text{тё}}} = \frac{2322,5-18,86(t_{f\text{чик}}-37^{\circ}\text{C})}{\eta_{\text{из}} q_{\text{тё}}} \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ мавсум}) \quad (31)$$

ифодалар тақлиф қилиниб, уларда $\eta_{\text{из}}$ – анъанавий сув иситгич иссиқлик генераторларининг иссиқлик самарадорлиги, яъни фойдали иш коэффиценти; $q_{\text{тё}}$ – тежаладиган ёқилғининг ёниш иссиқлиги.

ИСТТларида ҚЭдан ЯҚК ёрдамида фойдаланиш анъанавий ёқилғи-энергетика ресурсларини тежаш билан бир қаторда тежаб қолинган ёқилғи ҳисобига атроф-муҳитга чиқариб ташланадиган углерод кўшокси (CO₂) гази миқдорини камайтириш имконини беради. ИСТТларида ЯҚКдан фойдаланиш ҳисобига камаядиган CO₂ нинг солиштирма миқдори

$$\Delta \text{CO}_2 = C_{\text{CO}_2} \frac{Q_{\text{фой}}}{\eta_{\text{из}} q_{\text{тё}}} \quad (32)$$

ифода ёрдамида аниқланиши мумкин. Бу ерда C_{CO_2} – ёндирилаётган анъанавий ёқилғининг бирлик миқдори таркибида атроф-муҳитга чиқариб ташланадиган CO₂ миқдори бўлиб, у ёқилғи таркибидаги углерод (C)нинг миқдори (r_c)га боғлиқ. Табиий газ учун ($r_c=0,7$) C_{CO_2} нинг қиймати 1,88 ни ва кўнғир кўмир учун – r_c га боғлиқ равишда $r_c=0,26$ бўлганда 3,38 ни ва $r_c=0,4$ бўлганда 5,22 ни ташкил қилади.

Ҳисоблаш натижаларига кўра ИСТТларида сувни 37; 45 ва 55°C ҳароратгача иситиш учун зичлиги ($\rho_{\text{те}}$) $0,72 \text{ кг}/\text{н.м}^3$ ва $q_{\text{тё}}=35 \text{ МДж}/\text{н.м}^3$ табиий газдан ва иссиқлик самарадорлиги $\eta_{\text{из}}=0,8$ бўлган анъанавий сув

иситгичлар ўрнига ЯҚКдан фойдаланиш ҳисобига йилига 108,19; 98,79 ва 87,07 $\text{н.м}^3/(\text{м}^2 \text{ йил})$ ҳажмдаги табиий газни тежаш ва мос равишда атроф-муҳитга чиқариб ташланадиган CO_2 миқдорини 146,45; 133,72 ва 117,82 $\text{кг CO}_2/(\text{м}^2 \text{ йил})$ га камайтириш мумкин.

Қўнғир кўмир учун $\tau_c=0,4$, $q_{m\bar{e}}=14.068 \text{ МДж/кг}$ ва $\eta_{uz}=0.8$ бўлганда $G_{m\bar{e}}^{\text{йил}}$ миқдори $t_{f\text{чиқ}}=37; 45$ ва 55°C бўлганда мос равишда 269,17; 245,78 ва 216,55 $\text{кг}/(\text{м}^2 \text{ йил})$ ни, $\Delta\text{CO}_2^{\text{йил}}$ миқдори эса 1405,12; 1282,97 ва 1130,37 $\text{кг}/(\text{м}^2 \text{ йил})$ ни ташкил қилади.

Диссертация **иловаларида** ўлчаш ва ҳисоблаш хатоликларни баҳолаш, йилнинг ҳар бир куни учун Қуёшнинг силжиши, Тошкент шаҳри учун маҳаллий пояс вақти бўйича қуёшнинг чиқиш ва ботиш вақтлари, аниқ туш пайти вақти, вақт тенгламасига киритиладиган тузатмалар, жанубий йўналишда уфққа нисбатан 30° бурчак остида жойлаштирилган ЯҚКлари учун тушадиган, ўтаётган ва ютилган қуёш нурланиши юзавий зичлигининг ойлар бўйича ўртача кунлик ўзгаришлари, атроф муҳит ҳарорати, коллекторларнинг олдиндан белгилаб қўйилга ҳароратлар 37; 45 ва 55°C даги иссиқ сув олишдаги иссиқлик унумдорлиги ва иссиқлик-техникавий параметрлари оптималлаштирилган СИТМларни қиздиришга мўлжалланган ЯҚКларни ишлаб чиқариш учун дастлабки маълумотлар келтирилган.

ХУЛОСА

Диссертацияда қўйилган масалаларни ҳал қилиш бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим қилинмоқда:

1. Ясси қуёш коллекторларининг шаффоф қопламаларида ютилган қуёш нурланиши қувватининг қоплама қалинлиги бўйича экспоненциал тақсимланиши ва коллектор «нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панел-шаффоф қоплама» тизимининг шаффоф қопламаси ва берк ҳаво қатламининг ажралиш чегараларида қуёш нурланишининг кўп марталаб ички қайтиши ва қайтаётган нурланишнинг ўзаро қарама-қарши йўналишларини ҳисобга олган ҳолда мазкур шаффоф қопламада шаклланган ички иссиқлик манбаининг қувватини аниқлаш учун ҳисобий ифода ишлаб чиқилган. Мазкур ифода ясси қуёш коллекторларининг «нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панел-шаффоф қоплама» тизимларида рўй берувчи иссиқлик жараёнларни чуқурроқ тадқиқ қилишга имкон беради.

2. Ясси қуёш коллекторлари корпусларининг шаффоф қопламаларида улар орқали ўтаётган қуёш нурининг қисман ютилиши ва иссиқликка айланиши натижасида шаклланган ички иссиқлик манбаи мавжуд бўлган ҳолат учун уларнинг ҳарорат майдони ва улар орқали иссиқлик узатиш жараёнлари тадқиқ қилинди ҳамда шу асосда мазкур шаффоф қопламанинг қалинлиги бўйича ҳарорат ва иссиқлик оқими юзавий зичлигининг тақсимланишлари, уларнинг қоплама ички ва ташқи сиртларидаги қийматларини аниқлашга имкон берувчи илк бор ҳисобий ифодалар ўрнатилди.

3. Ясси қуёш коллекторлари нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг атроф-муҳитга самаравий келтирилган иссиқлик йўқотиш коэффициентини уларнинг ўртача иш ҳарорати ва атроф-муҳит ҳарорати, ҳамда коллектор шаффоф қопламаларида қуёш нурланишининг қисман ютилишини ҳисобга олган ҳолда аниқлаш учун илк бор ифода келтириб чиқарилди.

4. Ясси қуёш коллекторлари япроқ-қувур шаклидаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг ўртача иш ҳароратини бевосита аниқлаш ва уларнинг иссиқлик ташувчи каналларида ҳаракатланаётган суюқ иссиқлик ташувчи муҳитнинг иссиқлик ташувчи канал узунлиги бўйича ўртача массавий ҳароратини ва мазкур типдаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг иссиқлик самарадорлигини аниқлашга имкон берувчи иссиқлик моделлари илк бор ишлаб чиқилди.

5. Ясси қуёш коллекторлари япроқ-қувур шаклидаги нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг қувурлараро масофасини ва улар орқали ҳаракатланаётган суюқ иссиқлик ташувчи муҳит сарфини комплекс оптималлаштириш имконини берувчи иссиқлик модели илк бор ишлаб чиқилди.

6. Суюқ иссиқлик ташувчи муҳитларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторларининг табиий квазибарқарор шароитларда иссиқлик синовларини ўтказиш учун тажрибавий стенд яратилди ва унинг ёрдамида коллекторларнинг қисқа муддатли иссиқлик синовларини ўтказишга имкон берувчи услуб ва тартиб ишлаб чиқилди.

7. Табиий квазибарқарор шароитларда ясси қуёш коллекторларининг иссиқлик синовларини ўтказиш ва уларнинг натижаларини қайта ишлаш услубларини такомиллаштириш асосида уларнинг синов муддатларини сезиларли камайтириш, коллектор нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панелларининг иссиқлик самарадорлиги ва келтирилган иссиқлик йўқотиш коэффициентларини алоҳида аниқлаш имкониятлари очиб берилди.

8. Суюқ иссиқлик ташувчи муҳитларни қиздиришга мўлжалланган ясси қуёш коллекторларининг иссиқлик унумдорлигини улардан олинган иссиқ сувнинг олдиндан белгилаб қўйилган ҳароратига боғлиқ равишда аниқлаш учун уларнинг янги иссиқлик модели ишлаб чиқилган. Натижада мазкур коллекторлардан олинган иссиқ сув ҳарорати 37°C дан 55°C гача оралиқда ўзгарганда уларнинг кунлик, ўртача ойлик ва йиллик (мавсумий) иссиқлик унумдорлиги ва самарадорликлари аниқлаш имкони яратилди.

9. Олинган натижаларни таҳлил қилиш ва умумлаштириш асосида ясси қуёш коллекторларининг иссиқ сув таъминоти тизимларида оқилона фойдаланиш муддатлари таклиф қилинди ва уларнинг техникавий-иқтисодий ва экологик кўрсаткичларининг улардан олинган иссиқ сув ҳароратига боғлиқлиги ўрнатилди.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.T.03.03 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ И ООО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НПО «ФИЗИКА-СОЛНЦЕ»

АВЕЗОВА НИЛУФАР РАББАНАКУЛОВНА

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ПЛОСКИХ КОЛЛЕКТОРАХ И
ОПТИМИЗАЦИЯ ИХ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**05.05.05 – Теоретические основы теплотехники;
05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии**

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

Ташкент – 2018

Тема докторской (DSc) диссертации по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2017.2.DSc/T43.

Диссертация выполнена в Физико-техническом институте НПО «Физика-Солнце».

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tdtu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный консультант: **Абдурахманов Абдужаббар**
доктор технических наук

Официальные оппоненты: **Попель Олег Сергеевич**
доктор технических наук, профессор

Аббасов Ёркин Садыкович
доктор технических наук, доцент

Юлдашев Исроил Абриевич
доктор технических наук

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

Защита диссертации состоится «___» _____ 2018 г. в ____ часов на заседании разового научного совета DSc 27.06.2017.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете и ООО «Научно-технический центр». Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно – ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер - ____). Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2018 года
(протокол рассылки №__ от «___» _____ 2018 г.).

К.Р.Аллаев
Председатель научного совета по
присуждению ученых степеней,
академик АН РУз, д.т.н., профессор

О.Х.Ишназаров
Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.т.н., с.н.с.

Дж.Н.Мухиддинов
Председатель научного семинара при
научном совете по присуждению ученых
степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (DSc) диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. Научные исследования, направленные на расширение масштабов использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, экономию углеводородных топливно-энергетических ресурсов и стабилизацию экологической ситуации, представляет важное значение в развитие мировой энергетики. В долгосрочных национальных энергетических программах развитых стран мира предусмотрено повышение доли возобновляемых источников энергии, как минимум, до 20%¹. В этой связи в мировой практике интенсивными темпами развиваются масштабы использования солнечной энергии в системах тепло- и электроснабжения, являющейся одним из перспективных видов возобновляемых источников энергии и в свою очередь уделяется особое внимание на развитие данной сферы.

В мире большое внимание в этой области уделяется вопросам повышения тепловой эффективности использования плоских солнечных коллекторов в системах горячего водоснабжения. В этом направлении, в частности, в 2016 году общая тепловая мощность плоских солнечных коллекторов, используемых в системах горячего водоснабжения, в мире составляла 456 ГВт (652 млн. кв.м), а темп ежегодного роста их использования в течении 2004-2016 годов составлял 13,69%². Актуальными задачами в этой сфере считаются научные исследования, направленные на разработку научных и инженерных основ моделирования процессов теплового преобразования солнечной энергии в плоских коллекторах, оптимизацию их конструктивных, теплотехнических и режимных параметров, усовершенствование процедуры их теплового тестирования и поиску путей повышения эффективности их использования в системах горячего водоснабжения.

В настоящее время особое внимание уделено проблемам преобразования солнечной энергии в тепловую и использование последней в качестве источника тепла в системах горячего водоснабжения жилых зданий, коммунально-бытовых и социальных объектов, которые с технологической точки зрения являются наиболее подготовленной сферой широко-масштабного применения. В этом направлении, в частности, в разработке и создании новых высокоэффективных поколений основного элемента систем горячего водоснабжения – плоских солнечных коллекторов и на их основе двухконтурных солнечно-топливных котельных, достигнуты значительные результаты. Вместе с тем, для постоянного совершенствования плоских солнечных коллекторов и расширения масштабов их использования в системах горячего водоснабжения требуются научно-обоснованные результаты по их технико-экономическим и экологическим показателям. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на

¹ <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>

² «Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends in 2016. Detailed Market Figures 2015». IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2017.

2017-2021 годы отмечены задачи «...сокращения энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии ...»³. Реализация этих положений, в том числе, по повышению эффективности использования плоских солнечных коллекторов в системах горячего водоснабжения, оптимизации их основных параметров, моделированию процессов теплового преобразования солнечной энергии, считается одной из важнейших задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных 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-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» и № ПП-3379 от 8 ноября 2017 года «О мерах по обеспечению рационального использования энергоресурсов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено 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 диссертации⁴. Научные исследования, направленные на развитие теории и практики теплового преобразования солнечной энергии в плоских солнечных коллекторах для нагрева жидкого теплоносителя, проводятся во многих научных центрах мира, в частности, в Висконсинском университете (США), в Институте солнечных технологий (Швейцария), в Национальном центре солнечной энергии (Индия), в Институте энергетических исследований Академии наук Китайской Народной Республики (Китайская Народная Республика), в Национальном Бюро Стандартов (США), в Объединенном институте высоких температур Российской Академии наук (Российская Федерация), в НПО «ГУН» Академии наук Республики Туркменистан (Туркменистан) и в НПО «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан (Узбекистан).

В результате выполненных исследований по тепловому преобразованию солнечной энергии в плоских коллекторах и выбору их основных параметров для использования в системах горячего водоснабжения в мировом

³ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

⁴ Обзор международных научных исследований по теме диссертации выполнен на основе следующих источников: <http://www.iea-shc.org>; <http://www.ren21.net>; Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. с англ. – Долгорудный: Издательский дом «Интеллект», 2013. –С. 888 и др.

масштабе решены ряд актуальных задач и получены следующие важные научные результаты: на основе результатов расчетно-теоретических и экспериментальных исследований по разработке систем солнечного теплоснабжения и программ по динамическому моделированию систем преобразования возобновляемых источников энергии разработаны методы сертификационных испытаний солнечных коллекторов (Висконсинский университет, США; Институт солнечных технологий, Швейцария; Национальный центр солнечной энергии, Индия); созданы солнечные вакуумированные трубчатые коллекторы с селективными покрытиями на лучепоглощающей поверхности, на долю которых приходится 70% производимых в мире коллекторов (Институт энергетических исследований Академии наук Китайской Народной Республики); созданы опытные образцы и определены основные теплотехнические характеристики плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого и газообразного теплоносителя, автономных и комбинированных систем горячего водоснабжения, воздушных систем отопления зданий и установок для сушки сельхоз продуктов на их основе (Национальное бюро стандартов, США; Объединенный институт высоких температур Академии наук Российской Федерации; Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан, Узбекистан).

В мире научные исследования по моделированию процессов преобразования солнечной энергии в тепло с помощью плоских солнечных коллекторов и совершенствованию последних проводятся по следующим приоритетным направлениям: разработка экономичных установок для систем горячего водоснабжения, оптимизация их основных теплотехнических параметров, создание плоских солнечных коллекторов для нагрева различных теплоносителей и повышение их эффективности.

Степень изученности проблемы. До настоящего времени проблемы преобразования солнечной энергии с помощью плоских коллекторов изучались в национальной лаборатории Возобновляемых источников энергии (NREL, США), в центре сертификации коллекторов (ALTEN-1, Германия) и многих других научных центрах. В настоящее время научные исследования по повышению эффективности плоских солнечных коллекторов проводятся в компаниях Five Star (КРН), Viessmann (Германия) и GREEN one TEC (Австрия) за счет применения новых материалов и технологий⁵.

В лаборатории Возобновляемых источников энергии и энергосбережения Объединенного института высоких температур Академии наук России выполнены исследования по созданию новых поколений плоских солнечных коллекторов из тепло- и атмосферостойких пластиков и усовершенствованы методы их теплового тестирования. Во Всероссийском научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства созданы вакуумированные светопрозрачные покрытия для плоских солнечных коллекторов. Научные исследования в области создания и повышения эффективности плоских солнечных коллекторов, предназначенных для нагрева воды и

⁵ Попель О.С., Фортов В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире. М.: Изд.дом МЭИ, 2015. – 450 с.

воздуха, выполнены под руководством Р.Б. Байрамова и А.Д. Ушаковой (Республика Туркменистан), А.И. Исманжанова (Республика Кыргызстан), Р.А. Захидова, Р.Р. Авезова, Ш.И. Клычева, Е.А. Аббасова, С.Ф. Эргашева, З.С. Искандарова и Б.Э. Хайриддинова (Республика Узбекистан).

В научных исследованиях в этой области до настоящего времени допускалась высокая оптическая прозрачность светопрозрачного покрытия плоских солнечных коллекторов, не уделено должного внимания вопросам учета влияния внутреннего источника тепла, формируемого в результате частичного поглощения и преобразования в тепло проходящего через них солнечного излучения, который приводит к определенному снижению тепловых потерь их лучепоглощающей теплообменной панели в окружающую среду через рассматриваемые покрытия. В этих исследованиях практически не решенными остались задачи, нацеленные на обеспечение максимальной теплопроизводительности плоских солнечных коллекторов при минимальной массе их лучепоглощающих теплообменных панелей.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ. Исследование выполнено в рамках заданий Физико-технического института Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан ПФИ-3 «Исследование оптических и теплотехнических характеристик системы «светопрозрачная изоляция – лучепоглощающая теплообменная панель» плоских солнечных тепловых коллекторов» (2007-2011 гг.) и ППИ-4 «Разработка и реализация экспресс-методики теплового испытания и определения основных теплотехнических параметров плоских солнечных коллекторов и абсорберов для нагрева жидкого теплоносителя» (2015-2017 гг.).

Целью исследования является разработка решений по повышению эффективности использования плоских солнечных коллекторов в системах горячего водоснабжения, оптимизации их основных теплотехнических и конструктивных параметров, моделированию процессов теплового преобразования солнечной энергии в них.

Задачи исследования:

установление расчетного выражения для определения удельной мощности внутреннего источника тепла с учетом ее экспоненциального распределения по толщине светопрозрачного покрытия на основе моделирования процессов частичного поглощения и преобразования в тепло энергии солнечного излучения в светопрозрачном покрытии плоских солнечных коллекторов;

установление расчетных выражений для определения распределения температуры и поверхностной плотности теплового потока по толщине рассматриваемого светопрозрачного покрытия, значений температур и удельных тепловых потоков на его внутренней и наружной поверхностях при наличии в нем внутреннего источника тепла;

установление аппроксимационного выражения для определения эффективного приведенного коэффициента тепловых потерь лучепоглощающей теплообменной панели плоских солнечных коллекторов в зависимости от ее среднерабочей температуры и температуры окружающей среды с учетом

влияния частичного поглощения и преобразования в тепло солнечного излучения, проходящего через светопрозрачные покрытия их корпуса;

разработка бесконтактного метода определения средней рабочей температуры листотрубной лучепоглощающей теплообменной панели и метода определения усредненного по длине ее теплоотводящего канала среднемассовой температуры теплоносителя, а также комплексной оптимизации межтрубного расстояния лучепоглощающих теплообменных панелей рассматриваемого типа;

разработка, создание и использование лабораторного испытательного стенда для проведения краткосрочных тепловых испытаний плоских солнечных коллекторов в натурных квазистационарных условиях и усовершенствование методики проведения и обработки результатов краткосрочного теплового тестирования для определения их основных теплотехнических параметров в отдельности;

разработка тепловой модели плоских солнечных коллекторов для определения их удельной теплопроизводительности в зависимости от наперед заданного значения температуры получаемой из него горячей воды и на основе ее практической реализации определение дневных, среднемесячных ходов и годовых (сезонных) сумм их теплопроизводительности, рекомендовать рациональные сроки их эксплуатации, а также определение технико-экономических и экологических показателей их использования в системах горячего водоснабжения.

Объектом исследования являются плоские солнечные коллекторы, светопрозрачные покрытия их корпусов и листотрубных лучепоглощающих теплообменных панелей.

Предметом исследования являются закономерности процессов теплового преобразования солнечной энергии в светопрозрачном покрытии и лучепоглощающей теплообменной панели плоских солнечных коллекторов, а также тепловые процессы, протекающие в листотрубных лучепоглощающих панелях.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использована физическая модель процессов восприятия, поглощения и теплового преобразования энергии солнечного излучения в плоских солнечных коллекторах и их элементах, при численной реализации которой использованы методы теоретических основ теплотехники. Для определения основных теплотехнических параметров плоских солнечных коллекторов использованы результаты теплового моделирования и проведения экспериментов в натурных условиях.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

на основе моделирования процессов частичного поглощения и преобразования в тепло солнечного излучения в светопрозрачном покрытии плоских солнечных коллекторов впервые установлено выражение для расчета тепловой мощности сформированного в нем внутреннего источника тепла;

выведены расчетные выражения для определения распределения температуры и поверхностной плотности теплового потока по толщине

светопрозрачного покрытия, значения температур и удельных тепловых потерь на его внутренней и наружной поверхностях при наличии в нем внутреннего источника тепла;

впервые установлено аппроксимационное выражение для определения эффективного приведенного коэффициента тепловых потерь лучепоглощающих теплообменных панелей в зависимости от ее среднерабочей температуры и температуры окружающей среды;

на основе моделирования тепловых процессов, происходящих в листотрубных лучепоглощающих теплообменных панелях плоских солнечных коллекторов предложен бесконтактный метод определения значения их среднерабочей температуры и установлено выражение для определения среднемассовой температуры жидкости, протекающей через них;

разработана методика комплексной оптимизации межтрубного расстояния листотрубной лучепоглощающей теплообменной панели и впервые установлена графическая зависимость определения оптимального значения их межтрубного расстояния от коэффициента тепловых потерь в окружающую среду, толщины и коэффициента теплопроводности материала изготовления их лучепоглощающей пластины;

создан лабораторный испытательный стенд, на котором реализована процедура проведения краткосрочных тепловых испытаний плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя в натуральных квазистационарных условиях и предложена методика ускоренной обработки их результатов, позволяющая существенно сократить продолжительность тестов;

впервые разработана тепловая модель для определения удельной теплопроизводительности плоского солнечного коллектора для нагрева жидкого теплоносителя в зависимости от наперед заданного значения температуры получаемой горячей воды;

впервые установлены аппроксимационные зависимости для определения удельной годовой и сезонной (за теплый период года) теплопроизводительности плоских солнечных коллекторов определены рациональные сроки эксплуатации, установлены технико-экономические и экологические показатели их использования в системах горячего водоснабжения.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана графическая зависимость определения оптимального значения межтрубного расстояния листотрубной лучепоглощающей теплообменной панели от эффективного приведенного коэффициента тепловых потерь, толщины и коэффициента теплопроводности материала их лучепоглощающей пластины;

разработана ускоренная методика обработки результатов теплового тестирования плоских солнечных коллекторов по определению их основных теплотехнических характеристик;

разработан метод определения значения мгновенной удельной теплопроизводительности плоских солнечных коллекторов в зависимости от наперед заданной температуры получаемой из них горячей воды;

определены значения среднегодовой и средней за теплый период года удельной теплопроизводительности, тепловой эффективности и соответствующие технико-экономические и экологические показатели плоских солнечных коллекторов в зависимости от температуры нагретой воды.

Достоверность результатов исследований подтверждается использованием многолетних среднестатистических метеопараметров окружающей среды, применением современных методов теплового моделирования и оптимизации теплотехнических параметров солнечных тепловых установок, средств вычислительной и измерительной техники, близким совпадением результатов расчетных и экспериментальных результатов при одинаковых значениях исходных данных, сопоставлением результатов исследований с известными решениями и получением последних из предложенных зависимостей.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость исследований заключается в том, что результаты исследования вносят определенный вклад в развитие раздела теплопроводность тел при наличии внутреннего источника тепла теоретических основ теплотехники, теории и практики теплового расчета и оптимизации параметров плоских солнечных тепловых установок с частично лучепоглощающими светопрозрачными покрытиями корпуса.

Практическая значимость результатов состоит в реализации разработанных методик тепловой оптимизации основных параметров листотрубных лучепоглощающих теплообменных панелей, позволяющие создать новые малометаллоемкие поколения плоских солнечных коллекторов с оптимизированными теплотехническими параметрами, а ускоренной методики обработки результатов их теплового тестирования – сократить продолжительность проведения их испытаний в 8÷10 раз. Вместе с тем, результаты исследований по определению удельной годовой теплопроизводительности плоских солнечных коллекторов и снижения выбросов CO₂ в атмосферу могут быть использованы министерствами и ведомствами республики при планировании мероприятий по экономии традиционных топливно-энергетических ресурсов и снижению выбросов CO₂ в окружающую среду за счет использования солнечной энергии в системах горячего водоснабжения.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов исследований по повышению эффективности использования плоских солнечных коллекторов в системах горячего водоснабжения, оптимизации их основных теплотехнических и конструктивных параметров и моделированию в них процессов теплового преобразования солнечной энергии:

разработанный метод комплексной оптимизации межтрубного расстояния листотрубных лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов, обеспечивающий их максимальную производительность при минимальной массе их лучепоглощающих теплообменных

панелей, внедрен в предприятии ООО «MIR SOLAR» (Справка АК «Узэлтехсаноат» №02-2974 от 22.11.2017 г). Внедрение результатов исследований в производстве элементов алюминиевых лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов позволило экономить 0,4015 кг алюминия с 1 м² площади их поверхности;

лучепоглощающие теплообменные панели внедрены в ООО «MIR SOLAR» в производстве солнечных водонагревательных коллекторов марки SUV-10 (Справка АК «Узэлтехсаноат» №02-2974 от 22.11.2017 г). Использование этих коллекторов в сезонных системах горячего водоснабжения позволит экономить ежегодно 1457,1 тыс. м³ природного газа и снизить количество выбросов CO₂ в окружающую среду на 1973,2 тонн;

разработанные программа и алгоритм расчета моментов начала и завершения освещения лучевоспринимающей поверхности ориентированных на юг и наклоненных к горизонту плоских гелиоустановок прямыми солнечными лучами использованы в программном управлении системы слежения гелиостатов Большой Солнечной Печи (Справка АН РУз №2/1255-2479 от 22 ноября 2017 года). Использование результатов исследования позволило сократить электроэнергию, расходуемую на электроприводы систем сближения гелиостатов Большой Солнечной Печи, до 4400 кВт·час в год.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 8 Международных конгрессах и конференциях, а также на 2 Республиканских конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликованы 36 научных работ, в том числе, 1 монография, 18 научных статей в Международных (16) и Республиканских (2) журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, получены 1 патент на полезную модель и 3 свидетельства на программные продукты для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 186 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе диссертации **«Основные конструктивные решения, теплотехнические параметры, модели теплового расчета и тестирования плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя в системах горячего водоснабжения»** на основе сравнительного анализа основных конструктивных решений и технологий разработки плоских солнечных коллекторов (ПСК) для нагрева жидкого теплоносителя (ЖТН), существующих тепловых моделей по определению их теплопроизводительности, методов их теплового тестирования и исследований по тепловой оптимизации основных конструктивных и режимных параметров констатированы недостаточная изученность влияния частичного поглощения и преобразования в тепло суммарного солнечного излучения (СИ), проходящего через светопрозрачное покрытие (СП), на тепловые потери лучепоглощающих теплообменных панелей (ЛТПП), определения среднерабочей температуры ЛТПП, среднемассовой температуры теплоносителя в ее теплоотводящих каналах (ТОК), оптимизации межтрубного расстояния с учетом расхода теплоносителя через листотрубные ЛТПП, невозможности определения значений коэффициентов тепловой эффективности и тепловых потерь ЛТПП в окружающую среду в отдельности по существующим методам обработки результатов их теплового тестирования, а также недостаточная разработанность методики определения их ресурсных показателей в зависимости от температуры получаемой из них горячей воды, пригодной для использования абонентами систем горячего водоснабжения (СГВС).

Во второй главе диссертации **«Моделирование процессов частичного поглощения и преобразования в тепло энергии солнечного излучения и тепловых процессов в светопрозрачных покрытиях корпуса плоских солнечных коллекторов при наличии в них внутреннего источника тепла»** приведены результаты исследований по изучению формирования внутреннего источника тепла (ВИТ) в СП корпуса ПСК вследствие частичного поглощения и преобразования в тепло проходящего через него суммарного СИ, температурного поля и теплопередачи через него при наличии в СП ВИТ.

На основе анализа принципиальных схем многократного внутреннего отражения и поглощения потоков суммарного (прямого и диффузного) СИ,

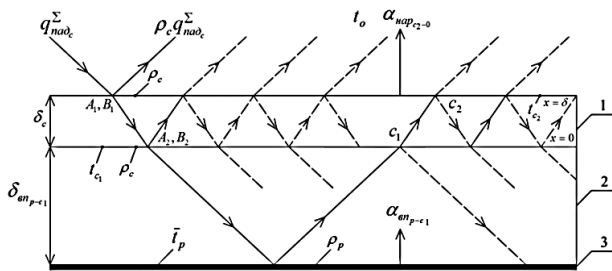
падающего на фронтальную поверхность СП и диффузного СИ, падающего на его тыльную поверхность отраженного от поверхности ЛПТП, с учетом экспоненциального распределения мощности поглощенного СИ по толщине СП, а также взаимных противоположностей направлений многократно внутренне отраженных потоков излучения между границами разделов СП и замкнутой воздушной прослойки (ЗВП) системы «ЛПТП-СП» ПСК (рис. 1) получено выражение

$$q_v(x) = \frac{1}{\delta_c} \left[A_1 \left(1 - e^{-\frac{[\beta(\delta-x)]_c}{\cos r_{np}}} \right) + A_2 \left(1 - e^{-\frac{(\beta x)_c}{\cos r_{np}}} \right) + (B_1 + C_2) \left(1 - e^{-\frac{[\beta(\delta-x)]_c}{\cos r_{диф}}} \right) + (B_2 + C_1) \left(1 - e^{-\frac{(\beta x)_c}{\cos r_{диф}}} \right) \right] \quad (1)$$

для определения распределения удельной (отнесенной к единице объема) мощности ВИТ по толщине рассматриваемого СП, в котором в соответствии с рис. 1, A_1 и B_1 – соответственно, поверхностные плотности потоков прямого и диффузного СИ, прошедших через верхнюю границу раздела СП; A_2 и B_2 – соответственно, поверхностные плотности потоков прямого и диффузного СИ, отраженных от нижней границы раздела СП; C_1 и C_2 – соответственно, поверхностные плотности потоков суммарного СИ, прошедшего через нижнюю границу раздела СП и отраженного от его верхней границы, поверхностные плотности потоков диффузного СИ, которое отражено от поверхности ЛПТП, учитывающие многократные внутренние отражения СИ между границами разделов СП и ЗВП ПСК; δ_c и β_c – соответственно, толщина и коэффициент ослабления СП проходящего СИ.

В работе интегрируя выражения (1) по толщине СП, получено решение

$$q_{\Sigma_{позл}} = q_v \delta_c = (A_1 + A_2) \left[1 - \frac{\cos r_{np}}{(\beta \delta)_c} \left(1 - e^{-\frac{(\beta \delta)_c}{\cos r_{np}}} \right) \right] + (B_1 + B_2 + C_1 + C_2) \left[1 - \frac{\cos r_{диф}}{(\beta \delta)_c} \left(1 - e^{-\frac{(\beta \delta)_c}{\cos r_{диф}}} \right) \right] \quad (2)$$



1-СП; 2-ЗВП системы «ЛПТП-СП»; 3-ЛПТП
Рис. 1. Принципиальная расчетная схема многократного внутреннего отражения и поглощения СИ, проходящего через СП корпуса ПСК

для определения значения поверхностной плотности мощности ВИТ в рассматриваемом СП. Члены в квадратных скобках (2) представляют собой выражения для расчета усредненного по толщине коэффициента поглощения прямого ($\bar{\alpha}_c^{np}$) и диффузного ($\bar{\alpha}_c^{диф}$) СИ, соответственно, с помощью которых определяется удельная

мощность ВИТ в СП при экспоненциальном распределении мощности поглощенного суммарного СИ по его толщине.

Согласно результатам расчетов, при значениях поверхностных плотностей прямого ($q_{над_c}^{np}$) и диффузного ($q_{над_c}^{диф}$) СИ 700 и 70 Вт/м², соответственно, для СП корпуса ПСК из обычного оконного стекла с показателем преломления излучения (n_c) 1,526 и толщиной (δ_c) 0,004 м и

коэффициентом ослабления СИ (β_c) при угле падения прямого СИ на плоскость фронтальной поверхности СП (i_{np}) 30° , а диффузного СИ – эквивалентного угла падения ($i_{диф}^{экв}$) $58,2^\circ$ значения $q_{позл_c}^\Sigma$ составляют $41,42 \text{ Вт/м}^2$ при значениях эффективного коэффициента отражения СИ зачерненной поверхности ЛПТП ($\rho_{p_{эфф}}$) 0,05 и $43,26 \text{ Вт/м}^2$ при $\rho_{p_{эфф}} = 0,10$. Значения A_1, A_2, B_1, B_2, C_1 , и C_2 в решении (2) при этом составляют: 669,6; 27,1; 64,4; 4,9; 57,8 и 7,3 Вт/м^2 , соответственно.

На основе интегрирования одномерного дифференциального уравнения теплопроводности СП корпуса ПСК при наличии в нем ВИТ с удельной мощностью $\frac{q_{позл_c}^\Sigma(x)}{\delta_c}$, т.е.

$$\frac{d^2 t_x}{dx^2} + \frac{q_{позл_c}^\Sigma(x)}{(\delta\lambda)_c} = 0, \quad (3)$$

в работе получены соответствующие выражения для расчета распределения температуры (t_x) и поверхностной плотности теплового потока (q_x) по толщине СП, а также их значений на его внутренней ($t_{c_1}, q_{x=0}$) и наружной ($t_{c_2}, q_{x=\delta}$) поверхностях.

Наличие ВИТ в СП корпуса ПСК, как правило, приводит к повышению значения температуры его внутренней поверхности t_{c_1} на Δt_{c_1} и вследствие этого тепловые потери ЛПТП через рассматриваемое СП уменьшаются на

$$\Delta q_{mn_{p-c_1}} = K_{c_{p-o}} (\bar{t}_p - t_o) - \alpha_{en_{p-c_1}}^\Sigma \Delta t_{c_1}, \quad (4)$$

где

$$K_{c_{p-o}} = \left(\frac{1}{\alpha_{en_{p-c_1}}^\Sigma} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{нар_{c_2-o}}^\Sigma} \right)^{-1} \quad (5)$$

– коэффициент тепловых потерь ЛПТП в окружающую среду через СП при отсутствии в нем ВИТ (т.е. при $\beta_c=0$); $\alpha_{en_{p-c_1}}^\Sigma$ – суммарный (конвективный и лучистый) коэффициент теплообмена между поверхностью ЛПТП и внутренней поверхностью СП; λ_c – коэффициент теплопроводности материала СП; $\alpha_{нар_{c_2-o}}^\Sigma$ – суммарный (конвективный и лучистый) коэффициент теплообмена между наружной поверхностью СП и окружающей средой. $\bar{t}_p$ – средняя рабочая температура ЛПТП; t_o – температура окружающей среды.

На основе анализа механизма формирования Δt_{c_1} в выражении (4) в работе выведено аппроксимационное выражение для определения значения эффективного коэффициента тепловых потерь ЛПТП через СП в окружающую среду

$$K_{c_{p-o}}^{\text{эфф}} = K_{c_{p-o}} \left[1 - 2,36 \cdot 10^{-3} \frac{\beta_c q_{\text{над}}^{\Sigma} (0,9485 + \rho_{p_{\text{эфф}}})}{\alpha_{\text{нар}_{c_2-o}}^{\Sigma} (\bar{t}_{p_{\text{эфф}}} - t_o)} \right], \quad (6)$$

в котором, в отличие от $K_{c_{p-o}}$, учтены влияния частичного поглощения и преобразования в тепло СИ в СП и эффективного коэффициента отражения СИ поверхностью ЛПТП ($\rho_{p_{\text{эфф}}}$).

Согласно результатам расчетов при $q_{\text{над}}^{\Sigma} = 800 \text{ Вт/м}^2$, $\rho_{p_{\text{эфф}}} = 0,05$, $t_p = 50^{\circ}\text{C}$, $t_o = 30^{\circ}\text{C}$ для СП из оконных стекол хорошего качества ($\beta_c = 15 \div 20 \text{ м}^{-1}$), снижение $K_{c_{p-o}}^{\text{эфф}}$ по сравнению с $K_{c_{p-o}}$ ($6,118 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$) (при $\alpha_{\text{вн}_{p-c_1}}^{\Sigma} = 8,466 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$), $\delta_c = 0,004 \text{ м}$, $\lambda_c = 0,75 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ и $\alpha_{\text{нар}_{c_2-o}}^{\Sigma} = 25 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$) составляет $5,7 \div 7,5\%$, а для оконных стекол среднего качества ($\beta_c = 30 \div 35 \text{ м}^{-1}$) – $11,3 \div 13,2\%$.

В работе на основе изучения закономерностей протекания тепловых процессов в ЗВП системы «ЛПТП-СП» в зависимости от значений $\alpha_{\text{вн}_{p-c_1}}^{\Sigma}$ от средней температуры воздуха ЗВП ($\bar{t}_{\text{вн}}$) при $\alpha_{\text{нар}_{c_2-o}}^{\Sigma} = 25,0 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$, $\delta_c = 0,004 \text{ м}$ и $\lambda_c = 0,75 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ для ПСК с углом наклона к горизонту 30° и оптимальной толщиной значения ЗВП $\delta_{\text{вн}_{p-c_1}}^{\text{опт}} = 0,014 \text{ м}$ получено аппроксимационное выражение

$$K_{np_{p-o}} = 5,8426 + 0,0218 \bar{t}_p + 0,0117 t_o, \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \quad (7)$$

для определения значения приведенного к единице площади фронтальной поверхности корпуса ПСК суммарного коэффициента тепловых потерь ЛПТП в окружающую среду ($K_{np_{p-o}}$) при $\beta_c = 0$ в зависимости от $\bar{t}_p$ и t_o в диапазонах их изменения $40^{\circ}\text{C} \leq \bar{t}_p \leq 60^{\circ}\text{C}$ и $20^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 40^{\circ}\text{C}$.

Соответствующее выражение для определения значения $K_{np_{p-o}}^{\text{эфф}}$, в котором учтено частичное поглощение и преобразование в тепло проходящего через СП суммарного СИ, может быть представлено в виде

$$K_{np_{p-o}}^{\text{эфф}} = (4,2501 + 0,0218 \bar{t}_{p_{\text{эфф}}} + 0,0117 t_o) (1 - A \beta_c / (\bar{t}_{p_{\text{эфф}}} - t_o)) + 1,5925, \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}, \quad (8)$$

где

$$A = 2,36 \cdot 10^{-3} q_{\text{над}}^{\Sigma} (0,9485 + \rho_{p_{\text{эфф}}}) / \alpha_{\text{нар}_{c_2-o}}^{\Sigma}, \text{ м}^{\circ}\text{C}. \quad (9)$$

При $\beta_c = 0$ решение (8) примет вид (7).

В третьей главе диссертации «**Моделирование тепловых процессов, протекающих в листотрубных лучепоглощающих теплообменных панелях плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя**» приведены результаты исследований по определению основных теплотехнических параметров ПСК для нагрева ЖТН путем моделирования тепловых процессов, протекающих в их ЛПТП, которая

является их основным элементом, поглощающим и преобразующим энергию СИ в низкопотенциальное тепло и передающим последнего к нагреваемой среде.

Тепловые процессы в ЛПТП ПСК формируются под влиянием поглощенного ее зачерненной поверхностью суммарного СИ, их среднерабочей температуры, среднемассовой температуры, режима и характера течения теплоносителя внутри их ТОК.

Поверхностная плотность потока суммарного СИ, поглощенного зачерненной поверхностью ЛПТП ПСК ($q_{\text{погл}p}^{\Sigma}$), определяется из выражения

$$q_{\text{погл}p}^{\Sigma} = (\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}^{np} q_{\text{над}c}^{np} + (\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}^{\text{диф}} q_{\text{над}c}^{\text{диф}}, \quad (10)$$

где $(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}^{np}$ и $(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}^{\text{диф}}$ – эффективная приведенная поглощательная способность зачерненной поверхности ЛПТП для прямого и диффузного СИ.

В работе на основе выражений для эффективного коэффициента пропускания СИ СП ($\tau_{c\text{эфф}}$) и эффективного коэффициента поглощения СИ поверхности ЛПТП, $(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}$, коэффициентов пропускания СИ рамы СП корпуса ПСК (τ_{nn}) и слоя пыли и грязи на наружной поверхности СП ($\tau_{n\epsilon}$) получено выражение для определения эффективной приведенной (на единицу площади фронтальной поверхности ПСК) поглощательной способности СИ поверхности ЛПТП в общем виде для прямого и диффузного излучения

$$(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}} = \left[\frac{(1-\rho_c)^2 \tau_{n\epsilon} e^{-\frac{(\beta\delta)_c}{\cos r}}}{1-\rho_c^2 e^{-\frac{2(\beta\delta)_c}{\cos r}}} - (1-\tau_{nn}) \right] \frac{\alpha_p}{1-\rho_p \rho_{c\text{эфф}}^{\text{диф}}}, \quad (11)$$

где $\rho_{c\text{эфф}}^{\text{диф}}$ – эффективный коэффициент отражения СП диффузного СИ, отраженного от зачерненной поверхности ЛПТП.

Графики зависимостей $(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}^{np}$ и $(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}^{\text{диф}}$ от β_c для однослойного СП ПСК из оконного стекла ($\delta_c=0,004\text{м}$, $n_c=1,526$) при $i_{np}=0$, $i_{\text{диф}}^{\text{кв}}=58,2^\circ$, $\tau_{nn}=0,93$, $\tau_{n\epsilon}=0,94$, $\alpha_p^{np}=0,95$, $\rho_p^{np}=0,05$, $\alpha_p^{\text{диф}}=0,90$, $\rho_p^{\text{диф}}=0,10$ и $\rho_{c\text{эфф}}^{\text{диф}}=0,15$ приведены на рис. 2.

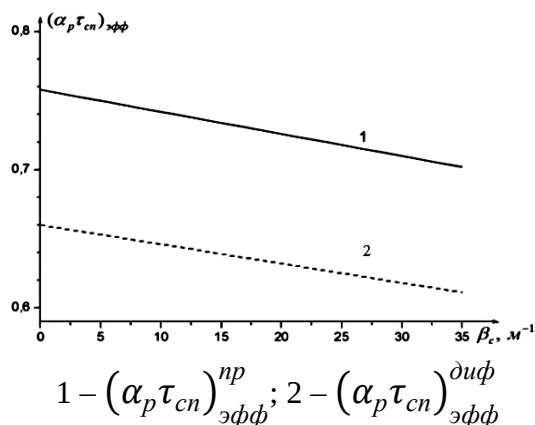


Рис.2. Зависимости $(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}$ от β_c

Как следует из анализа графиков по рис. 2, зависимости $(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}^{np}$ и $(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}^{\text{диф}}$ от β_c в диапазоне его изменения от 0 до 35м^{-1} практически линейные, что позволяет представить их в виде аппроксимационных выражений

$$(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}^{np} = 0,758 - 0,0016\beta_c, \quad (12)$$

$$(\alpha_p \tau_{cn})_{\text{эфф}}^{\text{диф}} = 0,660 - 0,0014\beta_c. \quad (13)$$

Одной из центральных задач

теплового моделирования ПСК для нагрева ЖТН является определение среднерабочей температуры поверхности их ЛПТП ($\bar{t}_p$), которая является основным фактором при определении их тепловых потерь в окружающую среду. Решение данной задачи опытным путем, т.е. непосредственным измерением локальных значений температур на поверхности ЛПТП с помощью многочисленных термопар и усреднением результатов измерений при различных значениях $q_{\text{нозл}p}^{\Sigma}$ и t_o , связано с неизбежными погрешностями.

В связи с этим, для определения эффективного значения $\bar{t}_p$, в котором учитывается частичное поглощение и преобразование в тепло проходящего через СП суммарного СИ, в работе впервые предложен бесконтактный метод, основанный на совместном рассмотрении выражения (8) и выражения для определения удельной теплопроизводительности ПСК ($q_{\text{пол}}$)

$$q_{\text{пол}} = q_{\text{нозл}p}^{\Sigma} - K_{np-p-o}^{\text{эфф}} (\bar{t}_{p_{\text{эфф}}} - t_o) \quad (14)$$

предложена расчетная формула

$$\bar{t}_{p_{\text{эфф}}} = 22,9358 \{ [(5,8426 - 0,010 t_o - 0,0218 A\beta_c)^2 + 0,0872 ((5,8426 + 0,0117 A\beta_c) t_o + 0,0117 t_o^2 + 4,2501 A\beta_c + q_{\text{нозл}p}^{\Sigma} - q_{\text{пол}})]^{0,5} - 5,8426 + 0,0101 t_o + 0,0218 A\beta_c \}, ^\circ\text{C} \quad (15)$$

и обоснована ее достоверность.

В формуле (15)

$$q_{\text{пол}} = (\dot{m}c_p)_f (t_{f_{\text{вых}}} - t_{f_{\text{вх}}}) \quad (16)$$

– удельная теплопроизводительность коллектора, определяемая экспериментальным путем; $\dot{m}_f$ – удельный расход теплоносителя через коллектор; C_{pf} – удельная теплоемкость теплоносителя; $t_{f_{\text{вх}}}$ и $t_{f_{\text{вых}}}$ – соответственно, температуры теплоносителя на входе в коллектор и на выходе из него.

Другой, не менее важной, задачей теплового моделирования ПСК для нагрева ЖТН является определение усредненного по длине ТОК ЛПТП значения среднемассовой температуры теплоносителя ($\bar{t}_{f_l}$). Как уже отмечено выше (во введении), в существующей практике обработки результатов теплового тестирования ПСК, для простоты, в место $\bar{t}_{f_l}$ пользуются ее среднеарифметическим значением, определяемым по выражению

$$\bar{t}_{f_{ap}} = 0.5(t_{f_{\text{вых}}} + t_{f_{\text{вх}}}), \quad (17)$$

которое в зависимости от значения $\dot{m}_f$ дает погрешность в расчетах 4÷5%.

В работе на основе составления и решения дифференциального уравнения теплового баланса для элементарного участка единичного элемента листотрубной ЛПТП ПСК для нагрева ЖТН предложена методика определения значения $\bar{t}_{f_l}$ и впервые получено расчетное выражение

$$\bar{t}_{f_l} = \frac{q_{\text{поглр}}^{\Sigma}}{K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}}} + t_o - (t_{f_{\text{вых}}} - t_{f_{\text{вх}}}) \left/ \ln \frac{\frac{q_{\text{поглр}}^{\Sigma}}{K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}}} + t_o - t_{f_{\text{вх}}}}{\frac{q_{\text{поглр}}^{\Sigma}}{K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}}} + t_o - t_{f_{\text{вых}}}} \right. \quad (18)$$

Согласно результатам расчетов, при $t_o = 32,7^{\circ}\text{C}$, $q_{\text{падс}}^{\Sigma} = 840 \text{ Вт/м}^2$ ($q_{\text{надс}}^{\text{пр}} = 745,0 \text{ Вт/м}^2$, $q_{\text{надс}}^{\text{диф}} = 95,0 \text{ Вт/м}^2$), $\beta_c = 35 \text{ м}^{-1}$, $(\alpha_p \tau_{\text{сн}})_{\text{эфф}}^{\text{пр}} = 0,70$ и $(\alpha_p \tau_{\text{сн}})_{\text{эфф}}^{\text{диф}} = 0,61$ значение $q_{\text{поглр}}^{\Sigma}$, определенное по (10), составляет $579,45 \text{ Вт/м}^2$. При значениях $t_{f_{\text{вх}}} = 20,2^{\circ}\text{C}$, $t_{f_{\text{вых}}} = 60,1^{\circ}\text{C}$ и $\dot{m}_f = 2,5495 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м}^2\text{с)}$ значение $q_{\text{пол}}$, определенное по (16), составляет $425,90 \text{ Вт/м}^2$. Значение $\bar{t}_{\text{рэфф}}$, определенное по (15), при этом составляет $55,53^{\circ}\text{C}$. При указанных значениях $\bar{t}_{\text{рэфф}}$, t_o , $q_{\text{падс}}^{\Sigma}$, $\alpha_{\text{нарс2-о}}^{\Sigma}$ и β_c значение $K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}}$, определенное по (8), при $\rho_{\text{рэфф}} = 0,05$ составляет $6,7264 \text{ Вт/м}^2$. Значение $\bar{t}_{f_l}$ при указанных значениях параметров составляет $41,87^{\circ}\text{C}$, что на $1,72^{\circ}\text{C}$ (т.е. на 4,27%) выше значения $\bar{t}_{f_{\text{ар}}}$ ($40,15^{\circ}\text{C}$), определенного по (17).

Наряду с $K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}}$, одним из основных теплотехнических параметров ПСК является коэффициент тепловой эффективности их ЛПТП ($\eta_{\text{тп}}$), который характеризует эффективность переноса тепла от ее элементов к теплоносителю в ее ТОК. В работе на основе анализа закономерностей формирования $\bar{t}_{f_l}$ впервые установлено выражение

$$\eta_{\text{тп}} = \frac{(\dot{m}C_p)_f}{K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}}} \ln \left[\left(\frac{q_{\text{поглр}}^{\Sigma}}{K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}}} + t_o - t_{f_{\text{вх}}} \right) / \left(\frac{q_{\text{поглр}}^{\Sigma}}{K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}}} + t_o - t_{f_{\text{вых}}} \right) \right] \quad (19)$$

для определения значения коэффициента тепловой эффективности ЛПТП ПСК для нагрева ЖТН ($\eta_{\text{тп}}$). При значениях $(\dot{m}C_p)_f = 10,6742 \text{ Вт/(м}^2\text{C)}$, $K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}} = 6,7264 \text{ Вт/(м}^2\text{C)}$, $q_{\text{поглр}}^{\Sigma} = 579,45 \text{ Вт/м}^2$, $t_o = 32,7^{\circ}\text{C}$, $t_{f_{\text{вх}}} = 20,2^{\circ}\text{C}$ и $t_{f_{\text{вых}}} = 60,1^{\circ}\text{C}$ значение $\eta_{\text{тп}}$, определенное по (19), составляет 0,8225.

Равенства значений $q_{\text{пол}}$ ($425,90 \text{ Вт/м}^2$), определенных по выражениям (14), (16) и

$$q_{\text{пол}} = \eta_{\text{тп}} \left[q_{\text{поглр}}^{\Sigma} - K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}} (\bar{t}_{f_l} - t_o) \right], \quad (20)$$

подтверждают достоверность предложенных моделей теплового расчета ПСК для нагрева ЖТН по определению значений $K_{\text{нрр-о}}^{\text{эфф}}$, $\bar{t}_{\text{рэфф}}$, $\bar{t}_{f_l}$ и $\eta_{\text{тп}}$.

В мировой практике в области разработки и создания высокоэффективных и малометаллоемких поколений ПСК одной из главных задач является поиск путей обеспечения их максимальной теплопроизводительности при минимальной массе их ЛПТП. В работе для определения отношения удельной теплопроизводительности ПСК ($q_{\text{пол}}$) к удельной массе ЛПТП ($m_{\text{тп}}^{\text{уд}}$) предложено выражение

$$\frac{q_{nol}}{m_{mn}^{y\partial}} = \frac{(2a_{лн} \eta_{лн} + d_{нар}) \pi d_{вн} \bar{\alpha}_{квн} \left[q_{nozлp}^{\Sigma} - K_{np-p-o} (\bar{t}_{fl} - t_o) \right]}{\left[(2a_{лн} \eta_{лн} + d_{нар}) K_{np-p-o} + \pi d_{вн} \bar{\alpha}_{квн} \right] \left[2a_{лн} \eta_{лн} \rho_{лн} + 0,25 \pi (d_{нар}^2 - d_{вн}^2) \right] \rho_{тк}}, \quad (21)$$

где

$$\eta_{лн} = th \left(a_{лн} \sqrt{\frac{K_{np-p-o}}{(\delta\lambda)_{лн}}} \right) / a_{лн} \sqrt{\frac{K_{np-p-o}}{(\delta\lambda)_{лн}}} \quad (22)$$

– коэффициент тепловой эффективности лучепоглощающей пластины (ЛПП) листотрубной ЛПТП; $a_{лн}$, $\delta_{лн}$ и $\lambda_{лн}$ – соответственно, половина ширины, толщина и коэффициент теплопроводности материала изготовления ЛПП; $d_{вн}$, $d_{нар}$ – соответственно, внутренний и наружный диаметры ТОК ЛПТП; $\bar{\alpha}_{квн}$ – среднее значение коэффициента конвективной теплоотдачи внутренней поверхности стенки ТОК; $\rho_{лн}$ и $\rho_{тк}$ – соответственно, плотности материалов изготовления ЛПП и ТОК.

В связи с тем, что выражение (21), как целевая функция для определения критических значений $a_{лн}$ с учетом влияния на их $\bar{\alpha}_{квн}$ (при заданных расходах теплоносителя через ТОК – G_f), чрезмерно сложно для дифференцирования, значение $a_{лн}^{кр}$ в зависимости от G_f в работе определено на основе его графического решения.

В связи с многопараметральностью отношения (21) и сложной зависимостью $\bar{\alpha}_{квн}$ от G_f и $\bar{t}_{fl}$ для определения значения $\frac{q_{nol}}{m_{mn}^{y\partial}}$ разработаны алгоритм и программное обеспечение в пакете MathCAD 2001 Professional, которые явились основой математической модели для комплексной оптимизации межтрубного расстояния и расхода теплоносителя через ТОК листотрубных ЛПТП ПСК для нагрева ЖТН (DGU № 02506).

Согласно результатам расчетов, оптимальными диапазонами изменения удельного расхода теплоносителя ПСК для получения горячей воды с температурой $55 \div 60^\circ C$ является $8 \div 12 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ час})$, а для получения теплой воды с температурой $35 \div 40^\circ C$ – $20 \div 25 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ час})$. Обобщая результаты исследований по решению рассматриваемой задачи в работе впервые установлена графическая зависимость для определения оптимального значения половины межтрубного расстояния листотрубных ЛПТП ПСК для нагрева ЖТН ($a_{лн}^{opt}$) от параметра $\sqrt{\frac{K_{np-p-o}}{(\delta\lambda)_{лн}}}$ (рис. 3).

Результаты анализа распределения ширины ЛПП ($a_{лн}$) ЛПТП из медных листов толщиной $\delta_{лн} = 0,25 \text{ мм}$ показывают, что из 33 модификаций ПСК американских производителей в 25 (т.е. около 75 %) при значениях параметра $\sqrt{\frac{K_{np-p-o}}{(\delta\lambda)_{лн}}}$ от 7,5 до $9,0 \text{ м}^{-1}$ значения $a_{лн}$ составляет от 0,05 до 0,063 м, что подтверждает практичность полученных результатов и достоверность

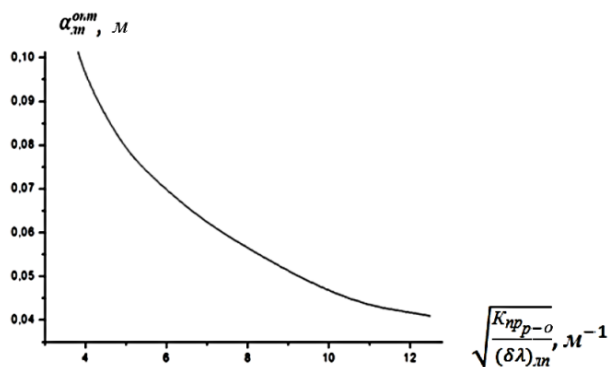


Рис. 3. Зависимость оптимального значения половины межтрубного расстояния листотрубных ЛПТП ПСК для нагрева ЖТН ($\alpha_{лп}^{opt}$) от параметра $\frac{K_{np-p-o}}{(\delta\lambda)_m}$

предложенной тепловой модели по оптимизации межтрубного расстояния листотрубных ЛПТП ПСК для нагрева ЖТН. На основе практической графической зависимости, приведенной на рис.3, предложена конструкция ПСК для нагрева ЖТН с проточной ЛПТП из теплостойких пластиков (Патент на ПМ «Коллектор солнечной энергии» № FAP 00908 от 03.04.2014г.).

В четвертой главе «Развитие методики проведения и обработки результатов теплового тестирования плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя в натурных квазистационарных условиях для определения их основных теплотехнических параметров» приведены результаты исследований по совершенствованию существующих методик проведения и обработки результатов теплового тестирования ПСК для нагрева ЖТН. Следует отметить, что на основе тестирования ПСК по общепризнанной методике Национального бюро стандартов США и графической обработке его результатов можно получить лишь значение комплекса $\eta_{mn}K_{np-p-o}$ в околополуденные часы дня, а не η_{mn} и K_{np-p-o} в отдельности.

Сущность совершенствования методики теплового тестирования ПСК, предложенной в работе, заключается во введении в практику обработки результатов их теплового тестирования впервые полученных выражений по определению $\bar{t}_{p_{эфф}}$ и $\bar{t}_{f_l}$, а также дополнительных условий, позволяющих оптимально планировать проведение тестов и существенно сократить их продолжительность.

Следует отметить, что в процессах теплового тестирования ПСК в натурных условиях влияние частичного поглощения проходящего через СП суммарного СИ на величину K_{np-p-o} и зависимость последнего от $\bar{t}_{p_{эфф}}$ и t_o , как правило учитываются в результатах измерений механически. В связи с этим, при обработке результатов измерений по тепловому тестированию ПСК учет зависимости K_{np-p-o} от β_c , $q_{надс}^{\Sigma}$, $\rho_{p_{эфф}}$, $\bar{t}_{p_{эфф}}$, $\alpha_{нар_{с2-o}}^{\Sigma}$ и t_o не требуется. Значение K_{np-p-o} при этом принимается равным значению $K_{p-p-o}^{эфф}$.

Тепловое тестирование ПСК для нагрева ЖТН должно проводиться на специальном стенде, конструкция которого позволяет надежное крепление коллектора с возможностью изменения их угла наклона к горизонту (от 20 до 40°) и азимутальной ориентации (до $\pm 5^\circ$). Принципиальная схема

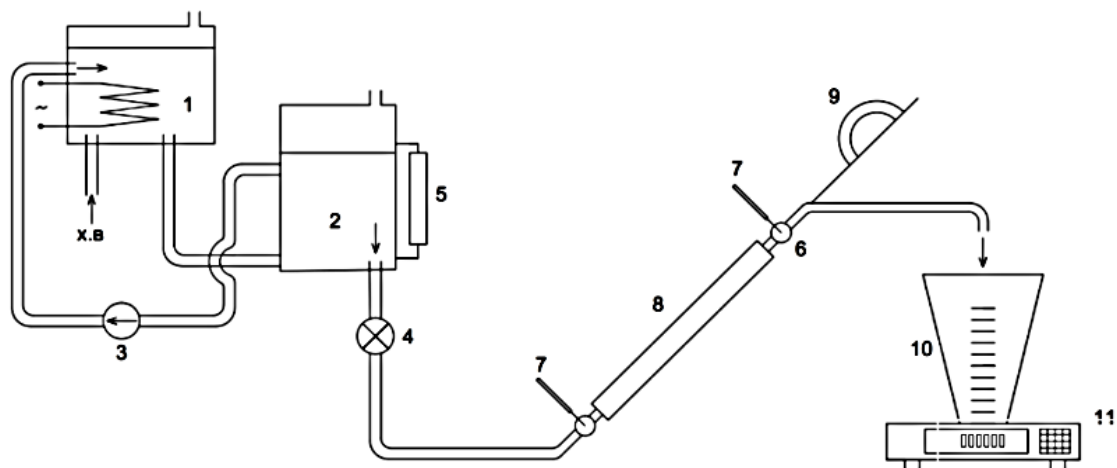
простейшего испытательного стенда для теплового тестирования ПСК для нагрева ЖТН с разомкнутым контуром теплоносителя приведена на рис. 4.

Для запланированных дней проведения теплового тестирования ПСК на основе выражения

$$z_{\text{мнв}}^{\text{und}} = z_{\text{ссв}}^{\text{und}} + E + 4(L_{\text{ср}} - \lambda_{\text{м}}), \text{ ч.м.} \quad (23)$$

определяются моменты истинного полудня для данной местности по местному поясному (т.е. стандартному) времени ($z_{\text{мнв}}^{\text{und}}$). В выражении (23) $z_{\text{ссв}}^{\text{und}} = 12 \text{ ч}$ - момент истинного полудня по среднему солнечному времени (ссв); $L_{\text{ср}}$ - долгота среднего меридиана рассматриваемого местного часового пояса в градусах; $\lambda_{\text{м}}$ - долгота данной местности в градусах восточной долготы; E - поправка к уравнению времени.

При проведении теплового тестирования ПСК в промежутке времени $z_{\text{мнв}}^{\text{und}} \pm 10 \text{ мин.}$, как показывают результаты визуальных наблюдений, наряду с обеспечением квазистационарного режима (т.е. $q_{\text{нао}}^{\Sigma} \cong \text{const}$, $t_o \cong \text{const}$), достигается минимизация влияния вертикальных затенений поверхности ЛПТП боковыми стенками корпуса ПСК. Для минимизации влияния горизонтальных затенений поверхности ЛПТП необходимо установить ПСК под углом $\alpha = 90 - h_{\odot}$ к горизонту при строго южной ориентации ($h_{\odot}$ - высота стояния Солнца в момент $z_{\text{мнв}}^{\text{und}}$). При обеспечении этих условий общая продолжительность времени тестирования может составлять 20 мин., в том числе 10 мин. до истинного полудня и 10 мин. после него. Однако, для того чтобы обеспечить стабильный тепловой режим тестируемого коллектора к моменту начала контрольных замеров, его необходимо запускать не позднее 10ч. утра.



- 1 – бак-накопитель с регулируемым электронагревателем; 2 – бак-накопитель, обеспечивающий постоянство расхода теплоносителя через ПСК; 3 – циркуляционный насос; 4 – регулировочный вентиль; 5 – смотровое стекло; 6 – камеры смещения теплоносителя; 7 – стеклянные ртутные термометры; 8 – тестируемый ПСК; 9 – пиранометр; 10 – мензурка; 11 – электронные весы

Рис.4. Принципиальная схема лабораторного испытательного стенда для теплового тестирования ПСК с разомкнутым контуром теплоносителя

Каждая серия теплового тестирования ПСК продолжительностью не более 3 мин. включает в себе измерения удельного расхода теплоносителя через него ($\dot{m}_f$), температур теплоносителя на входе ($t_{f_{вх}}$) в коллектор и на выходе ($t_{f_{вых}}$) из него, а также значений $q_{над_с}^\Sigma$ и t_o . Как отмечено выше, значение $q_{нозл_p}^\Sigma$ определяется на основе лабораторных измерений значений α_p и $\tau_{сн}$.

В этой главе также приведены результаты исследований по развитию темнового метода тестирования ПСК для нагрева ЖТН, которые базируются на определении их теплотехнических параметров в ночные часы суток. Как показывают результаты наблюдений, основным преимуществом темнового способа определения теплотехнических характеристик ПСК является возможность обеспечения постоянства значений t_o , $t_{f_{вх}}$ и G_f в течение продолжительных экспериментов (более 1 ч.). В данной главе приведены также результаты исследований нестационарного теплового режима (т.е. снижения температуры горячей воды) в баке-аккумуляторе солнечных СГВС в течении ночного периода суток.

В пятой главе «**Определение удельной теплопроизводительности, технико-экономических и экологических показателей плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя**» приведены результаты исследований по определению удельной теплопроизводительности ПСК среднего качества ($q_{пол}$) по долгосрочным метеорологическим данным в зависимости от наперед заданного значения температуры горячей воды ($t_{f_{вых}}$), подаваемой к абонентам СГВС, и на этой основе технико-экономические и экологические показатели их использования.

Отметим, что общепризнанные выражения для определения корректного значения $q_{пол}$ в зависимости от наперед заданного значения $t_{f_{вых}}$ до настоящего времени не существуют. Определение зависимости $q_{пол} = f(t_{f_{вых}})$ в квазистационарных условиях с помощью выражения (20), полученного на основе реализации тепловой модели ПСК с нулевой теплоемкостью Хоттеля-Уиллера-Блисса (США), без учета внутренних взаимосвязей входящих в него параметров, а также зависимости последних от температуры теплоносителя, как показывают результаты расчетов, приводит к существенным погрешностям.

В связи с такой ситуацией, для определения значения $q_{пол}$ в зависимости от наперед заданного значения $t_{f_{вых}}$ нами впервые предложена новая тепловая (математическая) модель ПСК для нагрева ЖТН (DГУ № 03822), состоящая из системы балансовых уравнений (14), (16) и (20), при реализации которой использованы впервые полученные выражения по определению $K_{np-p-o}^{\phi\phi}$ (8), $\bar{t}_{p_{\phi\phi}}$ (15), $\bar{t}_{f_l}$ (18) и η_{mn} (19) с учетом их зависимостей между собой и зависимостей каждого из них от $q_{нозл_p}^\Sigma$, $\dot{m}_f$, $t_{f_{вх}}$, $t_{f_{вых}}$ и t_o с учетом влияния

частичного поглощения и преобразования в тепло проходящего через СП коллектора суммарного СИ.

В целях практической реализации предложенной тепловой модели ПСК в работе приведены последовательность определения перечисленных выше параметров и пример расчета по определению зависимости $q_{\text{пол}} = f(t_{f_{\text{вых}}})$ для значений $t_{f_{\text{вых}}} = 37; 45$ и 55°C , которые имеют потребительскую значимость для абонентов СГВС.

На основе расчетов по определению дневных ходов среднечасовых значений $q_{\text{пол}i}$ в зависимости от $\bar{t}_{fi}$ по выражению (20) с учетом решений (18), (19) и продолжительности временного шага ($\Delta z = 1\text{ч}=3600\text{с}$) по выражению

$$Q_{\text{пол}i}^{\text{дн}} = \sum_{i=z_{\text{нач}}^{\text{ар}}}^{z_{\text{зав}}^{\text{ар}}} (q_{\text{пол}} \Delta Z)_i, \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{день}), \quad (24)$$

в котором $z_{\text{нач}}^{\text{ар}}$ и $z_{\text{зав}}^{\text{ар}}$ – соответственно моменты начала и завершения активной работы ПСК, определено значение дневной суммы теплопроизводительности ПСК по характерным дням месяцев ($Q_{\text{пол}i}^{\text{дн}}$) для г. Ташкента. За характерные дни месяцев выбраны их 15-ое число, а для февраля – 14-ое, метеорологические данные которых соответствуют или очень близки к долгосрочным среднемесячным данным. Годовой ход зависимости $Q_{\text{пол}i}^{\text{дн}}$ от $t_{f_{\text{вых}}}$ представлен на рис. 5.

Согласно результатам расчетов, значения среднегодовой удельной теплопроизводительности коллектора ($Q_{\text{пол}}^{\text{год}}$) при $t_{f_{\text{вых}}} = 37; 45$ и 55°C составляют 3029,3; 2767,0 и 2437,1 МДж/(м²год), соответственно.

Для значений $t_{f_{\text{вых}}}$, отличающихся от 37; 45 и 55°C , соответствующие значения $Q_{\text{пол}}^{\text{год}}$ могут быть определены из аппроксимационной зависимости

$$Q_{\text{пол}}^{\text{год}} = 3029,3 - 32,85(t_{f_{\text{вых}}} - 37^{\circ}\text{C}), \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (25)$$

полученной на основе обработки результатов расчетов по определению зависимости $Q_{\text{пол}}^{\text{год}} = f(t_{f_{\text{вых}}})$. Максимальное значение относительной погрешности расчетов по определению $Q_{\text{пол}}^{\text{год}}$ по выражению (25) составляет 1,0%.

Годовой ход, т.е. распределение отношения $Q_{\text{пол}i}^{\text{мес}}/Q_{\text{пол}}^{\text{год}}$ по месяцам года в зависимости от $t_{f_{\text{вых}}}$ для г. Ташкента, представлен на рис. 6.

Как следует из анализа данных, приведенных на рис. 6, периодом эффективной работы ПСК в СГВС является теплый период (с 15 апреля по 15 октября) года, в течение которого значение $Q_{\text{пол}i}^{\text{мес}}/Q_{\text{пол}}^{\text{год}} \geq 0,07$, что хорошо согласуется с результатами обобщения многолетнего опыта эксплуатации солнечных СГВС в г.Ташкенте.

Значение среднегодовой тепловой эффективности двухконтурных солнечных СГВС ($\bar{\eta}_{\text{год}}$) в зависимости от $t_{f_{\text{вых}}}$ определено из отношения

$$\bar{\eta}_{год} = \frac{Q_{пол}^{год}}{Q_{над}^{год}}. \quad (26)$$

Подставляя значения $Q_{пол}^{год}$ из (26) в отношение (25) с учетом значения $Q_{пол}^{год}=6866,5 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ для ПСК, установленного под углом $\alpha=30^\circ$ к горизонту и ориентированного на юг, в условиях г.Ташкента получено

$$\bar{\eta}_{год}=0,4412-0,0048(t_{f_{вых}}-37^\circ\text{C}). \quad (27)$$

Согласно результатам соответствующих расчетов для ПСК, эксплуатируемых в СГВС в теплый период года (mn_2), в течение которого значение $Q_{пол}^{mn_2}=4563,9 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон})$, аппроксимационные выражения (24) и (26) могут быть представлены в виде

$$Q_{пол}^{mn_2} = 2332,5 - 18,86(t_{f_{вых}} - 37^\circ\text{C}), \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон}), \quad (28)$$

$$\bar{\eta}_{ТПГ}=0,5111-0,0042(t_{f_{вых}}-37^\circ\text{C}). \quad (29)$$

Как показывают результаты соответствующих расчетов, при использовании ПСК для нагрева воды в СГВС только в теплый период года значения $Q_{пол}^{ТПГ}$ снижаются на 29,9; 26,8 и 22,3% по сравнению со значениями $Q_{пол}^{год}$ при $t_{f_{вых}} = 37; 45$ и 55°C , соответственно.

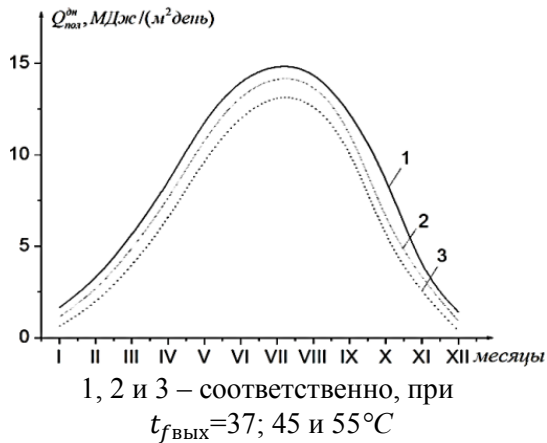


Рис.5. Среднедневная теплопроизводительность ПСК по характерным дням месяцев ($Q_{пол}^{дн}$) в зависимости от $t_{f_{вых}}$

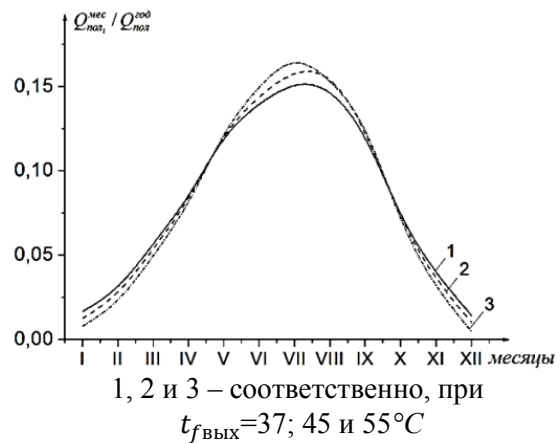


Рис.6. Годовой ход отношения $Q_{пол}^{мес}/Q_{пол}^{год}$ в зависимости от $t_{f_{вых}}$

В работе на основе выполненных расчетов по определению $Q_{пол}^{год}$ и $Q_{пол}^{mn_2}$ в зависимости от $t_{f_{вых}}$ установлены зависимости для определения удельного (приведенного на единицу площади поверхности ПСК) количества замещающего топлива (zm) за счет использования СЭ с помощью ПСК в СГВС

$$G_{zm}^{год} = \frac{Q_{пол}^{год}}{\eta_{тг} Q_{zm}} = \frac{3029,3 - 32,85(t_{f_{вых}} - 37^\circ\text{C})}{\eta_{тг} Q_{zm}}, \text{ кг.}zm/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (30)$$

$$G_{zm}^{mn_2} = \frac{Q_{пол}^{mn_2}}{\eta_{тг} Q_{zm}} = \frac{2332,5 - 18,86(t_{f_{вых}} - 37^\circ\text{C})}{\eta_{тг} Q_{zm}} \text{ кг.}zm/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон}), \quad (31)$$

в которых $\eta_{\text{тг}}$ – тепловая эффективность, т.е. коэффициент полезного действия традиционной теплогенерирующей (водонагревательной) установки в СГВС; $q_{\text{зт}}$ – теплотворная способность замещаемого топлива (МДж/кг).

Наряду с экономией традиционных топливно-энергетических ресурсов использование СЭ в СГВС позволяет сократить определенное количество парникового газа (CO_2), выбрасываемого в окружающую среду за счет соответствующего сбережения сжигаемого органического топлива. Удельное снижение выбросов CO_2 в окружающую среду за счет использования ПСК для нагрева воды в СГВС может быть определено из выражения

$$\Delta G_{\text{CO}_2} = C_{\text{CO}_2} \frac{Q_{\text{пол}}}{\eta_{\text{те}} q_{\text{зт}}}, \quad (32)$$

где C_{CO_2} – отношение количества выбрасываемого CO_2 на единицу количества сжигаемого топлива, зависящее от содержания углерода (С) в топливе (r_c). Для природного газа ($r_c=0,7$) значение C_{CO_2} составляет 1,88, а для бурого угля – в зависимости от r_c составляет: 3,38 при $r_c=0,26$ и 5,22 при $r_c=0,4$.

Согласно результатам расчетов, за счет использования ПСК для нагрева воды в СГВС вместо сжигания природного газа, возможная удельная экономия природного газа с объемным весом ($\rho_{\text{нг}}$) 0,72 кг/н.м³ и $q_{\text{зт}} = 35$ МДж/н.м³ при $\eta_{\text{те}} = 0,8$ значения $G_{\text{зт}}^{\text{год}}$ составляют 108,19; 98,81 и 87,08 н.м³/(м² · год), а удельное снижение выброса CO_2 в окружающую среду $\Delta \text{CO}_2^{\text{год}}$ 146,45; 133,73 и 117,83 кг CO_2 /(м² · год) при $t_{\text{фвх}}=37$; 45 и 55°C, соответственно.

Для бурого угля при $r_c=0,4$, $q_{\text{зт}}=14,068$ МДж/кг и $\eta_{\text{те}} = 0,8$ значения $G_{\text{зт}}^{\text{год}}$ составляют 269,17; 245,81 и 216,61 кг/(м² · год), а $\Delta \text{CO}_2^{\text{год}}$ – 1404,41; 1282,50 и 1130,08 кг/(м² · год) при $t_{\text{фвх}}=37$; 45 и 55°C, соответственно.

В приложениях диссертации приведены оценка погрешностей измерений и вычислений, значения склонения Солнца, поправки к уравнению времени, моментов истинного полудня, восхода и захода Солнца по местному поясному времени для г. Ташкента по дням года, среднемесячные дневные ходы среднечасовых значений поверхностной плотности потоков падающего, прошедшего через СП и поглощенного поверхностью ЛПТП суммарного СИ для ориентированных на юг и наклоненных к горизонту под углом 30° ПСК, дневные ходы температуры окружающей среды по характерным дням месяцев, удельной теплопроизводительности ПСК при наперед заданных значениях температуры получаемой из коллекторов горячей воды 37; 45 и 55°C, результаты расчета ожидаемой экономической эффективности использования ПСК в сезонных двухконтурных СГВС с учетом экологического фактора, а также исходные данные по разработке ПСК для нагрева ЖТН с оптимизированными теплотехническими параметрами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов исследований по решению поставленных в диссертации задач, предлагается следующее заключение:

1. Впервые получено расчетное выражение для определения мощности внутреннего источника тепла в светопрозрачных покрытиях плоских солнечных коллекторов, в котором учтены экспоненциальное распределение мощности поглощенного солнечного излучения по их толщине и взаимной противоположности направлений многократно отраженных потоков солнечного излучения между границами разделов светопрозрачного покрытия и замкнутой воздушной прослойки системы «лучепоглощающая теплообменная панель - светопрозрачное покрытие». Данное выражение позволяет глубже исследовать тепловые процессы, происходящие в системе «лучепоглощающая теплообменная панель - светопрозрачное покрытие» плоских солнечных коллекторов.

2. Изучены температурное поле и процесс теплопередачи через светопрозрачное покрытие корпуса плоских солнечных коллекторов при наличии в нем внутреннего источника тепла, сформированного вследствие частичного поглощения и преобразования в тепло проходящего через него солнечного излучения и на этой основе впервые установлены расчетные выражения для определения распределения температуры и удельных тепловых потоков по его толщине, значений температур и поверхностных плотностей тепловых потоков на его внутренней и наружной поверхностях.

3. Впервые выведено расчетное выражение для определения эффективного приведенного коэффициента тепловых потерь лучепоглощающей теплообменной панели плоских солнечных коллекторов в окружающую среду с учетом их среднерабочей температуры и температуры окружающей среды, а также частичного поглощения солнечного излучения в их светопрозрачных покрытиях.

4. Впервые разработаны тепловые модели для определения среднерабочей температуры лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов бесконтактным методом, позволяющие определить значение ее среднерабочей температуры, усредненной по длине их теплоотводящих каналов среднетемпературы теплоносителя и коэффициента тепловой эффективности лучепоглощающих панелей рассматриваемого типа.

5. Впервые разработана тепловая модель для комплексной оптимизации межтрубного расстояния листотрубных лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов и расхода теплоносителя через них.

6. Создан лабораторный испытательный стенд для проведения теплового тестирования плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя, разработана методика проведения с его помощью краткосрочных тепловых тестов коллекторов.

7. Совершенствована методика проведения и обработки результатов теплового тестирования плоских солнечных коллекторов в натурных квази-

стационарных условиях, позволяющие существенно сократить продолжительность проведения испытаний и определения значений коэффициента тепловой эффективности и приведенного коэффициента тепловых потерь в окружающую среду от лучепоглощающих теплообменных панелей в отдельности.

8. Разработана тепловая модель для определения удельной теплопроизводительности плоских солнечных коллекторов в зависимости от наперед заданного значения температуры нагреваемой воды и на основе ее реализации впервые установлены дневные, среднемесячные ходы и годовая (сезонная) сумма их теплопроизводительности и тепловой эффективности в диапазоне изменения температуры получаемой из них горячей воды от 37 до 55°C.

9. На основе анализа и обобщения полученных результатов определены рациональные сроки эффективного использования плоских солнечных коллекторов в системах горячего водоснабжения и определены их технико-экономические и экологические показатели в зависимости от температуры нагреваемой воды.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.T.03.03 AT TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY AND LIMITED LIABILITY COMPANY
«SCIENTIFIC –TECHNICAL CENTER»**

PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE OF SPA «PHYSICS-SUN»

AVEZOVA NILUFAR RABBANAKULOVNA

**SIMULATION OF SOLAR THERMAL CONVERSION PROCESSES IN
FLAT-PLATE COLLECTORS AND OPTIMIZATION THEIR MAIN
PARAMETERS FOR USING IN HOT WATER SUPPLY SYSTEMS**

**05.05.05 – Theoretical basis of heat engineering;
05.05.06 – Power-plants on the basis of renewable energy**

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

Tashkent – 2018

The theme of doctoral (DSc) dissertation on technical sciences was registered at Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.2.DSc/T43.

Dissertation has been prepared at the Physical-technical institute of SPA «Physics-Sun».

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific council (www.tdtu.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Scientific consultant: **Abdurakhmanov Abdujabbar**
doctor of technical sciences

Official opponents: **Popel Oleg Sergeevich**
doctor of technical sciences, professor

Abbasov Erkin Sadykovich
doctor of technical sciences, associate professor

Yuldoshov Isroil Abrievich
doctor of technical sciences

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

The defense will take 2018 _____«___» _____ at the meeting of Scientific Council DSc.27.06.2017.T.03.03 at the Tashkent State Technical University and LLC «Scientific-Technical Center». Address: 2, University str. Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone/ Fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

Dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent State Technical University (Registration number _____) Address: 2, University str. Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone/ Fax: (99871) 227-03-41.

Abstract of the dissertation was distributed on 2018 _____«___».
(mailing report №____ of 2018 _____ «___»).

K.R.Allaev

Chairman of the scientific council on award of scientific degrees, doctor of technical sciences, professor, Academician of the AS RUZ

O.X.Ishnazarov

Scientific secretary of the scientific council on award of scientific degrees, doctor of technical sciences, senior researcher

Dj.N.Muxiddinov

Chairman of the scientific seminar under scientific council on award of scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

Topicality and relevance of the theme of the dissertation. In Uzbekistan, using of solar energy (SE) is relevant, like to ensure energy security, and to improve the social and living conditions of the population. One of the most prepared area for large-scale using of solar cells in Uzbekistan is the system of hot water supply. For further expand the scale of the using of SE in this area in the first stage, it is necessary to have scientifically grounded information on their specific heat output and other technical, economic and environmental indicators.

Conformity of the research to the priority areas of science and technology development of the Republic of Uzbekistan. The thesis was made in accordance with the priority direction of development of science and technology of the Republic of Uzbekistan: IV« Development of methods for the using 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 dissertation. Calculation, theoretical and experimental studies on the using SE for heat supply in the Solar energy laboratory of the University of Wisconsin (USA), the Institute of Solar Technology of Switzerland and the National Solar Energy Center of India are conducting certification tests of solar water-heating collectors. On the basis of scientific research in this field, scientists from the Central Asian republics have created prototypes of solar collectors for heating water and air, and their main thermal characteristics have been determined.

Problem development status. In scientific research in the field of SE thermal conversion, using of SE, due attention has been paid to the consideration of the effect of partial absorption and conversion into heat of solar irradiation (SI) passing through the translucent cover (TC) on their heat loss.

Relation of the dissertation research with the plans of scientific-research works. The research was carried out within the framework of the tasks of the Physical-Technical Institute SPA «Physics-Sun» «Investigation of the optical and thermal engineering characteristics of the system «translucent insulation - radiation-absorbing heat exchange panel» of flat-plate solar thermal collectors» of Fundamental Research Programs of the Uzbekistan Academy of Sciences.

The aim of the research is to development solutions for increasing the efficiency of using flat-plate solar collector (FSC)s in hot water supply systems (HWSS), optimizing their main thermal and engineering parameters, modeling the processes of thermal transformation of SE in them.

The tasks of the research:

- simulate the processes of partial absorption and conversion into the heat of SI energy in the TC FSC;
- to develop a thermal model of the FSC for determining their specific heat output depending on the pre-assigned temperature value of the hot water obtained from it;
- determine the technical, economic and environmental indicators of their using in the HWSS.

The object of the research: flat-plate solar collectors, its translucent cover and sheet-paped light-absorbing heat-exchange panel (LAHP)s.

The subject of the research: the study of the regularities of the thermal transformation processes of SE in the TC and LAHP of FSC; optimization of their main design and thermal parameters for using in HWSS and their thermal testing.

Methods of the research: simulation of thermal processes, flows in solar water collectors and experiments in natural conditions.

The scientific novelty of the research consists of following: - for the first time an approximate expression was found for determining the effective reduced coefficient of heat losses of the LAHP; - for the first time proposed and used in the calculation of a non-contact method for determining the average working temperature of LAHP; - proposed and implemented the methodology of complex optimization of the intertubular distance of sheet-paped LAHP.

Practical results of the research are as follows - proposed a graphical dependence of the determination of the optimum value of the intertubular distance of a sheet-paped LAHP; - established the values of the average annual and seasonal (for the warm period of the year) specific heat output of SWC, technical and economic and environmental indicators depending on the temperature of the hot water obtained from them.

Authenticity of the obtained results is confirmed by application of modern generally accepted methods of thermal modeling and optimization of thermal engineering parameters of solar thermal installations; in good agreement of the results of calculated and experimental data for the same values of the initial parameters.

Scientific and practical value of the research results. The scientific value of the research is that the results of the research make a significant contribution to the development of the theoretical foundations of heat engineering and the practice of thermal calculation.

Practical implementation of the developed methods for thermal optimization of the main parameters of sheet-paped LAHP allows the creation of new low-mass generation FSC with optimized heat engineering parameters.

Implementation of the research results. The results of the research are implemented in the «MIR SOLAR» LLC at the organization of production of the flat-plate solar collectors for using in the hot water supply systems. Due to the optimization of intertubular distance their sheet-paped LAHPs has been achieved reduction in their specific mass by 0.4015 kg/m^2 .

Approbation of the results. Results of research have been discussed at 10 International and Republican scientific-practical conferences.

Publication of the results. The main results of the dissertation are published in 36 research works, including 1 monograph, 18 scientific papers in international (16) and the Republican (2) journals, recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of dissertation, received 1 patent for Utility model and 3 Certificates for computer software products.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of references and applications. Scope of the thesis is 186 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть, I part)

1. Авезова Н.Р., Авезов Р., Вохидов А.У. Ресурсные показатели плоских солнечных водонагревательных коллекторов. Методика расчета основных теплотехнических, технико-экономических и экологических показателей солнечных коллекторов. – Германия: Саарбрюккен, Lambert Academic Publishing, 2016. 82 с.
2. Avezova N.R. Thermal Efficiency of Heat Storage for Solar Hot-Water Supply Systems // Applied Solar Energy. – USA. 2006. – Vol.42, №2. – pp. 56-59 (05.00.00; №4).
3. Avezov R.R., Avezova N.R., Samiev K.A. Transmission Coefficient of the Transparent Insulation of Flat Diffuse Solar Radiation Heating Systems // Applied Solar Energy. –USA. 2007. – Vol.43, №1. – pp.6-7 (05.00.00; №4).
4. Avezov R.R., Avezova N.R., Samiev K.A. Temperature Field and Heat Flows Through Transparent Covers of Flat-Plate Solar Collector Housing // Applied Solar Energy.–USA. 2008.–Vol.44,№1.–pp.13-16 (05.00.00; №4).
5. Avezov R.R., Avezova N.R., Samiev K.A. Influence of Multiple Internal Reflection of Transmitted Solar Radiation between Interfaces on Temperature Regime of Transparent Flat Solar Collectors Casing Covers // Applied Solar Energy. – USA. 2008. – Vol.44, №2. – pp.82-86 (05.00.00; №4).
6. Avezov R.R., Avezova N.R., Samiev K.A. Effective Absorbability of «Tranlucent Cover - Radiation Absorbing Heat-Exchange Panel» System of Flat Solar Collectors // Applied Solar Energy. –USA. 2008. – Vol.44, №3. – pp.161-163 (05.00.00; №4).
7. Avezova N.R., Avezov R.R. Impact of Coefficients of Solar Radiation Attenuation of Translucent Cover and Radiation Absorbing Heat-Exchange Panel on Optimal Thickness of Closed Air Layer of «Tranlucent Cover - Radiation Absorption of Heat-Exchange Panel» System of Flat Solar Collectors // Applied Solar Energy. – USA. 2009. – Vol.45, №1. – pp.28-31 (05.00.00; №4).
8. Avezova N.R. Simplified Procedure for Determining the Heat Performances of Flat Solar Water-Heating Collectors // Applied Solar Energy. – USA. 2010. – Vol.46, №3. – pp.172-174 (05.00.00; №4).
9. Avezova N.R. Complex Optimization of Parameters of Sheet-Piped Beam-Absorbing Heat Exchange Panels of Flat Solar Collectors for Heating Liquid Heat Carrier // Applied Solar Energy. – USA. 2011. – Vol.47, №1. – pp. 5-10 (05.00.00; №4).
10. Avezova N.R. Effects of Thermotechnical Parameters of a Beam-Absorbing Plate on the Optimum Intertubular Distance of Tube-on-Sheet Panels of Plane

- Solar Collectors // Applied Solar Energy. – USA. 2011. – Vol.47, №2.– pp. 121-123 (05.00.00; №4).
- 11.Авезова Н.Р., Авезов Р.Р., Самиев К.А., Халимов А.С., Сулейманов Ш.И. Оптимизация межтрубного расстояния листотрубных теплообменных панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, ТГТУ, 2011. Специальный выпуск. -С. 129-135 (05.00.00; №21).
 - 12.Avezova N.R. Method to Determine the Mass Mean Temperature of Coolant in Flat Solar Collectors for Heating Liquid Coolant // Applied Solar Energy. – USA. 2011. – Vol.47, №3. – pp.195-198 (05.00.00; №4).
 - 13.Avezova N.R., Avezov R.R. Dependence of the coefficient of environmental thermal losses of radiation-absorbing thermal exchange panels of flat solar collectors for heating heat-transfer fluid from their average operating and ambient temperatures // Applied Solar Energy. – USA. 2015. – Vol.51, №1. – pp.10-14 (05.00.00; №4).
 - 14.Avezova N.R., Avezov R.R. No-contact method of determining average working-surface temperature of plate-type radiation-absorbing thermal exchange panels of flat solar collectors for heating heat-transfer fluid // Applied Solar Energy. – USA. 2015. – Vol.51, №2. – pp. 85-87. (05.00.00; №4).
 - 15.Avezova N.R. Procedure for determining the average heat-transfer temperature in heat removal channels of flat solar collectors and other thermal engineering parameters and complexes according to thermal testing results // Applied Solar Energy. –USA. 2015. –Vol.51, №3. –pp. 172-176 (05.00.00; №4).
 - 16.Авезова Н.Р. Влияние частичного поглощения солнечного излучения в светопрозрачных покрытиях корпуса плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя на температуру их лучепоглощающих теплообменных панелей. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, ТГТУ, 2016. № 1-2. – С. 186-190 (05.00.00; №21).
 - 17.Avezova N.R., Avezov R.R. A Procedure for Accelerated Determination of Main Heat Engineering Parameters of Flat-Plate Solar Collectors for Heating of a Heat Transfer Fluid// Applied Solar Energy. – USA. 2016. – Vol.52, №2. – pp. 93-96 (05.00.00; №4).
 - 18.Avezova N.R., Vokhidov A.U., Abdukhamidov D.U., Rakhimov E.Yu. Impact of the partial absorption of solar radiation in translucent covers of the flat-plate solar collector housing on the heat losses of their light-absorbing heat-exchange panel into the ambient // Applied Solar Energy. – USA. 2016. – Vol.52, №3. – pp. 197-200 (05.00.00; №4).
 - 19.Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Рахимов Э.Ю. Тепловая модель плоского солнечного водонагревательного коллектора // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». РФ. 2016. № 23-24. -С. 12-20 (05.00.00; №11).

II бўлим (II часть, II part)

20. Avezov R.R., Avezova N.R., Suleimanov Sh.I., Khaitmukhamedov A.E., Vokhidov A.U. Dependence of Engineering-and-Economical Indicators of Flat-Plate Solar Water-Heating Collectors from Temperature of Water Heating in Double-Circuit Hot-Water-Supply Systems // International Journal of Emerging, Engineering Research and Technology (IJEERT, India). 2015. October. V.3, I.10, – pp.14-18.
21. Avezova N.R. Heat Transfer Coefficient from Light-Absorbing Heat Exchanging Panel to the Heat Transfer in Flat-Plate Solar Collectors and Absorbers for Heating of the Heat Transfer Fluid // International Journal of Engineering and Advanced Research Technology (IJEART, India). 2016. January. V. 2. I. 10. – pp. 39-40.
22. Авезов Р.Р., Авезова Н.Р. «Экологические показатели плоских солнечных водонагревателей в условиях Республики Узбекистан» // Вестник ВИЭСХ. - М.: 2016. №1. – С. 90-93.
23. Авезов Р.Р., Авезова Н.Р. Повышение эффективности систем солнечного горячего водоснабжения. // Труды конференции, посвященной 60-летию Академии Наук Республики Узбекистан и Физико-технического института «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 27-28 ноября 2003г. – Ташкент, 2003. – С. 183-184.
24. Авезов Р.Р., Авезова Н.Р. Состояние и перспективы использования солнечной энергии для теплоснабжения в Узбекистане. // Труды международной конференции, посвященной 90-летию академика С.А.Азимова «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 18-19 ноября 2004 г. – Ташкент: 2004. – С. 104-108.
25. Авезов Р.Р., Авезова Н.Р. Методика расчета площади поверхности двухконтурных гелиоприставок солнечно-топливных котельных. // Материалы международной конференции, посвященной 15-летию независимости Узбекистана «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 26-27 октября 2006 г. – Ташкент, 2006 г. – С.48-50.
26. Авезова Н.Р. О разработке Узбекского национального стандарта по тепловым испытаниям солнечных водонагревательных коллекторов. // Материалы международной конференции, посвященной 80-летию академика М.С.Саидова «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 24-25 ноября 2010 г. – Ташкент, 2010. – С. 55-57.
27. Avezov R.R., Avezova N.R., Akhatov J.S., Samiev K.A. Optimization of Distance between Tubes of Sheet-Tube Heat Transfer Panels of Flat Plate Solar-Water-Heating Collectors. // ISES of Solar World Congress 2011. 28 August – 2 September. – Kassel (Germany): 2011. – pp. 212-215.
28. Avezova N.R., Avezov R.R., Aguera A.L., Akhatov J.S., Samiev K.A. Thermal Optimization the width of the Light Absorbing Plate of Sheet-Solar Absorbers for Preheating of feed Water in Combined Solar-Fuel Systems of Hot Water Supply // ISES of Inter. Conf. on Renewable Energies and Power Quality

- (ICREPQ'12). 2012. 28-30 of March. – Santiago de Compostela (Spain): 2012. CD publication – pp. 644-648.
29. Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р., Вахидов А.У. Температурная зависимость коэффициента тепловых потерь плоских солнечных водонагревательных коллекторов в окружающую среду. // Сборник тезисов докладов Республиканской конференции, посвященной 100-летию академика С.А.Азимова «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 3-4 ноября 2014 г. – Ташкент, 2014. – С. 176-178.
30. Аvezова Н.Р., Аvezов Р.Р., Абдухамидов Д.У. Развитие «темнового» способа определения теплотехнических характеристик плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя. // Материалы Международного Конгресса «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность» 27-28 октября 2015 г. РФ.– М.: 2015. – С. 24-27.
31. Аvezова Н.Р. Методика и порядок проведения краткосрочного теплового тестирования и ускоренного определения основных теплотехнических параметров и комплексов плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя. // Сборник тезисов докладов международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 5-6 ноября 2015 г. – Ташкент: 2015. – С. 370-374.
32. Аvezова Н.Р., Аvezов Р.Р., Куралов М.А., Вохидов А.У., Абдухамидов Д.У. Испытательный стенд для тестирования плоских солнечных водонагревательных коллекторов в натурных квазистационарных условиях // Труды международной конференции «Фундаментальных и прикладные вопросы физики» 13-14 июнь 2017 г., - Ташкент: 2015. -С. 17-19.
33. Патент на полезную модель № FAP 00908 от 03.04.2014. «Коллектор солнечной энергии». Автор: Аvezова Н.Р. // Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. № 5 (157). 2014. – С. 71-72.
34. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ: Гувохнома № DGU 02506 от 04.06.2012. «Математическая модель для комплексной оптимизации межтрубного расстояния и расхода теплоносителя через теплоотводящие каналы листотрубных лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов для нагрева жидких теплоносителей». Авторы: Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р., Касимов Ф.Ш., Самиев К.А., Ахатов Ж.С. // Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. № 7 (135). 2012. – С. 150.
35. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ: Гувохнома № DGU 03822 от 27.05.2016. «Математическая модель для определения теплопроизводительности плоских солнечных водонагревательных коллекторов при наперед заданной температуре получаемой из них горячей воды». Авторы: Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р. //

Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. № 7 (183). 2016. – С. 154.

36. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ: Гувохнома № DGU 03882 от 27.07.2016. «Программа для расчета моментов начала и завершения освещения лучевоспринимающей поверхности ориентированных на юг и наклоненных к горизонту плоских гелиоустановок прямыми солнечными лучами». Авторы: Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Рахимов Э.Ю. // Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. № 8(184). 2016. – С. 180.

Личный вклад автора. Работы (2, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 21, 26, 31, 33) написаны лично автором. В работах (1, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 22, 25, 27, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 36), опубликованных в соавторстве, автору принадлежит постановка научной задачи, ее решение и анализ полученных результатов. В работах (23, 24) вклад авторов распределяется в равной мере.

Автореферат «Til va adabiyot ta'limi» журналі тахририятида тахрирдан
ўтказилиб, ўзбек, рус ва англиз тилларидаги матнлари ўзаро
мувофиқлаштирилди (10.01.2018 йил).

Босишга рухсат этилди: 12.01.2018 йил
Бичими 60x45 ¹/₈, «Times New Roman»
гарнитуроада рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табоғи 4. Адади: 100. Буюртма: № 5.

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

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.