

**ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК-ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ
ҚАЙТА ТИҚЛАНДИГАН ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ
МИЛЛИЙ ИЛМИЙ ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

ВОХИДОВ АКМАЛ УЛАШЕВИЧ

**ЯССИ ҚУЁШ СУВ ИСИТГИЧ КОЛЛЕКТОРЛАРИ ПАНЕЛЛАРИДА
КЕЧАДИГАН ИССИҚЛИК ВА ГИДРАВЛИК ЖАРАЁНЛАР**

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

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

ҚАРШИ – 2021

УДК 662.997÷ 621.47

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

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

**Contents of the Dissertation Abstract of Philosophy Doctor(PhD)
on technical sciences**

Вохидов Акмал Улашевич

Ясси қуёш сув иситгич коллекторлари панелларида кечадиган иссиқлик
ва гидравлик жараёнлар 3

Вохидов Акмал Улашевич

Внутрипанельные тепло- и гидравлические процессы в плоских
солнечных водонагревательных коллекторах..... 21

Vokhidov Akmal Ulashevich

Intra panel thermal and hydraulic processes in flat-plate solar water heating
collectors..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works..... 43

**ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК-ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ
ҚАЙТА ТИКЛАНДИГАН ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ
МИЛЛИЙ ИЛМИЙ ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

ВОХИДОВ АКМАЛ УЛАШЕВИЧ

**ЯССИ ҚУЁШ СУВ ИСИТГИЧ КОЛЛЕКТОРЛАРИ ПАНЕЛЛАРИДА
КЕЧАДИГАН ИССИҚЛИК ВА ГИДРАВЛИК ЖАРАЁНЛАР**

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

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

ҚАРШИ – 2021

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.4.PhD/T925 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация иши Физика-техника институти ва Қайта тикланадиган энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.qmii.uz) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Авезова Нилуфар Раббанакуловна

техника фанлари доктори

Расмий оппонентлар:

Рашидов Юсуф Каримович

техника фанлари доктори, профессор

Уришев Бобораим

техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Фарғона политехника институти

Диссертация ҳимояси Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти ҳузуридаги PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил “4” декабрь соат 11-00 даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 180100, Қарши шаҳри, Мустақиллик кўчаси, 225-уй. Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти конференциялар зали. Тел.:(99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: qmii@qmii.uz).

Диссертация билан Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№ 14 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 180100, Қарши шаҳри, Мустақиллик кўчаси, 225-уй. Тел.:(99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: qmii@qmii.uz).

Диссертация автореферати 2021 йил «22» ноябрь куни тарқатилди.
(2021 йил «20» ноябрдаги № 5- рақамли реестр баённомаси).

Ғ.Н. Узоқов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
раиси, т.ф.д., проф.

Х.А. Давлонов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
илмий котиби, PhD.

Б.У. Уришев

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
кошидаги Илмий семинар раиси,
т.ф.д., проф.

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD)диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Жаҳонда қайта тикланадиган энергия манбаларига, хусусан, қуёш энергетикасига инвестициялар ҳажми ортиб бормоқда ва улардан фойдаланиш кўлами бўйича етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда. Дунё миқёсида анъанавий ёқилғи ресурсларининг тугаб бораётганлиги қуёш энергияси қурилмаларини амалиётга жорий этишни тақозо этади¹. Жумладан, иссиқ сув таъминоти тизимларида қуёш энергияси асосидаги қурилмалардан фойдаланиш ҳисобига мазкур тизимда сарфланаётган бирламчи энергия ресурсларини 60% гача тежаш имкони мавжуд бўлиб, тизимда юқори самарадорликка эга қуёш қурилмаларидан фойдаланиш ҳисобига эса бу кўрсаткич янада ошириш мумкин. Шу жиҳатдан юқори самарадор қуёш энергетик қурилмалари асосидаги тизимлардан фойдаланиш, энергетик ва экологик нуқтаи назардан дунёда сиёсий аҳамиятга эга бўлиб, улардан иқлимий ўзгаришларни бартараф этиш масалаларини ечиш учун фойдаланиш салмоғи долзарб ва зарурий аҳамиятга эга ҳисобланади.

Жаҳонда қайта тикланувчи энергия манбалари асосида иссиқ сув таъминоти тизимларида ясси қуёш сув иситгич коллекторларидан фойдаланиш ва самарадорлигини оширишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, 2021-йилда иссиқ сув таъминоти тизимларида фойдаланилаётган ясси қуёш сув иситгич коллекторларининг умумий ўрнатилган иссиқлик қуввати 501 ГВт (яъни, 715 млн. м²) ва 2011-2021-йиллар даврида улардан фойдаланишнинг йиллик ўсиш суръати 12,85% ни ташкил этган бўлиб², ушбу соҳада долзарб вазифалардан бири қаралаётган коллекторларнинг ўрнатилган бирлик юзасидан максимал иссиқлик энергиясини олиш, уларда кечаётган иссиқлик жараёнларини кўп параметрли моделлаштириш, иш режимлари хусусиятларини оптималлаш, иссиқлик ва гидравлик синовлар ўтказиш тартибини такомиллаштириш ҳамда иссиқ сув таъминоти тизимларида улардан фойдаланиш самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикада қуёш энергиясини турар-жой бинолари, коммунал-маиший ва ижтимоий объектлар иссиқ сув таъминоти тизимларида иссиқлик манбаи сифатида фойдаланиш муаммоларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу йўналишда ясси қуёш сув иситгич коллекторлари ва улар асосида икки контурли қуёший ва қуёший-ёқилғили тизимларнинг янги, юқори самарадорликка эга тизимларини ишлаб чиқиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. 2017-2021-йилларга мўлжалланган Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида "... иқтисодиётнинг ресурс ва энергия ҳажмдорлигини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежамкор технологияларни кенг жорий қилиш, қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш ..." ³ бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, жумладан, иссиқ сув таъминоти тизимларида юқори самарадорликка эга қуёш сув

¹Фортвов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире. - Долгопрудный: Интеллект, 2011. - 168 с.

² «Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends in 2020. Detailed Market Figures 2019». IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2021.

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

иситгич коллекторларидан фойдаланишни кенгайтириш, ички бозорда миллий сертификатга эга бўлган шу турдаги сифатли коллекторлар билан бойитиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019-йил 4-ноябрдаги ПҚ-4477-сон «Ўзбекистон Республикасининг 2019-2030 йиллар давридаги "яшил" иқтисодиётга ўтиш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида»ги қарори, 2019-йил 22-августдаги ПҚ-4422-сон «Иқтисодиёт ва ижтимоий тармоқларнинг энергия самарадорлигини ошириш бўйича жадал чора-тадбирлар тўғрисида, энергия тежайдиган технологияларни жорий етиш ва қайта тикланадиган энергия манбаларини ривожлантириш» қарорларида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация иши бўйича тадқиқотлар фан ва технологиялар ривожланишининг IV-«Қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш усуллари ривожлантириш, нанотехнологиялар, фотоника ва бошқа замонавий илғор технологиялар асосида қурилмалар ва технологияларни яратиш» устувор йўналишига мос келади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси⁴. Ясси қуёш сув иситгич коллекторларида қуёш энергиясини иссиқлик энергиясига айлантириш назарияси ва амалиётини ривожлантириш бўйича тадқиқотлар дунёдаги бир қатор илмий марказларда, жумладан, Висконсин университети, Миллий қайта тикланувчи энергия лабораторияси (АҚШ), Энергетика тадқиқотлари институти (Хитой), Қуёш энергияси миллий институти (Ҳиндистон), Юқори ҳароратлар қўшма институти (Россия) ва Физика-техника институти ҳамда Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий тадқиқот институтиларида (Ўзбекистон) амалга оширилмоқда.

Дунёда ясси қуёш сув иситгич коллекторлари панелларидаги иссиқлик ва гидравлик жараёнларни илмий тадқиқ қилиш ва уларни иссиқлик-техникавий кўрсаткичларини такомиллаштириш бўйича илмий тадқиқотлар J.A. Duffie, W.A. Beckman, S.A. Klein, M.A. Михеев, Б.С. Петухов, О.С. Попел, В.А. Бутузов, Д.С. Стребков, С.Е. Фрид, Р.Б. Байрамов ва А.Д. Ушакова каби чет эл олимларининг раҳбарлигида бажарилган.

Миллий илмий мактаб вакиллари Р.Р. Аvezов, Ю.К. Рашидов, Ш.И. Клычев, Д.Н. Мухитдинов, Е.А. Аббасов, Н.Р. Аvezова, Р.П. Бабаходжаев ва бошқалар томонидан ушбу йўналишда мазкур коллекторлар иссиқлик самарадорлик коэффициентиға нур ютувчи панеллар конструктив, иссиқлик ва гидравлик параметрларининг таъсир даражаси аниқланган.

Бироқ, бу тадқиқотларда, мазкур типдаги коллекторлар нур ютувчи панелларининг иссиқлик самарадорлик коэффициентиға таъсир қилувчи бошқа тенг шароитларда, нур ютувчи панелнинг иссиқлик ютувчи канал девори ички

⁴ Обзор международных научных исследований по теме диссертации выполнен на основе следующих источников: <http://www.iea-shc.org>; <http://www.ren21.net>; Да Пола А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. М.: «Интеллект» МЭИ, 2010 – 704 с., Kalogirou, S.A., SolarEnergyEngineering, Amsterdam: Elsevier, 2009. – 850 p. и др.

юзаси ва унда айланувчи иссиқлик ташувчи ўртасидаги конвектив иссиқлик алмашилиш коэффициентигасезиларли даражада боғлиқлиги кам ўрганилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим ёки илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Физика-техника институтида ФА-Атех-2018 (420+85) «Ясси қуёш сув иситгич коллекторларини синаш учун автоматлаштирилган синов стендларини ишлаб чиқиш ва яратиш» (2018-2020) амалий лойиҳаси ҳамда «Қуёш энергияси халқаро институти» МЧЖда БВ-М-ФЗ-003 «Иссиқлик таъминоти тизимларида қуёш энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини оширишнинг илмий ва муҳандислик асослари» (2017-2020) фундаментал лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади: иссиқ сув таъминоти тизимларида ясси қуёш сув иситгич коллекторларининг нур ютувчи панеллари ички каналларидаги иссиқлик ва гидравлик жараёнларни тадқиқ этишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ясси қуёш сув иситгич коллекторлари нур ютувчи панеллари ички каналларида конвектив иссиқлик алмашилиш коэффициентини ҳисоблаш ва уни экспериментал тадқиқ этиш;

мазкур типдаги коллекторларнинг шаффоф қопламалари орқали атроф-муҳитга нур ютувчи панеллардан иссиқлик йўқотиш коэффициентини кўп параметрларга боғлиқ равишда математик моделларини ишлаб чиқиш;

ясси қуёш сув иситгич коллекторларининг нур ютувчи панел элементидан унинг ички каналларида айланаётган иссиқлик ташувчига иссиқлик бериш коэффициентининг шаклланиш қонуниятларини ўрганиш ва қийматини аниқлаш;

мазкур типдаги коллекторларнинг нур ютувчи панеллари ички каналларида конвектив иссиқлик алмашилиш жараёнларини улар гидравлик қаршилигини сезиларли оширмаган ҳолда фаоллаштириш усулларини топиш ва тадқиқ қилиш;

Тадқиқотнинг объекти сифатида ясси қуёш сув иситгич коллекторларининг япроқ қувурли ва параллелепипедсимон шаклларига эга нур ютувчи иссиқлик алмашилиш панеллари олинган.

Тадқиқотнинг предмети ясси қуёш сув иситгич коллекторларининг нур ютувчи панелларида қуёш энергиясини иссиқлик энергиясига айланиш жараёнлари ва атроф-муҳитга иссиқлик йўқотишлар умумий коэффициенти ҳамда уларда содир бўладиган иссиқлик ва гидравлик жараёнлар қонуниятларини ўрганишдан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Қўйилган вазифаларни бажариш учун тадқиқ этилаётган коллекторлар ва уларнинг элементларида қуёш энергиясини қабул қилиш, ютиш ва иссиқлик энергиясига айланиш жараёнларининг физик модели қўлланилиб, уларнинг қийматларини аниқлашда иссиқлик техникаси назарий асослари ва итерацион ҳисоблаш усулларида ҳамда иссиқлик узатиш каналларидаги асосий иссиқлик параметрларини аниқлаш учун иссиқлик жараёнларини моделлаштириш ва гидравлик параметрларни аниқлаш учун табиий шароитда ўтказилган тажрибалар натижаларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ясси қуёш сув иситгич коллекторлари нур ютувчи панеллари ички каналларида ички девори юзасидаги ўртача ҳароратга кўра конвектив иссиқлик алмашилиш коэффициентини аниқлаш имконини берувчи ҳисобий ифодалар таклиф этилган ва асосланган ҳамда мазкур коллекторларнинг солиштирма иссиқлик ишлаб чиқариш миқдорини уларнинг нур ютувчи панеллари иссиқлик узатиш канали материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентига боғлиқ равишда 10,6 % га пасайиши аниқланган;

ясси қуёш сув иситгич коллектори нур ютувчи панелининг шаффоф қопламаси орқали иссиқлик йўқотиш коэффициентини аниқлаш имконини берувчи кўп параметрли математик модел ишлаб чиқилган ва уларнинг қорайтирилганлик даражаси 0,1 дан 0,25 гача ва 0,80 дан 0,90 гача оралиқларда иссиқлик йўқотиш қийматларини аниқлаш учун нисбий хатолиги $\pm 6\%$ ни ташкил қилувчи тегишли аппроксимацияловчи боғлиқликлар олинган;

ясси қуёш сув иситгич коллекторларининг иссиқлик ҳисоби амалиёти ва синовида илк бор янги параметр – коллекторларнинг корпуси фронтал юза бирлигига келтирилган нур ютувчи панелдан ички каналлардаги иссиқлик ташувчига иссиқлик бериш коэффициенти таклиф этилган ва мазкур коллекторлар нур ютувчи панелининг иссиқлик узатиш каналларидаги иссиқлик ташувчининг ламинар қовушқоқ режимига боғлиқ ҳолдаги қийматлари аниқланган;

ясси қуёш сув иситгич коллекторлари нур ютувчи панелининг иссиқлик узатиш каналларида ламинар оқим шароитида бурама тасмалардан фойдаланиб гидравлик қаршилиқ коэффициенти қиймати аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

ясси қуёш сув иситгич коллекторларида кечаётган иссиқлик ва гидравлик (ламинар-қовушқоқ) жараёнларни тезкор аниқлаш имконини берувчи автоматлаштирилган иссиқлик-гидравлик синов стенди ишлаб чиқилган (O'zDSt ISO 9806: 2020 (ISO 9806:2017, MOD));

ясси қуёш сув иситгич коллекторлари нур ютувчи панелларининг иссиқлик узатиш каналларида иссиқлик бериш коэффициентини 2,5-3 мартача ошириш имконини берувчи бурама тасмалардан фойдаланиш асослаб берилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги атроф-муҳитнинг узоқ муддатли ўртача метеорологик параметрларидан фойдаланиш, қуёш иссиқлик қурилмалари, ҳисоблаш ва ўлчаш ускуналарининг иссиқлик параметрларини оптималлашнинг замонавий усулларида фойдаланиш, дастлабки маълумотларни бир хил қийматлар билан ҳисоблаш ва тажриба натижаларининг яқин тасодифийлиги, тадқиқот натижаларини маълум ечимлар билан таққослаш ва таклиф этилган боғлиқликлар асосида олиш, шунингдек, амалга оширилган тажрибаларнинг зарурий статистикаси билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ясси қуёш сув иситгич коллектори нур ютувчи панели ички каналларидаги иссиқлик ва гидравлик жараёнларни инобатга олган ҳолда уларнинг иссиқлик ҳисоблаш назарияси ривожлантирилганлиги, ишончли,

юқори самарадорликка эга мазкур коллекторларни ишлаб чиқиш учун уларнинг ички иссиқлик узатиш каналларида кечаётган иссиқлик алмашилиш жараёнларини жадаллаштиришнинг илмий асосланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларнинг амалий аҳамияти ясси қуёш сув иситгич коллектори нур ютувчи панелининг иссиқлик узатиш каналларида иссиқлик ташувчининг ламинар қовушқоқ режимда иссиқлик алмашилишини жадаллаштириш учун янги муҳандислик ёндашуви - иссиқлик узатиш каналларидаги гидравлик қаршилиқни сезиларли оширмасдан ҳисобига конвектив иссиқлик бериш коэффициентини икки-уч баробар ошириш имконини берувчи бурама тасмалардан фойдаланиш таклиф этилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ясси қуёш сув иситиш коллекторлари панелларидаги иссиқлик ва гидравлик жараёнларни тадқиқ этиш бўйича олинган натижалар асосида:

«Ноанъанавий энергетика. Қуёш энергетикаси. Қуёш коллекторлари. Синов усуллари» О'zDSt ISO 9806: 2020 (ISO 9806:2017, MOD) ишлаб чиқилган ва жорий этилган (ЎзР Энергетика вазирлигининг 2021-йил 22-сентябрьдаги №03-13-5008-маълумотномаси ва Стандартлар институтининг 2021-йил 22-сентябрьдаги № 06/2333-маълумотномаси). Натижада, мазкур типдаги коллекторларни тез ва юқори аниқликда синаш имконини берувчи, шунингдек, уларни сертификатлаш учун лаборатория шаклланишига асос яратилган;

«Қуёший-ёқилғили иссиқ сув таъминот тиими» (FAP 01052) ишлаб чиқилди ва жорий қилинди (Узэлтехсаноат АЖнинг 2021-йил 16 декабрьдаги № 04-1/2356-сонли маълумотномаси). Натижада турар-жой, маиший-хўжалик ва маъмурий иншоотларда сарфланадиган бирламчи ёқилғи-энергетика манбаларининг 60 фоиздан ортиқроғини тежаш имкони яратилган;

«Қуёший-ёқилғили иссиқ сув таъминоти тизими» (FAP 01052), «Ясси қуёший коллекторлар нур ютувчи панеллари шаффоф қопламаси орқали атроф-муҳитга иссиқлик йўқотиш коэффициенти уларнинг қорайтирилганлик даражасига боғлиқлигини ҳисоблаш учун дастур» (DGU 05627), «Қуёш энергетикаси: Атамалар ва таърифлар» О'zDSt 3210:2017 ишлаб чиқилган (ЎзР Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2020-йил 9-декабрьдаги № 89-03-5137-сонли маълумотномаси). Натижада Тошкент давлат техника университетида «Ноанъанавий энергия манбалари» (бакалавриат ва магистратура) йўналишидаги мутахассислик фанларидан маъруза, амалий ва лаборатория машғулотлари сифат даражасини оширишга эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқотнинг асосий натижалари 8 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 28 та илмий иш чоп этилган, шулардан 1 та монография, 2 та меъёрий ҳужжат (Ўзбекистон Республикаси Давлат стандартлари), Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 10 та мақола,

жумладан, 2 та республика ва 8 та хорижий (Scopus маълумотлар базасига кирувчи) илмий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 117 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, қисқача таҳлил ва муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги баён қилинган, тадқиқот натижаларининг ишончлилиги асосланган, уларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиниши ва апробацияси ҳақидаги, нашр этилган ишлар ва диссертация ҳажми ва тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Ясси қуёш сув иситгич коллекторлари нур ютувчи иссиқлик алмашилиш панеллари**» номли биринчи бобида ясси қуёш сув иситгич коллекторлари (ЯҚСК) нур ютувчи иссиқлик алмашилиш панеллари (НИАП)нинг мавжуд конструктив ечимларининг танқидий таҳлили ўтказилган, уларнинг асосий иссиқлик техникавий параметрлари, қуёш нури (ҚН) иссиқлигини ЯҚСК шаффоф қопламаси (ШҚ) орқали ўтиб, қисман ютилиш ва иссиқликка айланиши уларнинг иссиқлик йўқотиш ва иссиқлик самарадорлиги коэффициентига таъсири ўрганилган, ва шу асосда тадқиқот вазифалари шакллантирилган.

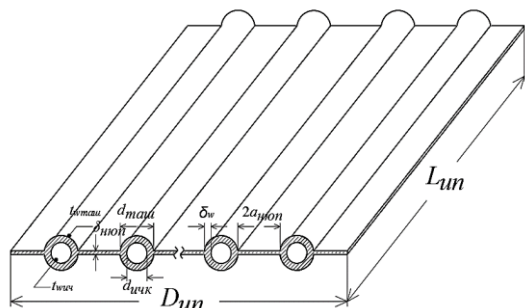
«**Ясси қуёш сув иситиш коллекторлари иссиқлик ютувчи иссиқлик алмашилиш панеллари иссиқлик-техник хусусиятлари**» номли диссертациянинг иккинчи бобида ЯҚСК иссиқлик узатиш каналларида (ИУК) конвектив ички иссиқлик алмашилиш коэффициентининг шаклланишини ўрганиш бўйича, иссиқлик ташувчининг ўртача ишчи ҳарорати ва ЯҚСК япроқ қувурли НИАПнинг ИУК ички девор юзасининг ҳарорати бўйича ва шу асосда ЯҚСКнинг солиштирма иссиқлик ишлаб чиқариши миқдорини аниқлашнинг янги усули таклиф этилганлиги бўйича тадқиқот натижалари келтирилган.

ЯҚСК НИАПни ҳисоблаш назариясининг асосий вазифаларидан бири уларнинг ИУК деворлари ички юзасининг конвектив иссиқлик бериш ($\bar{\alpha}_{к_{иц}}$) қийматини аниқлашдир⁵. Маълум мезон тенгламалари ёрдамида иссиқлик алмаштиргичларнинг канал деворларининг ички юзаларини аниқлаш учун, бошқа тенг шароитларда, уларнинг деворлари ички юзаларининг ўртача ҳароратлари талаб қилинади ($\bar{t}_{w_{иц}}$)⁶. Анъанавий иссиқлик алмашинув қурилмаларидан фарқли

⁵ Avezov, R.R., Avezova, N.R., Rakhimov, E.Yu., and Vokhidov, A.U., Determination of the convective heat-exchange coefficient in inner channels of light-absorbing heat-exchange panels of flat-plate solar water-heating collectors based on the results of their short-term thermal testing in full-scale conditions, Appl. Sol. Energy, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 10–16.

⁶ Avezov, R.R., Rakhimov, E.Yu., and Mirzabaev, A.M., Calculation of the temperature of the internal surface of the heat-removing channel wall of the ray-absorbing heat-exchange panels of flat-plate solar water-heating collectors, Appl. Sol. Energy, 2017, vol. 53, no. 4, pp. 312–315.

ўларок, ЯҚСКдаги $\bar{t}_{w_{уч}}$ қиймати кўплаб омилар, яъни тўсик элементларнинг иссиқлик техникавий кўрсаткичлари, унинг ШҚ юзаси ва НИАПнинг оптик хусусиятлари, ҚНнинг келиши, атроф мухит ҳарорати ва ҳоказо таъсирида шаклланади. Шунинг учун, ЯҚСК НИАПнинг белгиланган оптик



1-расм. НЮП ва ИУК орасидаги идеал иссиқлик алоқаси мавжуд япроқ қувурли НИАП ЯҚСКнинг ҳисобий принциал схемаси: $D_{ун}$ и $L_{ун}$ - НИАПнинг кенглиги ва узунлиги; $a_{нюп}$ и $\delta_{нюп}$ - мос равишда, НЮП (ён томонлари)нинг кенглиги ва қалинлиги; $d_{таш}$, $d_{чик}$ ва δ_w - мос равишда, ташқи, ички диаметри ва ИУК деворининг қалинлиги.

хусусиятлари қийматлари ва иссиқлик техникавий кўрсаткичлари орқали уларда кечаётган иссиқлик жараёнларини моделлаштириш йўли билан $\bar{t}_{w_{уч}}$ қийматини аниқлаш оқилона ҳисобланади.

Қуйилган вазифадаги олинган ечимнинг умумийлигини таъминлаш мақсадида нур ютувчи панел (НЮП) ва ИУКдаги иссиқлик алоқаси идеал бўлган япроқ қувурли НИАП ЯҚСК кўриб чиқилган (1-расмга қаранг). Тадқиқот натижаларидан кўриниб турибдики, ЯҚСКнинг япроқ қувур шаклидаги НИАПни ҳисобий қиймати ясси оқимли НИАПнинг кўпчилик конструкциялари учун амал қилади.

ЯҚСКнинг япроқ қувурли НИАП иссиқлик баланс тенгламаларини

$$q_{фой} = \frac{(2a_{нюп}\eta_{нюп} + d_{таш})}{2a_{нюп} + d_{таш}} \left[q_{ютувр}^{\Sigma} - K_{келр-ат} (\bar{t}_{w_{таш}} - t_{ат}) \right], \quad (1)$$

ва

$$q_{фой} = \frac{\lambda_{\delta}}{\delta_{\delta}} \frac{P_{w_{ўр}}}{2a_{нюп} + d_{таш}} (\bar{t}_{w_{таш}} - t_{w_{уч}}). \quad (2)$$

биргаликда ечиш асосида $\bar{t}_{w_{уч}}$ қийматини қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$\bar{t}_{w_{уч}} = t_{ат} + \frac{q_{ютул}^{\Sigma}}{K_{келр-ат}} - (\dot{m}c_p)_f (t_{фчик} - t_{фкуп})^* \quad (3)$$

$$* (2a_{нюп} + d_{таш}) \left[\frac{1}{K_{келр-ат} (2a_{нюп}\eta_{нюп} + d_{таш})} + \frac{\ln \frac{d_{таш}}{d_{чик}}}{2\pi\lambda_w} \right],$$

ва олинган (3) ифода асосида горизонтга нисбатан қия бўлган ЯҚСКнинг япроқ қувурли НИАП деворларининг ички юзаларида конвектив иссиқлик алмашилиш коэффициентининг қийматини аниқлашнинг контактсиз усули таклиф этилган:

$$\bar{\alpha}_{к_{уч}} = \frac{(\dot{m}c_p)_f (t_{фчик} - t_{фкуп}) (2a_{нюп} + d_{таш}) L_{ун}}{K_{тўл} \pi d_{уч} \ell_{уук} (\bar{t}_{w_{уч}} - \bar{t}_{f_{\ell}})}. \quad (4)$$

Бу ерда:

$$\dot{m}_f = \frac{G_f}{F_{олд}} \quad (5)$$

- НИАП орқали солиштирма (ЯҚСК фронтал юзасининг бирлик майдонига келтирилган) сув сарфи; $c_{p_f} = 4186,8 \text{ Дж}/(\text{кг}^\circ\text{C})$ - сувнинг солиштирма иссиқлик сифими;

$$K_{мўл} = \frac{F_{ун}}{F_{фр}} \quad (6)$$

- қаралаётган коллекторнинг тўлдириш коэффициенти; $t_{f_{кир}}$ ва $t_{f_{чик}}$ - мос равишда, коллекторга кирувчи (совук) сувнинг ва чиқувчи иссиқ сувнинг ҳароратлари; \bar{t}_{f_ℓ} - ўрта ИУК узунлиги бўйлаб қиздириладиган сувнинг ўртача массавий ҳарорати; $\ell_{уук}$ - ИУК узунлиги; $2a_{нюп}$ - НЮП нинг қувурлар аро масофаси.

(3) ифодадаги $\bar{t}_{w_{ич}}$ қийматини $\bar{\alpha}_{к_{ич}}$ ни аниқлаш бўйича (4) ифодани инобатга олган ҳолда қўйидаги ифодани оламиз:

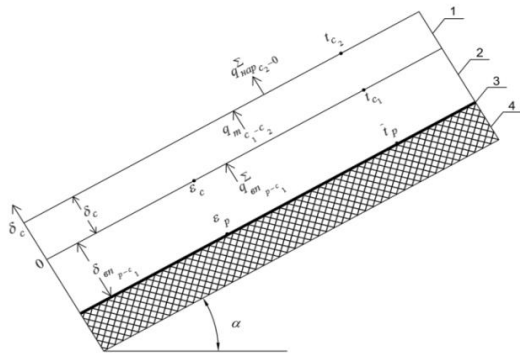
$$\bar{\alpha}_{к_{ич}} = \frac{(\dot{m}c_p)_f}{K_{мўл}\pi d_{ич}\ell_{уук}} \frac{(2a_{нюп} + d_{таш})L_{ун}}{\left(\ln \frac{\frac{q_{ютилр}^\Sigma}{K_{кел\ p-am}} + t_{ам} - t_{f_{чик}}}{\frac{q_{ютилр}^\Sigma}{K_{кел\ p-am}} + t_{ам} - t_{f_{кир}}} \right)^{-1} - \frac{(\dot{m}c_p)_f}{K_{кел\ p-am}} \frac{2a_{нюп} + d_{таш}}{2a_{нюп}\eta_{нюп} + d_{таш}}}. \quad (7)$$

Тадқиқ этилаётган ЯҚСК НИАП ИУКнинг деворлари ички юзасининг ўртача ҳарорати $\bar{t}_{w_{ич}} = 48,1^\circ\text{C}$ ни ташкил этишини ҳисобга олган ҳолда қаралаётган коллекторларнинг НИАП ички ИУКдаги конвектив иссиқлик алмашиниш коэффициенти $\bar{\alpha}_{к_{ич}}$ қиймати $385,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ ва НИАП иссиқлик самарадорлиги коэффициенти ($\eta_{ун}$) нинг қиймати эса $0,87$ ни ташкил этиши аниқланган. Олинган ҳисоблаш натижалари Петухов ва Авезова томонидан таклиф этилган иссиқлик самарадорлик коэффициентини аниқлаш борасида қийматлар фарқи ($0,6\%$) яқинлиги $\bar{\alpha}_{к_{ич}}$ қийматини аниқлаш бўйича таклиф этилган янги муҳандислик ёндашув усулининг ишончлилигини тасдиқлайди.

Диссертациянинг учинчи «**Ясси қуёш сув иситгич коллекторлари нур ютувчи иссиқлик алмашиниш панелларидаги иссиқлик йўқотиш жараёнларини моделлаштириш**» бобида ташқи ҳавонинг нисбий намлигини ва ЯҚСКнинг горизонтга нисбатан қиялик бурчагини унинг корпуси ШҚ орқали атроф-муҳитга иссиқлик йўқотиш ($K_{шк\ p-am}$) жараёнларини моделлаштириш бўйича изланиш натижалари келтирилган, шунингдек, $K_{шк\ p-am}$ қийматини аниқлаш учун аппроксимацияловчи боғлиқликлар тақдим этилган.

ЯҚСКда $K_{шк\ p-am}$ қиймати одатда НИАП фронтал юзасидан ШҚ ички юзасига келтирилайтган йиғинди (конвектив-кондуктив ва нурланиш) иссиқлик

оқими ($q_{xk p-w_1}^\Sigma$) ва қаралаётган ШҚ ташқи юзасидан атроф-муҳитга чиқарилаётган йиғинди (конвектив ва нурланиш) иссиқлик оқими ($q_{ташқуу_2-am}^\Sigma$) нинг таъсирида шаклланади (2-расмга қаранг), ва қуйидаги ифодалар орқали аниқланади:



2-расм. ЯҚСКнинг бир қатламли ШҚ орқали иссиқлик оқимлари принципиал схемаси: 1-ШҚ; 2-ёпиқ ҳаво қатлами; 3-НИАП; 4-корпуснинг иссиқлик изоляцияси.

$$q_{xk p-w_1}^\Sigma = (\alpha_{xk p-w_1}^k + \alpha_{xk p-w_1}^h)(\bar{t}_p - t_{w_1}) \quad (8)$$

ва

$$q_{ташқуу_2-o}^\Sigma = (\alpha_{ташқуу_2-o}^k + \alpha_{ташқуу_2-o}^h)(t_{w_2} - t_{am}) \quad (9)$$

(8) ва (9) ифодаларда $\alpha_{xk p-w_1}^k$ ва

$\alpha_{xk p-w_1}^h$ - мос равишда, ШҚнинг ички сирти ($ш_1$) ва НИАПнинг қорайтирилган юзаси (p) орасидаги ёпиқ ҳаво қатламининг конвектив (k) ва нурланиш (h) иссиқлик алмашилиш коэффициентлари; $\alpha_{ташқуу_2-am}^k$ ва $\alpha_{ташқуу_2-am}^h$ -

мос равишда, ШҚнинг ташқи юзаси ($ш_2$) орқали атроф-муҳитга ($ат$) конвектив (k) ва нурланиш (h) иссиқлик бериш коэффициентлари; t_{w_1} и t_{w_2} - мос равишда, ШҚнинг ички (НИАПга қаратилган) ва ташқи (атроф-муҳитга қаратилган) юзаларидаги ҳароратлар.

ШҚнинг ички юзасидан (w_1) унинг ташқи юзасига (w_2) иссиқлик ўтказувчанлик орқали узатиладиган иссиқлик оқимининг қиймати

$$q_{w_1-w_2} = \frac{\lambda_{ш}}{\delta_{ш}}(t_{w_1} - t_{w_2}), \quad (10)$$

ифодадан аниқланади. (10) ифода ШҚда ички иссиқлик манбаи (ИИМ) бўлмаган ҳолда, иккинчи тартибли стационар иссиқлик ўтказувчанлигининг, қуйида келтирилган биринчи турдаги чегаравий шартлардаги бир ўлчовли дифференциал тенгламасини

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 t_x}{dx^2} = 0 \\ x=0 \text{ бўлганда } t_x = t_{w_1} \\ x = \delta_{ш} \text{ бўлганда } t_x = t_{w_2} \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

ечиш асосида олинган.

Энергиянинг сақланиш қонунига кўра, уч иссиқлик оқимининг қийматлари ўзаро тенг, яъни

$$q_{xk p-w_1}^\Sigma = q_{w_1-w_2} = q_{ташқуу_2-am}^\Sigma. \quad (12)$$

(8), (9) ва (10) ифодаларнинг $q_{xk p-w_1}^\Sigma$, $q_{w_1-w_2}$ ва $q_{ташқуу_2-am}^\Sigma$ қийматларини мос равишда (12) тенгликка келтириб қўйиш орқали қуйидаги ифодани олиш мумкин:

$$q_{w_1-w_2} = K_{w_1-w_2}(\bar{t}_p - t_{am}), \quad (13)$$

бу ерда

$$K_{u_{p-am}} = \left(\frac{1}{\alpha_{xk_{p-ш1}}^k + \alpha_{xk_{p-ш1}}^h} + \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} + \frac{1}{\alpha_{таш_{ш2-am}}^k + \alpha_{таш_{ш2-am}}^h} \right)^{-1} \quad (14)$$

- ЯҚСК корпусининг бир қатламли ШҚ орқали атроф-муҳитга НИАПнинг қорайтирилган сиртидан иссиқлик йўқотиш коэффициентидир.

Шундай қилиб, $K_{u_{p-am}}$ қийматини \bar{t}_p , ε_p , t_{am} , φ_o , ϑ ва $\delta_{xk_{p-ш1}}$ қийматларига боғлиқ равишда ҳисоблаш учун таклиф этилган иссиқлик моделининг асоси (8), (9), (10) ва (11) тенгламалар системаси ташкил этади, сўнгги қийматни аниқлаш бўйича ҳисоблашлар итерацион усул асосида бажарилади ҳамда уларни аналитик шаклда амалга ошириш натижаси (14) ифодада келтирилган ечимдир. $K_{u_{p-am}}$ ни аниқлаш бўйича итерацион ҳисоблашлар жараёни кўп параметрли масала бўлганлиги боис, ЯҚСК НИАПнинг ШҚ орқали атроф-муҳитга иссиқлик йўқотиш коэффициентини уларнинг қорайтирилганлик даражасига боғлиқлигини ҳамда ЯҚСКларнинг оптимал параметрларива ташқи омилларга, яъни ўртача ишчи ҳарорат, атроф-муҳит ҳарорати ва намлиги, ҳамда шамол тезлиги таъсирини инобатга олган ҳолда аниқлашнинг автоматлаштирилган ҳисоблаш ишларини амалга ошириш мақсадида, алгоритм ишлаб чиқилган ва таклиф қилинган (DGU №05627). \bar{t}_p , ε_p , t_{am} , φ_o , ϑ ва $\delta_{xk_{p-ш1}}$ параметрлари қийматларининг $K_{u_{p-am}}$ қийматига боғлиқлигини аниқлаш бўйича сонли таржибалар натижаларини умумлаштириш асосида аппроксимацияловчи аналитик боғлиқликлар олинган, жумаладан:

- $0,1 \leq \varepsilon_p \leq 0,25$ оралиғида

$$K_{u_{p-am}} = 1,9414 + 0,0047 \bar{t}_p - 0,013 t_{am} - 1,2521 \varphi_o + 4,5188 \varepsilon_p + 0,055 \vartheta + (196,7005 - 5479,4246 \delta_{xk_{p-ш1}}) \delta_{xk_{p-ш1}}, \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C} \quad (15)$$

- $0,80 \leq \varepsilon_p \leq 0,95$ оралиғида

$$K_{u_{p-am}} = 3,4315 - 0,0128 \bar{t}_p + 0,0208 t_{am} - 1,7715 \varphi_o + 2,6752 \varepsilon_p + 0,1671 \vartheta + (88,89 - 2208,9397 \delta_{xk_{p-ш1}}) \delta_{xk_{p-ш1}}, \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C} \quad (16)$$

1-жадвалда $K_{u_{p-am}}$ қийматини аниқлаш бўйича олинган натижалар таҳлили келтирилган.

1-жадвал

$K_{u_{p-am}}$ нинг шамол тезлиги (v), ташқи ҳавонинг намлиги (φ_o) ва НИАПнинг қорайтирилганлик даражасига (ε_p) боғлиқлиги
($\varepsilon_{ш}=0,88$, $\bar{t}_p=60^\circ\text{C}$, $t_{ат}=30^\circ\text{C}$, $\varphi_o=0,3$, $\delta_{xk_{p-ш1}}=0,015$ м ва $v=3$ м/с бўлганда)

Коэффициентлар	ε_p	v (2 дан 6 м/с гача)	φ_o (0,15 дан 0,6 гача)
$K_{u_{p-am}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	3,0028 (ε_p нинг 0,1 дан 0,95 гача ўсиши) 80,46%га ўсади	0,22 ($\varepsilon_p=0,1$ бўлганда) 5,98%га ўсади	0,56 ($\varepsilon_p=0,1$ бўлганда) 22,38%га камаяди
		0,66 ($\varepsilon_p=0,95$ бўлганда) 10,18%га ўсади	0,79 ($\varepsilon_p=0,95$ бўлганда) 12,85%га камаяди

Шу ўринда, ЯҚСК НИАПнинг самарадорлик коэффиценти ($\eta_{ип}$) ва улардаги умумий иссиқлик йўқотиш коэффиценти ($K_{келр-ат}$) билан бир қаторда, ЯҚСКнинг яна бир энг муҳим параметрларидан бири—унинг корпуси фронтал юза бирлигига келтирилган НЮПдан ИУКдаги иссиқлик ташувчига иссиқлик бериш коэффиценти ($K_{келр-f}$) келтирилган ва қуйидагича аниқланади:

$$K_{келр-f} = \frac{q_{фой}}{\bar{t}_p - \bar{t}_{f_l}}, \quad (17)$$

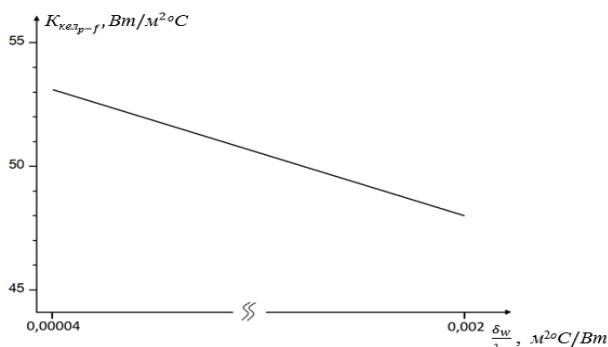
бу ерда $q_{фой}$ —ЯҚСК солиштира (корпуснинг бирлик юзасига келтирилган) оний иссиқлик ишлаб чиқариши; \bar{t}_p - ўртача ишчи ҳарорати.

$K_{келр-f}$ нинг шаклланиш қонуниятини ўрнатиш учун \bar{t}_p ва \bar{t}_{f_l} дан функция шаклида ёзилган ЯҚСКнинг солиштира оний иссиқлик ишлаб чиқаришини аниқлаш ифодаларидан фойдаланилган ҳолда

$$q_{фой} = q_{йўтлр}^{\Sigma} - K_{келр-ат}(\bar{t}_p - t_{ат}), \quad (18)$$

$$q_{фой} = \eta_{ип} \left[q_{йўтлр}^{\Sigma} - K_{келр-ат}(\bar{t}_{f_l} - t_{ат}) \right], \quad (19)$$

мос равишда, ва уларни $(\bar{t}_p - t_{ат})$ ва $(\bar{t}_{f_l} - t_{ат})$ га нисбатан ечиш орқали ЯҚСК корпуси фронтал юзаси бирлик майдонига келтирилган НЮПдан ИУКдаги айланаётган иссиқлик ташувчига иссиқлик узатиш коэффиценти аниқловчи ифодани оламиз:



3-расм. Параллелипипед шаклидаги НЮП учун $K_{келр-f}$ нинг $\frac{\delta_w}{\lambda_w}$ дан боғлиқлиги.

япроқ қувурли НИАП учун

$$K_{келр-f} = \frac{\eta_{ип} K_{келр-ат}}{1 - \eta_{ип}}, \quad (20)$$

параллелепипед шаклидаги НИАП учун

$$K_{келр-f} = \left(\frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_{кич}} \right)^{-1}. \quad (21)$$

3-расмда $K_{келр-f}$ нинг $\frac{\delta_w}{\lambda_w}$ га

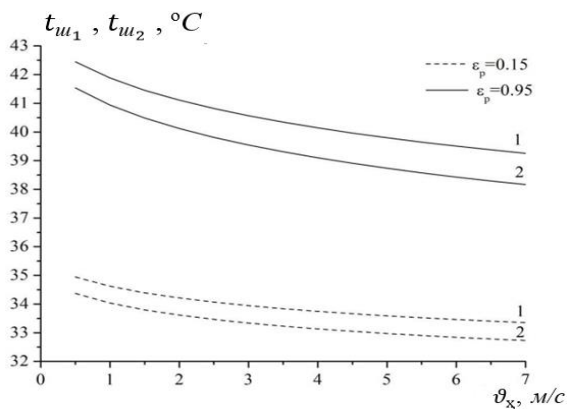
боғлиқлиги юпқа параллелипипед шаклидаги НЮП ЯҚСК

$\alpha_{кич} = 53,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ га тенг қийматида келтирилган. Ушбу боғлиқликдан кўриниб турибдики, иссиқликка чидамли япроқ пластиклар учун $\frac{\delta_w}{\lambda_w}$ қийматининг $4 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ дан $2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ гача ўзгариши $K_{келр-f}$ қийматининг фақатгина 10,6% га пасайишига олиб келиши кузатилмоқда.

$q_{р-ш_1}$ ва $q_{шр-ат}$, ҳамда $q_{ш_2-ат}$ ва $q_{шр-ат}$ солиштира иссиқлик оқимилари қийматларининг тенглиги асосида олинган ЯҚСКнинг ШҚ ички ва ташқи сиртларидаги ҳароратларни аниқлаш учун қуйидаги ифодалар келтирилган:

$$t_{ш_1} = \bar{t}_p - \frac{K_{шр-ат}^{(1)} (\bar{t}_p - t_{ат})}{\alpha_{хкр-ш_1}^к + \alpha_{хкр-ш_1}^н}, \quad (22)$$

$$t_{ш_2} = t_o + \frac{K_{шр-ат} (\bar{t}_p - t_{ат})}{\alpha_{ташш_2-ат}^к + \alpha_{ташш_2-ат}^н}. \quad (23)$$



4-расм. $t_{ш1}$ (1) ва $t_{ш2}$ (2) v_x га $\epsilon_p=0,15$ ва $\epsilon_p=0,95$ тенг бўлгандаги шамол тезлигига боғлиқлиги.

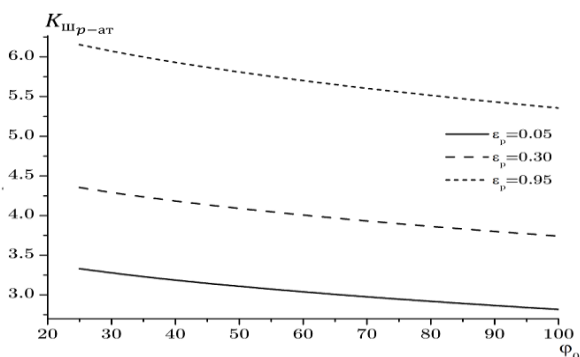
муҳитга НИАПнинг қорайтирилган юзасидан иссиқлик йўқотишларини камайтиришнинг асосий усулларида бири ϵ_p нинг $\epsilon_{ш}$ га нисбатан паст қийматларига эришишдир.

Амалиётда мавжуд бўлган ЯҚСКнинг иссиқлик ҳисоби назариясида ЯҚСК корпусининг ШҚ орқали НИАПнинг иссиқлик йўқотиш коэффициентига нисбий намликнинг таъсири эътибордан четда қолади. Бироқ, қуйида келтирилган

$$\alpha_{Ташш2-ат}^H = 0,5\epsilon_{ш}\sigma\tau_a (T_{ш2}^2 + T_{осм}^2)(T_{ш2} + T_{осм})[1 + \cos\alpha + \rho_3(1 - \cos\alpha)] \frac{t_{ш2} - t_{ат}}{t_{ш2} - t_{осм}}, \quad (24)$$

$$T_{осм} = T_0 [0,711 + 0,0056t + 0,000073t_{тр}^2 + 0,013\cos\omega z]^{0,25}, \quad (25)$$

$$t_{тр} = 235 \frac{\lg \varphi_0 + \frac{7,45t_{ат}}{235 + t_{ат}}}{7,45 - (\lg \varphi_0 + \frac{7,45t_{ат}}{235 + t_{ат}})}. \quad (26)$$

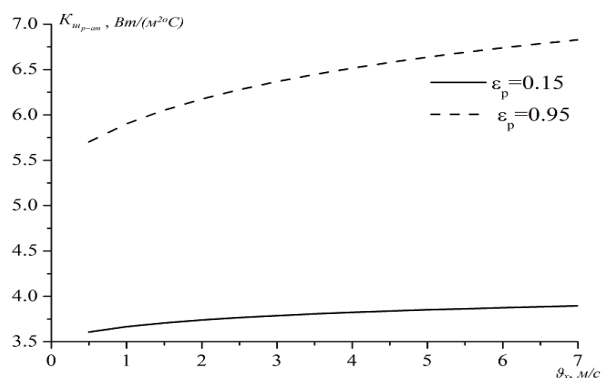


6-расм. $K_{шp-ат}$ ни $\epsilon_p=0,05; 0,30; 0,95$ бўлганда φ_0 га боғлиқлиги.

қийматларидаги $\alpha_{Ташш2-ат}^H$ нинг φ_0 га боғлиқлиги асосида аниқлаш бўйича ҳисоблаш натижалари 6-расмда келтирилган.

4-расмда $t_{ш1}$ ва $t_{ш2}$ нинг шамол тезлиги v га боғлиқлигини аниқлаш бўйича ҳисоблаш натижалари келтирилган бўлиб, $t_{ш1}$ ва $t_{ш2}$ қийматлари НИЯП қорайтирилган сиртининг нурланиш қобилятига боғлиқ эканлиги кўрсатилган.

Ҳисоблашларнинг якуний натижаси $K_{шp-ат}$ ни $\epsilon_{ш}=0,88$ бўлганда v ва ϵ_p га боғлиқлик графиги 5-расмда келтирилган ҳамда ҳисобий натижалар таҳлиliga кўра, ЯҚСК корпусининг ШҚ орқали атроф-

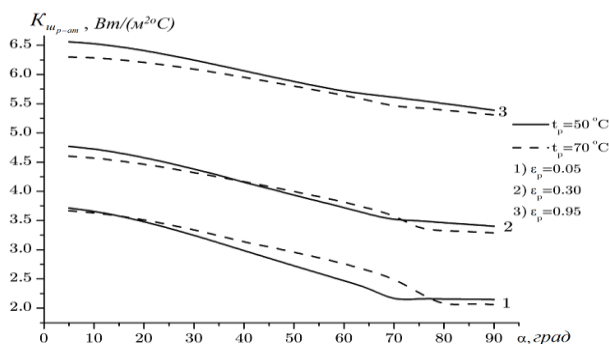


5-расм. $K_{шp-ат}$ ни шамол тезлигига боғлиқлиги.

ифодалардан $\alpha_{Ташш2-ат}^\Sigma$ нинг нури ташкил этувчиси (яъни $\alpha_{Ташш2-ат}^H$) бошқа тенг шароитларда осмоннинг хароратига ($T_{осм}$) боғлиқ, $T_{осм}$ қиймати эса ўз навбатида $T_{ат}$ га ва ҳавонинг нисбий намлиги (φ_0) га боғлиқдир.

$K_{шp-ат} = f(\varphi_0)$ боғлиқлигини ЯҚСК корпусининг бир қатламли ШҚнинг $t_p=60$ °C, $t_{ат}=30$ °C, $v=3$ м/с, $\alpha=30^\circ$ ва $\epsilon_{ш}=0,88$, ҳамда ϵ_p 0,05; 0,30 ва 0,95

$\varepsilon_p=0,05$ да φ_0 нинг 0,25 дан 0,80 гача ўсиши $K_{шp-ат}$ қийматининг 6,12 дан 5,55 $Bm/(m^{2o}C)$ гача (10,3% га), $\varepsilon_p=0,3$ да – 4,37 дан 4,12 $Bm/(m^{2o}C)$ гача (6,1% га) ва $\varepsilon_p=0,95$ да – 3,30 дан 2,90 $Bm/(m^{2o}C)$ гача (13,8% га) пасайишига олиб келади.

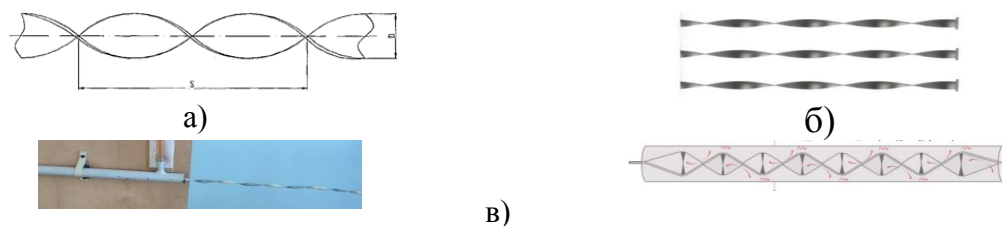


7-расм. $K_{шp-ат}$ ни $t_p=50 \text{ }^\circ\text{C}$ ва $70 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon_p = 0,05; 0,30; 0,95$ қийматларида қиялик бурчаги α боғлиқлиги

(15) ифода асосида олинган аниқ натижалари билан солиштирилгандаги максимал нисбий хатолиги $\pm 6,0\%$ ни ташкил этади.

Диссертациянинг «**Ясси қуёш сув иситгич коллекторлари нур ютувчи иссиқлик алмашиш панелларидаги иссиқлик-гидравлик жараёнларни ҳисобий-экспериментал тадқиқ қилиш**» номли тўртинчи бобида ЯҚСКнинг япроқ қувурли НИАПларида гидравлик қаршилик коэффициентининг шаклланиши бўйича лаборатория шароитида олинган экспериментал тадқиқот натижалари, иссиқлик ташувчининг ламинар режим оқидамида ЯҚСКнинг япроқ қувурли НИАПлари ички ИУКдаги конвектив иссиқлик алмашиши коэффициентини ошириш, шунингдек, иссиқ сув таъминоти тизимларида ЯҚСК НИАПларининг ички каналларидаги иссиқлик-гидравлик жараёнларни тадқиқ қилиш бўйича олинган натижаларнинг амалий татбиғи келтирилган.

Жаҳон амалиётида, бошқа турдаги иссиқлик алмаштиргичлар каби ЯҚСК НИАП ички ИУКларида қовушқоқ режимда конвектив иссиқлик алмашишини кучайтириш йўлларида бири, бу уларнинг гидравлик қаршилигини сезиларли оширмасдан ўзгариши деворнинг ички сиртида ҳосил бўлувчи иссиқлик чегара қатламга таъсири ҳисобланади ва фойдаланиш учун энг мақбул ечим бурама тасмалар саналади (8-расм. а), б), в)га қаранг). Шу билан бирга сув оқимининг бурилиши ИУКнинг бутун узунлиги бўйлаб узлуксиз сақланади, бу эса тезликнинг тангенциал ва ўқ бўйлаб компонентлари нисбатларининг доимийлигини таъминлайди.



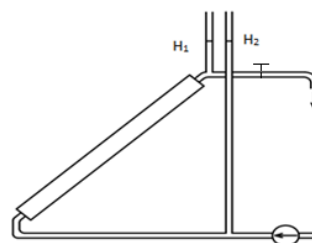
8-расм. Бурама тасмалар : а –олд тарафдан кўриниши; б- тайёрланган $h/d = 6, 8, 10$ ли бурама тасмалар; в- ИУКда жойлашган бурама тасмаларнинг кўриниши.

ЯҚСК НИАПлардаги ишқаланишга нисбатан гидравлик қоэффицентини аниқлаш бўйича экспериментал тадқиқотлар ўтказиш учун 9-расм а) ва б) да келтирилган принципиал схема асосида Лаборатория стенди ишлаб чиқилди, ҳамда тасдиқланган Ўзбекистон Республикаси Давлат Стандарти O'zDSt ISO 9806:2020 (ISO 9806:2017, MOD) асосида экспериментал тадқиқот ўтказиш учун услуб ва тажриба ўтказиш тартиби ишлаб чиқилди.

Ишлаб чиқилган стенд ЯҚСК НЮП горизонтал ИУКларида сув оқимининг ламинар ковушқоқ ва ковушқоқ-гравитацион режимларида ЯҚСК НИАП ички ИУКнинг гидравлик қаршилиқ қийматини аниқлаш имконини беради.



а



б

9-расм. ЯҚСК НИАП ИУКларда босимлар фарқини аниқлаш учун лаборатория стенди (а) ва принципиал схема (б).

Лаборатория стенди ҳажми 10 л бўлган бак, диаметри 20 мм ли ИУК, иссиқлик ташувчи сарфини таъминлаш учун кириш ва чиқиш жойларида вентиль, узунлиги 1 м бўлган майдон билан чегераланган олган ва ИУКнинг икки томонида уланган пьезометрик трубкалар, иссиқлик ташувчини олиш учун ўлчов баки (мензурка) ва бурама тасмалардан иборат.

Экспериментал тадқиқотлар икки босқичда ўтказилади. Экспериментнинг биринчи босқичида узунлиги 1 м ва диаметри 20 мм бўлган силлиқ қувурда ламинар режимда (Re сони қиймати 100 дан 500 оралиғида) иссиқлик ташувчининг ҳарорати $20^{\circ}C$, ўлчов даврийлиги ҳар 10 секунда пьезометрик трубкалардан фодаланиб каналнинг кириши ва чиқишидаги босимлар фарқи аниқланади. ЯҚСК НИАП ИУКда оқаётган иссиқлик ташувчининг тезлиги $2 \cdot 10^{-3} м/с$ дан $5 \cdot 10^{-3} м/с$ гача ўзгариб турди. Иккинчи босқичда силлиқ қувурнинг ички бўшлиғига $h/d=6,8,10$ нисбатдаги бурама тасмалар ўрнатилди, ва ламинар оқим режими сақлаб қолинди ҳамда тажриба такрорланди.

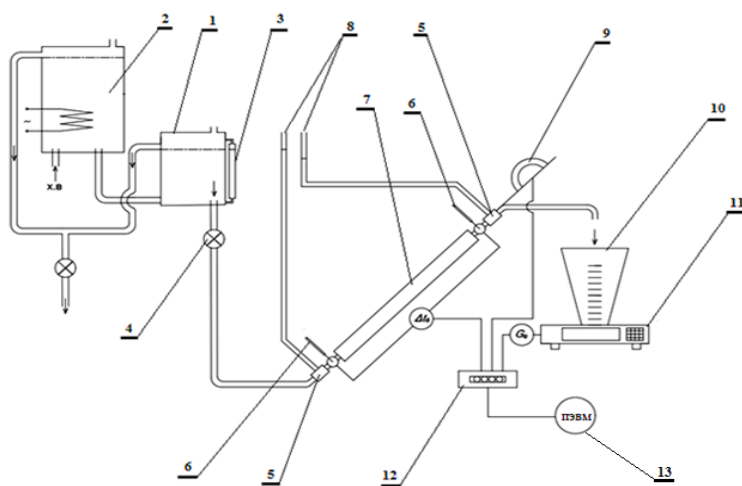
ЯҚСК НИАПдаги ишқаланишга гидравлик қаршилиқ қоэффицентини аниқлаш бўйича экспериментал тадқиқотнинг олинган натижалари 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

Лаборатория синовлари натижалари
(бурама тасмали қувур/ бурама тасмасиз қувур)

№	Иссиқлик ташувчи сарфи, G, кг/сек	ИУКдаги иссиқлик ташувчининг тезлиги, w, м/сек	Рейнольдс сони, Re	Гидравлик қаршилиқ қоэффицентини, ξ	ИУКдаги ўртача босим ΔP , мм.сув уст..
1	0,003/0,0057	0,0108/0,0165	195/240	0,328/0,266	3,5/3
2	0,005/0,0071	0,0159/0,0228	230/330	0,278/0,194	4/3
3	0,007/0,0118	0,0223/0,0375	323/543	0,198/0,118	4,1/4

ЯҚСК НИАП ИУКдаги гидравлик қаршилик коэффициентини бурама тасмалар билан аниқлаш бўйича ўтказилган экспериментал тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, гидравлик қаршиликнинг сезиларли оширмасдан ўзгариши ИУКда иссиқлик бериш коэффициентини силлиқ ИУКга нисбатан 2,5-3 марта ошишини кўрсатиб берди ва бу иссиқлик самарадорлиги юқори бўлган НИАПли ЯҚСК ишлаб чиқариш имкониятини беради.



10-расм. Автоматлаштирилган иссиқлик гидравлик синов стенди:

а) принципал схемаси: 1-электр иситгичли тўплаш баки; 2-ЯҚСК орқали иссиқлик ташувичини доимий оқимини таъминловчи тўплаш баки; 3-кузатув шишаси; 4-ростлаш вентили; 5 - сув аралаштириш камералари; 6 - дифференциал термомпара; 7 – синалаётган ЯҚСК; 8 – дифференциал трубкалар; 9 - пиранометр; 10 - мензурка; 11 - электрон тарози; 12 - блок ўзгартиргич; 13 - шахсий электрон ҳисоблаш машинаси (ШЭХМ).

б) Табиий шароитдаги иссиқлик гидравлик синов стенди.

ЯҚСКнинг иссиқлик ва гидравлик синовларни анъанавий фойдаланиладиган усулларга қараганда сезиларли даражада тезлаштириш имкониятини берадиган автоматлаштирилган иссиқлик гидравлик синов стенди (10. а) ва б) расмга қаранг) келтирилган.

Шундай қилиб, ЯҚСК НИАП ИУКнинг ички бўшлиғига бурама тасмаларни киритиш орқали улардаги гидравлик қаршиликни сезиларли оширмасдан ўзгариши каналларда иссиқлик бериш коэффициентини 2,5-3 мартагача ошириш имконини беради. Шунингдек, бурама тасмали ва анъанавий ЯҚСК НИАПнинг иссиқлик техникавий, техник-иқтисодий ва экологик кўрсаткичлари аниқланган бўлиб, бунинг натижасида кўрсаткичлар фарқи 10 % гача ташкил қилиши аниқланди.

ХУЛОСА

Диссертацияда қўйилган вазифаларни ечиш бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари асосида қуйидаги асосий хулосалар шакллантирилди:

1. Ясси қуёш сув иситгич коллекторнинг япроқ қувур ва юққа параллелепипед шаклларига эга нур ютувчи иссиқлик алмашиш панелларининг

иссиқлик узатувчи каналларидаги иссиқлик ташувчининг режими ва характерини аниқлаш учун Рейнольдс сони (Re) ва $GrPr$ комплекси қийматлари аниқланди ва Re сони япроқ қувурли нур ютувчи панелларда $107,34 \div 536,68$, юпқа параллелепипед шаклидаги нур ютувчи панелларда $7,03 \div 35,13$, $GrPr$ комплекси қиймати эса $GrPr > 8,5 \cdot 10^5$ ни ташкил қилди ҳамда иссиқлик узатиш каналларидаги иссиқлик ташувчининг оқим режими – ламинар, характери – қовушқоқ эканлиги аниқланди.

2. Ясси қуёш сув иситгич коллектори нур ютувчи иссиқлик алмашиниш панеллари иссиқлик узатувчи каналлари деворларининг ички сиртидаги ўртача ҳарорат қийматини ҳамда унинг шаффоф қопламаси ички ва ташқи сиртларидаги ҳароратларни аниқлаш учун ҳисобий ифодалар таклиф қилинди асосланди, натижада ички ва ташқи сиртдаги ҳарорат нур ютувчи иссиқлик алмашиниш панелининг нурланиш қобилиятига боғлиқлиги аниқланди ҳамда шамол тезлиги $v = 3 \text{ м/с}$ га тенглигини инобатга олган ҳолда $\varepsilon_p = 0,15$ да мос равишда $33,94^\circ\text{C}$ ва $33,34^\circ\text{C}$, $\varepsilon_p = 0,95$ да эса мос равишда $40,56^\circ\text{C}$ ва $39,54^\circ\text{C}$ ни ташкил қилди.

3. Ясси қуёш сув иситгич коллекторлари иссиқлик ҳисоби амалиёти ва синовиди янги параметр – коллектор нур ютувчи панели иссиқлик узатиш каналларидаги иссиқлик ташувчининг ламинар қовушқоқ оқим режимига боғлиқ ҳолда унинг корпуси фронтал юза бирлигига келтирилган нур ютувчи панелдан ички каналдаги иссиқлик ташувчига иссиқлик бериш коэффицентини аниқлаш ифодаси таклиф этилди, натижада мазкур коллекторларнинг нур ютувчи панеллари иссиқлик узатиш канали материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффицентига боғлиқ равишда унинг қиймати $10,6\%$ га пасайиши аниқланди.

4. Ясси қуёш сув иситгич коллектори корпусининг шаффоф қопламаси орқали нур ютувчи иссиқлик алмашиниш панелидан иссиқлик йўқотиш коэффицентига ташқи ҳавонинг нисбий намлиги ва унинг горизонтга нисбатан қиялик бурчагининг таъсири илк бор ўрганилди, натижада кўп параметрли боғлиқликлар асосида мазкур коллектор корпусининг шаффоф қопламаси орқали нур ютувчи иссиқлик алмашиниш панелида иссиқлик йўқотиш коэффицентини аниқлаш учун нисбий хатолиги $\pm 6\%$ ни ташкил қилган тегишли аппроксимацияловчи боғлиқликлар олинди.

5. Ясси қуёш сув иситгич коллекторлари япроқ қувур нур ютувчи панеллари иссиқлик ютувчи каналларида ламинар қовушқоқ оқим режимида иссиқлик алмашинувини кучайтириш учун уларнинг ички бўшлиғига бурама тасмаларни жойлаш тавсия этилди, натижада, иссиқлик узатиш каналларида гидравлик қаршилиқни сезиларли оширмасдан мазкур коллекторлар нур ютувчи панеллари иссиқлик узатувчи каналларидаги иссиқлик бериш коэффицентини $2,5-3$ мартага ошишини таъминлаши ҳамда юқори иссиқлик самарадорликка эга нур ютувчи иссиқлик алмашиниш панелли ясси қуёш сув иситгич коллекторларини ишлаб чиқиш имкониятини берди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.09.2020.Т.111.03
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ
КАРШИНСКОМ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

ВОХИДОВ АКМАЛ УЛАШЕВИЧ

**ВНУТРИПАНЕЛЬНЫЕ ТЕПЛО- И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В
ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ**

05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

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

Карши – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2018.4.PhD/T925.

Диссертация выполнена в Физико-техническом институте и Национальном научно-исследовательском институте возобновляемых источников энергии.

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

Научный руководитель: **Авезова Нилуфар Раббанакуловна**
доктор технических наук

Официальные оппоненты: **Рашидов Юсуф Каримович**
доктор технических наук, профессор

Уришев Бобораим
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Ферганский политехнический институт**

Защита состоится «4» декабря 2021 года в 11-00 часов на заседании Научного совета PhD.03/30.09.2020.T.111.03 при Каршинском инженерно-экономическом институте. (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Зал конференции Каршинского инженерно-экономического института. Тел/Факс: (75) 224-02-89/224-13-95, e-mail: qmii@qmii.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Каршинского инженерно-экономического института (зарегистрирована за № 14). (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: qmii@qmii.uuz)

Автореферат диссертации разослан «22» ноября 2021 года.
(протокол рассылки №5 от «20» ноября 2021 г.)

Г.Н. Узакон
Председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., проф.

Х.А. Давлонов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, PhD.

Б. Уришев
Председатель научного семинара при
Научном совете по присуждению ученых
степеней, д.т.н., проф.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире растет объем инвестиций в возобновляемые источники энергии, в частности в солнечную энергетику, и занимает одно из ведущих мест по масштабам их использования. Истощение традиционных ископаемых ресурсов в глобальном масштабе требует внедрения в практику устройств, работающих на солнечной энергии¹. В связи с этим, в системах горячего водоснабжения можно сэкономить до 60 % первичных энергоресурсов, затрачиваемых в таких системах за счет использования в них высокоэффективных солнечных технологий этот показатель может быть дополнительно увеличен. В этой связи использование систем, основанных на высокоэффективных солнечных технологиях имеет политическое значение в мире с энергетической и экологической точек зрения, и их использование для решения проблем смягчения последствий изменения климата считается актуальным и востребованным.

В связи с этим общая установленная тепловая мощность плоских солнечных водонагревательных коллекторов, используемых в системах горячего водоснабжения, в 2021 году составил 501 ГВт (т.е. 715 млн м²) и годовой темп роста их использования в период 2011-2021 годов составил 12,85%². Одной из актуальных задач в этой области является получение максимальной тепловой энергии с поверхности установленной площади рассматриваемых коллекторов, моделирование многопараметрических тепловых процессов, протекающих в них, оптимизация характеристик рабочих режимов, совершенствование процедуры проведения тепловых и гидравлических испытаний, а также повышение эффективности их использования в системах горячего водоснабжения.

Особое внимание уделяется проблемам использования солнечной энергии в качестве источников тепла в системах горячего водоснабжения жилых зданий, коммунально-бытовых и социальных объектов. В этом направлении принимаются комплексные меры по разработке и созданию новых, высокоэффективных конструкций плоских солнечных водонагревательных коллекторов и двухконтурных солнечных и солнечно-топливных систем на их основе. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы отмечены важные задачи по «... снижению энергетического ресурсного потенциала экономики, повсеместному внедрению энергосберегающих технологий в производство, расширению использования возобновляемых источников энергии»³. В реализации поставленных задач, в том числе в расширении использования высокоэффективных солнечных водонагревательных коллекторов в системах горячего водоснабжения, большое значение имеет обогащение внутреннего рынка качественными коллекторами с национальным сертификатом.

Данная диссертационная работа в определенной степени служит выполнению задач, указанных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан за № ПП-

¹Фортов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире. - Долгосрочный: Интеллект, 2011. - 168 с.

² «Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends in 2020. Detailed Market Figures 2019». IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2021.

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

4477 от 4 ноября 2019 года «Об утверждении стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019-2030 годы» и за № ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», а также других нормативно-правовых документах, принятых в этой области.

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».

Степень изученности проблемы⁴. Исследования по развитию теории и практики теплового преобразования солнечной энергии в плоских солнечных водонагревательных коллекторах проводятся в ряде научных центров мира, таких как Висконсинский университет, Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии (США), Институт энергетических исследований (Китай), Национальный институт солнечной энергии (Индия) Объединенный институт высоких температур (Россия), Физико-технический институт и Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии (Узбекистан).

В мире научные исследования по внутрипанельным тепло- и гидравлическим процессам в плоских солнечных водонагревательных коллекторах и совершенствование их теплотехнических показателей проводятся под руководством таких зарубежных ученых, как J.A. Duffie, W.A. Beckman, S.A. Klein, М.А. Михеева, Б.С. Петухова, О.С. Попеля, В.А. Бутузова, Д.С. Стребкова, Е.С. Фрида, Р.Б. Байрамова и А.Д. Ушакова.

Представителями отечественных научных школ Р.Р. Аvezовым, Ю.К. Рашидовым, Ш.И. Клычевым, Д.Н. Мухитдиновым, Е.А. Аббасовым, Н.Р. Аvezовой, Р.П. Бабаходжаевым и другими в данной области определены степени влияния конструктивных, теплотехнических и гидравлических параметров лучепоглощающих панелей на коэффициент тепловой эффективности коллекторов данного типа.

Однако, в этих исследованиях малоизученным является влияние коэффициента тепловой эффективности лучепоглощающих панелей коллекторов данного типа, которые при прочих равных условиях, существенно зависят от коэффициента конвективного теплообмена между внутренней поверхностью стенки теплоотводящего канала лучепоглощающей панели и теплоносителем, циркулирующим в нем.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ. Исследование выполнено в Физико-техническом институте

⁴ Обзор международных научных исследований по теме диссертации выполнен на основе следующих источников: <http://www.iea-shc.org>; <http://www.ren21.net>; Да Поа А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. М.: «Интеллект» МЭИ, 2010 – 704 с., Kalogirou, S.A., SolarEnergyEngineering, Amsterdam: Elsevier, 2009. – 850 p. и др.

Академии наук Республики Узбекистан в рамках прикладного проекта ФА-Атех-2018(420+85) “Разработка и создание автоматизированных испытательных стендов для тестирования плоских солнечных водонагревательных коллекторов” (2018-2020 гг.) и в ООО «Международный институт солнечной энергии» в рамках фундаментального проекта БВ-М-ФЗ-003 «Научные и инженерные основы повышения эффективности использования солнечной энергии в системах теплоснабжения» (2017-2020 гг.).

Целью исследования является исследование тепло- и гидравлических процессов во внутренних каналах лучепоглощающих панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов систем горячего водоснабжения.

Задачи исследования:

расчет и экспериментальное исследование по определению коэффициента конвективного теплообмена во внутренних каналах лучепоглощающих панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов;

разработка математических моделей зависимости от нескольких параметров коэффициента тепловых потерь лучепоглощающей панели в окружающую среду через светопрозрачное покрытие коллекторов данного типа;

исследование закономерностей формирования коэффициента теплопередачи от элементов лучепоглощающей панели плоских солнечных водонагревательных коллекторов к теплоносителю, циркулирующему в ее внутренних каналах и определение его значения;

исследование и поиск путей интенсификации процессов конвективного теплообмена во внутренних каналах лучепоглощающих панелей данного типа коллекторов без существенного роста их гидравлического сопротивления.

Объектом исследования являются лучепоглощающие теплообменные панели, имеющие листотрубную и параллелепипедную формы плоских солнечных водонагревательных коллекторов.

Предметом исследования являются изучение закономерностей процессов теплового преобразования солнечной энергии в лучепоглощающей панели плоских солнечных водонагревательных коллекторов и суммарного коэффициента тепловых потерь в окружающую среду, а также тепло- и гидравлические процессы, протекающие в них.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использована физическая модель процесса приёма, поглощения и теплового преобразования энергии солнечного излучения в исследуемых коллекторах и их элементах, при определении их значений использованы методы теоретических основ теплотехники и итерационный метод расчета, а также для определения основных тепловых параметров в теплоотводящих каналах использовано моделирование тепловых процессов, а для определения гидравлических параметров использованы результаты экспериментальных исследований в натуральных условиях.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

предложены и обоснованы расчетные выражения по определению значений коэффициента конвективного теплообмена во внутренних каналах лучепоглощающих панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов с учетом

средней температуры внутренней поверхности стенки теплоотводящих каналов лучепоглощающих панелей и определено снижение удельной теплопроизводительности коллекторов данного типа в зависимости от теплопроводности материала теплоотводящего канала лучепоглощающих панелей на 10,6%;

разработана многопараметрическая математическая модель дающая возможность определению коэффициента тепловых потерь лучепоглощающих панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов через светопрозрачные покрытия и получены аппроксимирующие зависимости по определению коэффициента тепловых потерь со степенью черноты в диапазонах от 0,1 до 0,25 и от 0,80 до 0,90 с относительной погрешностью $\pm 6\%$;

впервые в практике теплового расчета и тестирования плоских солнечных водонагревательных коллекторов предложено введение нового параметра – приведенного к единице площади фронтальной поверхности их корпусов коэффициента теплопередачи от лучепоглощающей панели к теплоносителю в ее внутренних теплоотводящих каналах и определены его значения в зависимости от ламинарно-вязкостного режима теплоносителя в теплоотводящих каналах лучепоглощающих панелей коллекторов данного типа;

определено значение коэффициента гидравлического сопротивления лучепоглощающей панели плоских солнечных водонагревательных коллекторов при ламинарном течении теплоносителя в их теплоотводящих каналах с применением ленточных завихрителей.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан автоматизированный теплогидравлический испытательный стенд, позволяющий ускоренно определять протекающие тепло- и гидравлические (ламинарно-вязкостные) процессы в плоских солнечных водонагревательных коллекторах (O’zDSt ISO 9806: 2020 (ISO 9806:2017, MOD));

обоснована возможность применения ленточных завихрителей внутри каналов лучепоглощающих панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов, которые позволяют повысить коэффициент теплоотдачи в 2,5-3 раза в их теплоотводящих каналах.

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 на основе из предложенных зависимостей, а также необходимой статистикой проведенных экспериментов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость исследований заключается в развитии теории теплового расчета плоских солнечных водонагревательных коллекторов с учетом тепло- и

гидравлических процессов во внутренних каналах их лучепоглощающих панелей, предложены методы для повышения эффективности теплообменных процессов, протекающих внутри теплоотводящих каналов, которая в свою очередь является основой для разработки надежных, высокоэффективных коллекторов данного типа с повышенными теплотехническими показателями.

Практическая значимость результатов. Для интенсификации теплообмена при ламинарном вязкостном режиме течения теплоносителя в теплоотводящих каналах лучепоглощающих панелей плоских солнечных коллекторов предложен новый инженерный подход – введение в их внутреннюю полость ленточных завихрителей, позволяющих достигнуть двух-трех кратного увеличения коэффициента конвективного теплообмена без существенного повышения гидравлического сопротивления этих теплоотводящих каналов.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по исследованию внутрипанельных тепло- и гидравлических процессов в плоских солнечных водонагревательных коллекторах:

разработан и внедрен O'zDSt ISO 9806: 2020 (ISO 9806:2017, MOD) «Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Методы испытаний» (Справка Министерства энергетики РУз №03-13-5008 от 22.09.2021 г. и Справка Института стандартов № 06/2333 от 22.09.2021 г.). В результате был создан теплогидравлический испытательный стенд, который позволяет быстро и с высокой точностью проводить испытания коллекторов данного типа, а также способствует созданию лаборатории для их сертификации;

разработана и внедрена «Солнечно-топливная система горячего водоснабжения» (FAP 01052) (Письмо от Узэлтехсаноат № 04-1/2356 от 16.12.2020 г.). В результате создана возможность экономии более 60 % первичных топливно-энергетических ресурсов, расходуемых в системах горячего водоснабжения объектов жилого, коммунально-бытового и административного назначения;

разработаны «Солнечно-топливная система горячего водоснабжения» (FAP01052), «Программа для расчета зависимости коэффициента тепловых потерь лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов через светопрозрачные покрытия в окружающую среду от их степени черноты» (DGU 05627), «Солнечная энергетика: Термины и определения» O'zDSt 3210:2017 (Справка Министерства высшего и среднего специального образования РУз №89-03-5137 от 09.12.2020г.). В результате было достигнуто качественное проведение лекций, практических и лабораторных занятия предметов по специальности направления «Нетрадиционные источники энергии» (для бакалавриата и магистратуры) Ташкентского государственного технического университета.

Апробация работы. Основные результаты исследования были обсуждены на 8 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано всего 28 научных работ, из них 1 монография, 2 нормативных документа (Государственные стандарты Республики Узбекистан), 10 научных статей, в том

числе 2 в республиканских и 8 в зарубежных изданиях (входящих в базу данных Scopus), рекомендованных ВАК РУз для публикации основных научных результатов диссертаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составляет 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе диссертации «**Лучепоглощающие теплообменные панели плоских солнечных водонагревательных коллекторов**» проведен критический анализ конструктивных решений существующих лучепоглощающих теплообменных панелей (ЛПТП) плоских солнечных водонагревательных коллекторов (ПСВК), исследованы их основные теплотехнические параметры, изучено влияние частичного поглощения и преобразования в тепло солнечного излучения (СИ), проходящего через светопрозрачные покрытия (СП) ПСВК, на их коэффициент тепловых потерь и тепловую эффективность, и на этой основе сформулирована постановка задач исследования.

Во второй главе диссертации «**Теплотехнические характеристики лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов**» приведены результаты исследований по изучению формирования коэффициента конвективного внутреннего теплообмена в теплоотводящих каналах (ТОК) ПСВК, средней температуры теплоносителя, средней рабочей температуры и температуры внутренней поверхности стенки ТОК листотрубных ЛПТП ПСВК, и на этой основе предложен новый подход по определению удельной теплопроизводительности ПСВК.

Одной из ключевых задач теории расчета ЛПТП ПСВК является определение значения конвективной теплоотдачи внутренней поверхности стенок их ТОК ($\bar{\alpha}_{к_{вн}}$)⁵. Для определения $\bar{\alpha}_{к_{вн}}$ на внутренних поверхностях стенок каналов теплообменных аппаратов с помощью известных критериальных уравнений, при прочих равных условиях, требуются средние значения температур внутренних поверхностей их стенок ($\bar{t}_{к_{вн}}$)⁶. В отличие от традиционных теплообменных

⁵ Avezov, R.R., Avezova, N.R., Rakhimov, E.Yu., and Vokhidov, A.U., Determination of the convective heat-exchange coefficient in inner channels of light-absorbing heat-exchange panels of flat-plate solar water-heating collectors based on the results of their short-term thermal testing in full-scale conditions, Appl. Sol. Energy, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 10–16.

⁶ Avezov, R.R., Rakhimov, E.Yu., and Mirzabaev, A.M., Calculation of the temperature of the internal surface of the heat-removing channel wall of the ray-absorbing heat-exchange panels of flat-plate solar water-heating collectors, Appl. Sol. Energy, 2017, vol. 53, no. 4, pp. 312–315.

аппаратов, в ПСВК значение $\bar{t}_{w_{\text{вн}}}$ формируется под воздействием многочисленных факторов, таких как теплотехнические показатели ограждающих элементов, оптические характеристики поверхности его СП и ЛПТП, приход солнечного излучения, температура ОС и т.п.

Очевидно, что разновременность и неодинаковость внешних условий проведения экспериментальных исследований ПСВК по определению значения в натуральных условиях требует много времени, материальных и финансовых затрат.

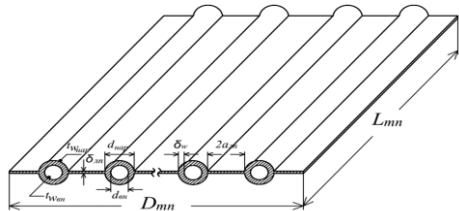


Рис.1. Расчетная принципиальная схема листотрубной ЛПТП ПСВК с идеальным тепловым контактом между ЛПП и ТОК: D_{mn} и L_{mn} – ширина и длина ЛПТП; a_{ln} и δ_{ln} – соответственно, ширина и толщина ЛПП (ребра); $d_{нар}$, $d_{вн}$ и δ_w – соответственно, наружный, внутренний диаметры и толщина стенки ТОК

Поэтому более рациональным считается определение значения $\bar{t}_{w_{\text{вн}}}$ путем моделирования тепловых процессов, протекающих в ЛПТП ПСВК по заданным значениям оптических свойств и теплотехнических показателей их элементов⁷.

В целях обеспечения общности получаемого решения поставленной задачи рассмотрим листотрубную конструкцию ЛПТП ПСВК (см. рис.1), в которой тепловой контакт между ЛПП и ТОК является идеальным. Как показывают результаты исследований, расчетные выражения, выведенные для листотрубных ЛПТП ПСВК, применимы для большинства конструкций плоских проточных ЛПТП. Совместное решение ниже приведенных уравнений теплового баланса листотрубной ЛПТП ПСВК

$$q_{\text{пол}} = \frac{(2a_{ln}\eta_{ln} + d_{нар})}{2a_{ln} + d_{нар}} \left[q_{\text{нозл}p}^{\Sigma} - K_{\text{нр}p-o} (\bar{t}_{w_{нар}} - t_o) \right], \quad (1)$$

и

$$q_{\text{пол}} = \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}} \frac{P_{wcp}}{2a_{ln} + d_{нар}} (\bar{t}_{w_{нар}} - t_{w_{вн}}), \quad (2)$$

позволяет определить значение $\bar{t}_{w_{вн}}$ по ниже приведенному выражению:

$$\bar{t}_{w_{вн}} = t_o + \frac{q_{\text{нозл}p}^{\Sigma}}{K_{\text{нр}p-o}} - (\dot{m}c_p)_f (t_{f_{вх}} - t_{f_{вн}}) (2a_{ln} + d_{нар}) \left[\frac{1}{K_{\text{нр}p-o} (2a_{ln}\eta_{ln} + d_{нар})} + \frac{\ln \frac{d_{нар}}{d_{вн}}}{2\pi\lambda_w} \right]. \quad (3)$$

и далее на основе полученного выражения (3) предложен бесконтактный метод определения значения коэффициента конвективного теплообмена на внутренних поверхностях стенок ТОК листотрубных ЛПТП ПСВК, наклоненных к горизонту:

$$\bar{\alpha}_{\kappa_{вн}} = \frac{(\dot{m}c_p)_f (t_{f_{вх}} - t_{f_{вн}}) (2a_{ln} + d_{нар}) L_{mn}}{K_{\text{зан}} \pi d_{вн} \ell_{\text{тк}} (\bar{t}_{w_{вн}} - \bar{t}_{f_l})}, \quad (4)$$

⁷ Duffie, J.A. and Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, New York: Wiley, 2013. – 888 p.

где

$$\dot{m}_f = \frac{G_f}{F_{фр}} \quad (5)$$

- удельный (отнесённый к единице площади фронтальной поверхности ПСВК) расход воды через ЛПТП; $c_{p_f} = 4186,8 \text{ Дж}/(\text{кг}^\circ\text{C})$ - удельная теплоёмкость воды;

$$K_{зан} = \frac{F_{mn}}{F_{фр}} \quad (6)$$

- коэффициент заполнения рассматриваемого коллектора; $t_{f_{вх}}$ и $t_{f_{вых}}$ - соответственно, температура исходной (холодной) воды на входе в коллектор и горячей воды на выходе из него; \bar{t}_{f_ℓ} - усредненная по длине ТОК среднemasсовая температура нагреваемой в нем воды; ℓ_{mk} - длина ТОК; $2a_{mn}$ - межтрубное расстояние лучепоглощающей пластины (ЛПП).

Подставляя значение $\bar{t}_{w_{вн}}$ из (3) для определения $\bar{\alpha}_{к_{вн}}$ в решение (4), получим:

$$\bar{\alpha}_{к_{вн}} = \frac{(\dot{m}c_p)_f}{K_{зан} \pi d_{вн} \ell_{mk}} \frac{(2a_{mn} + d_{нар})L_{mn}}{\left(\ln \frac{\frac{q_{нозп}^\Sigma}{K_{нрр-о}} + t_o - t_{f_{вх}}}{\frac{q_{нозп}^\Sigma}{K_{нрр-о}} + t_o - t_{f_{вых}}} \right)^{-1}} - \frac{(\dot{m}c_p)_f}{K_{нрр-о}} \frac{2a_{mn} + d_{нар}}{2a_{mn} \eta_{mn} + d_{нар}} \quad (7)$$

Принимая во внимание, что средняя температура внутренней поверхности стенок ТОК ЛПТП ПСВК $\bar{t}_{w_{вн}} = 48,1^\circ\text{C}$, было определено, что значение коэффициента конвективного теплообмена в ТОК ЛПТП рассматриваемых коллекторов $\bar{\alpha}_{к_{вн}} = 385,48 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{}^\circ\text{C}$ и коэффициент тепловой эффективности ЛПТП $\eta_{mn} = 0,87$. Достоверность результатов полученных расчетов по предложенному новому инженерному подходу для определения значения $\bar{\alpha}_{к_{вн}}$ подтверждается близостью (0,6%) значений по определению коэффициента тепловой эффективности (η_{mn}), предложенных Петуховым и Авезовой.

В третьей главе диссертации «**Моделирование процессов тепловых потерь в лучепоглощающих теплообменных панелях плоских солнечных водонагревательных коллекторов**» приведены результаты исследований моделирования процессов тепловых потерь в окружающую среду (ОС) ПСВК через СП их корпусов ($K_{c_{p-o}}$) с учетом относительной влажности наружного воздуха, угла наклона к горизонту на ее тепловые потери через СП корпуса ПСВК, а также представлены аппроксимационные зависимости для определения значения $K_{c_{p-o}}$.

В ПСВК значение $K_{c_{p-o}}$, как правило, формируется под влиянием суммарных (конвективно-кондуктивного и лучистого) тепловых потоков, подводимых на внутреннюю поверхность СП со стороны фронтальной поверхности ЛПТП ($q_{вн\ p-c_1}^{\Sigma}$), и суммарных (конвективного и лучистого) тепловых

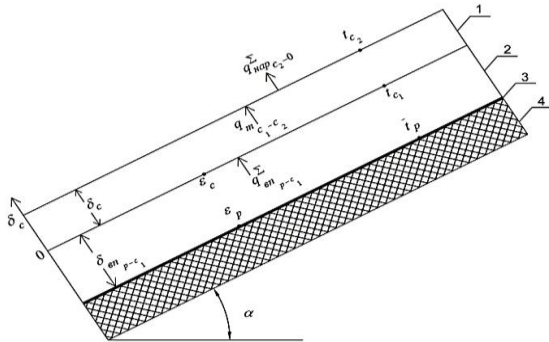


Рис. 2. Принципиальная схема тепловых потоков через однослойное СП ПСВК: 1-СП; 2-ЗВП; 3-ЛПТП; 4-теплоизоляция корпуса.

конвективного (к) и лучистого (л) теплообмена в ЗВП, заключенной между зачерненной поверхностью ЛПТП (р) и внутренней поверхностью СП (c_1); $\alpha_{нар\ c_2-o}^{\kappa}$ и $\alpha_{нар\ c_2-o}^{\lambda}$ - соответственно, коэффициенты конвективной (к) и лучистой (л) теплоотдачи наружной поверхности СП (c_2) в ОС (о); t_{c_1} и t_{c_2} - соответственно, температуры внутренней (обращенной к ЛПТП) и наружной (обращенной к ОС) поверхностей СП.

Значение теплового потока, передаваемого от внутренней поверхности СП (c_1) к его наружной поверхности (c_2) путем теплопроводности при этом определяется из выражения

$$q_{mn\ c_1-c_2} = \frac{\lambda_c}{\delta_c} (t_{c_1} - t_{c_2}). \quad (10)$$

Выражение (10) получено на основе решения одномерного дифференциального уравнения стационарной теплопроводности второго порядка при граничных условиях первого рода для рассматриваемого СП при отсутствии в нем внутреннего источника тепла (ВИТ)

$$\left. \begin{array}{l} t_x = t_{c_1} \quad \text{при} \quad x=0 \\ t_x = t_{c_2} \quad \text{при} \quad x=\delta_c \end{array} \right\} \quad \frac{d^2 t x}{dx^2} = 0. \quad (11)$$

Согласно закону сохранения энергии, значения трех тепловых потоков, равны между собой, т.е.

$$q_{вн\ p-c_1}^{\Sigma} = q_{mn\ c_1-c_2} = q_{нар\ c_2-o}^{\Sigma}. \quad (12)$$

Подставляя значений $q_{вн\ p-c_1}^{\Sigma}$, $q_{нар\ c_2-o}^{\Sigma}$ и $q_{mn\ c_1-c_2}$ из (8), (9) и (10), соответственно, в равенство (12), можно получить

$$q_{c_{p-o}} = K_{c_{p-o}} (\bar{t}_p - t_o), \quad (13)$$

где

потоков, отводимых от наружной поверхности рассматриваемого СП в ОС ($q_{нар\ c_2-o}^{\Sigma}$) (см. рис.2), определяемыми из следующих выражений:

$$q_{вн\ p-c_1}^{\Sigma} = (\alpha_{вн\ p-c_1}^{\kappa} + \alpha_{вн\ p-c_1}^{\lambda}) (\bar{t}_p - t_{c_1}), \quad (8)$$

и

$$q_{нар\ c_2-o}^{\Sigma} = (\alpha_{нар\ c_2-o}^{\kappa} + \alpha_{нар\ c_2-o}^{\lambda}) (t_{c_2} - t_o), \quad (9)$$

соответственно.

В (8) и (9) $\alpha_{вн\ p-c_1}^{\kappa}$ и $\alpha_{вн\ p-c_1}^{\lambda}$ - соответственно, коэффициенты

соответственно, конвективной (к) и лучистой (л) теплообмена в ЗВП, заключенной между зачерненной поверхностью ЛПТП (р) и внутренней поверхностью СП (c_1); $\alpha_{нар\ c_2-o}^{\kappa}$

и $\alpha_{нар\ c_2-o}^{\lambda}$ - соответственно, коэффициенты конвективной (к) и лучистой (л) теплоотдачи наружной поверхности СП (c_2) в ОС (о); t_{c_1} и t_{c_2} - соответственно,

температуры внутренней (обращенной к ЛПТП) и наружной (обращенной к ОС) поверхностей СП.

$$K_{c_{p-o}} = \left(\frac{1}{\alpha_{вн_{p-c1}}^k + \alpha_{вн_{p-c1}}^n} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{нар_{c2-o}}^k + \alpha_{нар_{c2-o}}^n} \right)^{-1} \quad (14)$$

- коэффициент тепловых потерь от зачерненной поверхности ЛПТП в ОС через однослойное СП корпуса ПСВК.

Таким образом, основой предлагаемой тепловой модели для расчета значений $K_{c_{p-o}}$ в зависимости от \bar{t}_p , ε_p , t_o , φ_o , ϑ и $\delta_{вн_{p-c1}}$ является система уравнений (8), (9), (10) и (11), для которых расчеты по определению значений последних выполняются итерационным методом, а результатом их реализации в аналитическом виде представляют решения (14). В связи с тем, что процедура итерационных расчетов по определению $K_{c_{p-o}}$ является многопараметрической задачей, в целях автоматизации вычислительных работ по определению зависимости коэффициента тепловых потерь ЛПТП ПСВК через СП в ОС от степени их черноты с учетом оптимальных параметров ПСВК и влияния внешних факторов, таких как средняя рабочая температура, температура и влажность ОС, а также скорости ветра, разработан и предложен алгоритм, который представлен ниже (DGUN $\text{\textcircled{0}}$ 5627). На основе обобщения результатов численных экспериментов по определению значения $K_{c_{p-o}}$ в указанных диапазонах \bar{t}_p , ε_p , t_o , φ_o , ϑ и $\delta_{вн_{p-c1}}$, получены следующие аппроксимационные аналитические зависимости, в том числе:

- для диапазона величин $0,1 \leq \varepsilon_p \leq 0,25$

$$K_{c_{p-o}} = 1,9414 + 0,0047 \bar{t}_p - 0,013 t_o - 1,2521 \varphi_o + 4,5188 \varepsilon_p + 0,055 \vartheta + (196,7005 - 5479,4246 \delta_{вн_{p-c1}}) \delta_{вн_{p-c1}}, \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C} \quad (15)$$

- для диапазона величин $0,80 \leq \varepsilon_p \leq 0,95$

$$K_{c_{p-o}} = 3,4315 - 0,0128 \bar{t}_p + 0,0208 t_o - 1,7715 \varphi_o + 2,6752 \varepsilon_p + 0,1671 \vartheta + (88,89 - 2208,9397 \delta_{вн_{p-c1}}) \delta_{вн_{p-c1}}, \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C} \quad (16)$$

Анализ полученных результатов для определения значения $K_{c_{p-o}}$ приведен в табл.1.

Таблица 1

Зависимость $K_{c_{p-o}}$ от скорости ветра (v), влажности наружного воздуха (φ_o) и степени черноты (ε_p) (при $\varepsilon_c=0,88$, $\bar{t}_p=60^\circ\text{C}$, $t_o=30^\circ\text{C}$, $\varphi_o=0,3$, $\delta_{вн_{p-c1}}=0,015$ м и $v=3$ м/с)

Коэффициенты	ε_p	v (от 2 до 6 м/с)	φ_o (от 0,15 до 0,6)
$K_{c_{p-o}}, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$	3,0028 (с ростом ε_p от 0,1 до 0,95) рост на 80,46%	0,22 (при $\varepsilon_p=0,1$) рост на 5,98%	0,56 (при $\varepsilon_p=0,1$) снижение на 22,38%
		0,66 (при $\varepsilon_p=0,95$) рост на 10,18%	0,79 (при $\varepsilon_p=0,95$) снижение на 12,85%

Далее, наряду с $\eta_{\text{ТП}}$ и $K_{\text{прр-о}}$, одним из важнейших параметров ПСВК, исследованию которого до настоящего времени не уделено должного внимания, является приведенный к единице площади фронтальной поверхности корпуса коэффициент теплопередачи от ЛПП к теплоносителю, циркулирующему по их ТОК ($K_{\text{прр-ф}}$) и определяется по

$$K_{\text{прр-ф}} = \frac{q_{\text{пол}}}{\bar{t}_p - \bar{t}_{f_l}}. \quad (17)$$

где, $q_{\text{пол}}$ – удельная (отнесенной к единице площади их корпуса) мгновенная теплопроизводительность; \bar{t}_p – средняя рабочая температура ЛПП; \bar{t}_{f_l} – усредненная по длине ТОК ЛПП средняя массовая температура теплоносителя.

Для установления закономерности формирования $K_{\text{прр-ф}}$ используем расчетные выражения для определения мгновенной удельной теплопроизводительности ПСВК, записанными в виде функций от \bar{t}_p и \bar{t}_{f_l} , т.е.:

$$q_{\text{пол}} = q_{\text{погл}_p}^{\Sigma} - K_{\text{прр-о}}(\bar{t}_p - t_o) \quad (18)$$

$$q_{\text{пол}} = \eta_{\text{ТП}} \left[q_{\text{погл}_p}^{\Sigma} - K_{\text{прр-о}}(\bar{t}_{f_l} - t_o) \right], \quad (19)$$

соответственно и решая относительно $(\bar{t}_p - t_o)$ и $(\bar{t}_{f_l} - t_o)$, получим выражение для определения коэффициента теплопередачи от ЛПП к теплоносителю, в том числе:

для листотрубных ЛПТП:

$$K_{\text{прр-ф}} = \frac{\eta_{\text{ТП}} K_{\text{прр-о}}}{1 - \eta_{\text{ТП}}}, \quad (21)$$

для параллелепипедных ЛПТП:

$$K_{\text{прр-ф}} = \left(\frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_{\text{квн}}} \right)^{-1}. \quad (22)$$

На рис. 3 приведена зависимость $K_{\text{прр-ф}}$ от $\frac{\delta_w}{\lambda_w}$ для ПСВК с проточной ЛПП, имеющей тонкую параллелепипедную форму, при $\alpha_{\text{квн}} = 53,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Как следует из графической зависимости $K_{\text{прр-ф}}$ от $\frac{\delta_w}{\lambda_w}$, при изменении $4 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ до $2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ для теплостойкого листового пластика, значение $K_{\text{прр-ф}}$ снижается всего лишь на 10,6%.

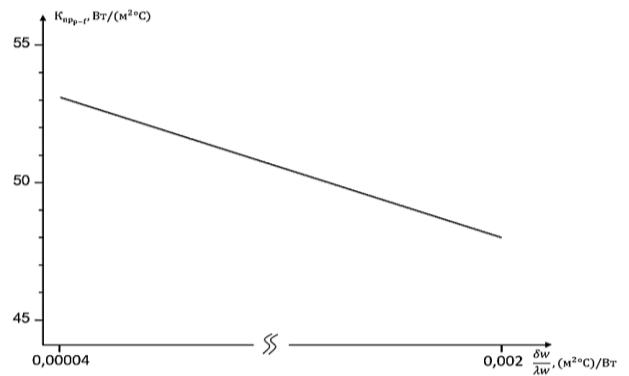


Рис.3. Зависимость $K_{\text{прр-ф}}$ от $\frac{\delta_w}{\lambda_w}$ для проточной ЛПП тонкой параллелепипедной формы

Далее приведены выражения для определения температуры внутренней и наружной поверхности СП ПСВК, полученные на основе равенства значений удельных тепловых потоков q_{p-c_1} и q_{c_p-o} , а также q_{c_2-o} и q_{c_p-o} :

$$t_{c_1} = \bar{t}_p - \frac{K_{c_p-o}^{(1)} (\bar{t}_p - t_o)}{\alpha_{\text{внр-с}_1}^{\text{к}} + \alpha_{\text{внр-с}_1}^{\text{л}}}, \quad (23)$$

$$t_{c_2} = t_o + \frac{K_{c_p-o} (\bar{t}_p - t_o)}{\alpha_{\text{нарс}_2-o}^{\text{к}} + \alpha_{\text{нарс}_2-o}^{\text{л}}}. \quad (24)$$

На рис. 4 приведены результаты расчетов по определению значений t_{c_1} и t_{c_2} в зависимости от скорости ϑ и показано существенное зависимость от излучательной способности зачерненной поверхности ЛПТП. Заключительным результатом расчетов является зависимость величин $K_{c_{p-0}}$ от ϑ и ε_p при $\varepsilon_c=0,88$, которая приведена на рис. 5 и из анализа результатов выполненных расчетных исследований следует, что одним из основных путей понижения тепловых потерь с зачерненной поверхности ЛПТП в ОС через СП корпуса ПСВК является достижение низких значений ε_p по сравнению ε_c .

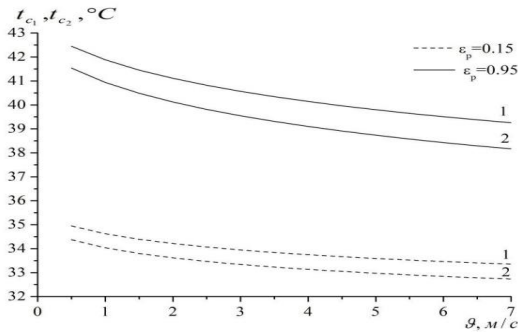


Рис. 4. Зависимость t_{c_1} (1) и t_{c_2} (2) от ϑ при $\varepsilon_p=0,15$ и $\varepsilon_p=0,95$

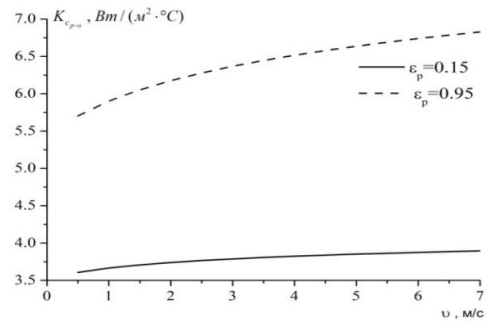


Рис. 5. Зависимость $K_{c_{p-0}}$ от скорости ветра

В существующей в практике теории теплового расчета ПСВК влиянием относительной влажности воздуха на коэффициент тепловых потерь ЛПТП через СП корпуса ПСВК пренебрегают. Однако, как следует из выражений

$$\alpha_{нар_{c_2-0}}^L = 0,5\varepsilon_c \sigma \tau_a (T_{c_2}^2 + T_{нс}^2)(T_{c_2} + T_{нс}) [1 + \cos\alpha + \rho_3(1 - \cos\alpha)] \frac{t_{c_2} - t_0}{t_{c_2} - t_{нс}}, \quad (25)$$

$$T_{нс} = T_0 [0,711 + 0,0056t + 0,000073t_{тр}^2 + 0,013\cos\omega z]^{0,25}, \quad (26)$$

$$t_{тр} = 235 \frac{\lg \varphi_0 + \frac{7,45t_0}{235+t_0}}{7,45 - (\lg \varphi_0 + \frac{7,45t_0}{235+t_0})}. \quad (27)$$

лучистая составляющая $\alpha_{нар_{c_2-0}}^\Sigma$ (т.е. $\alpha_{нар_{c_2-0}}^L$) при прочих равных условиях зависит от эффективной температуры небосвода ($T_{нс}$), а значение $T_{нс}$, в свою очередь, зависит от T_0 и относительной влажности воздуха (φ_0).

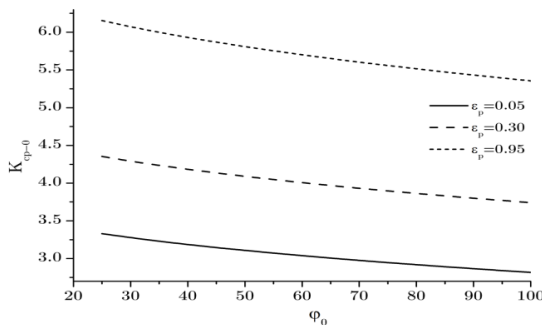


Рис. 6. Зависимость $K_{c_{p-0}}$ от φ_0 при $\varepsilon_p=0,05; 0,30; 0,95$.

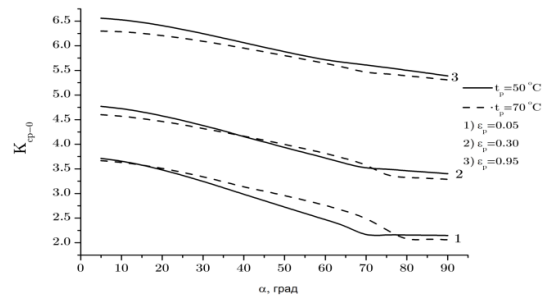


Рис. 7. Зависимость $K_{c_{p-0}}$ от угла наклона α при $t_p=50^\circ C$ и $70^\circ C$, $\varepsilon_p = 0,05; 0,30; 0,95$

Результаты расчетов по определению зависимости $K_{c_{p-0}} = f(\varphi_0)$, полученные на основе зависимости $\alpha_{нар_{c_2-0}}^L$ от φ_0 для ПСВК с однослойным СП корпуса при $t_p=60^\circ C$, $t_0=30^\circ C$, $\vartheta=3 м/с$, $\alpha=30^\circ$ и $\varepsilon_c=0,88$ для значений ε_p 0,05; 0,30

и 0,95 приведены на рис. 6. При $\varepsilon_p=0,05$ рост φ_0 от 0,25 до 0,80 приводит к снижению $K_{c_{p-o}}$ от 6,12 до 5,55 $Вт/(м^2\text{°C})$ (на 10,3%), а при $\varepsilon_p=0,3$ – от 4,37 до 4,12 $Вт/(м^2\text{°C})$ (на 6,1%) и при $\varepsilon_p=0,95$ – от 3,30 до 2,90 $Вт/(м^2\text{°C})$ (на 13,8%).

Далее на рис.7 приведена графическая зависимость $K_{c_{p-o}}$ от угла наклона α . Как следует из графиков, рост α , как ожидалось, приводит к снижению $K_{c_{p-o}}$, что объясняется уменьшением лучистого теплообмена между наружной поверхностью СП и небосводом.

Максимальное значение относительных погрешностей результатов расчетов по определению значения $K_{c_{p-o}}$ по аппроксимационным формулам (17) и (18) по сравнению с результатами точных расчетов по формуле (15) составляет $\pm 6,0\%$.

В четвертой главе диссертации «**Расчетно-экспериментальное исследование теплогидравлических процессов в лучепоглощающих теплообменных панелях плоских солнечных водонагревательных коллекторов**» приведены результаты экспериментальных исследований, полученных в лабораторных условиях, по формированию коэффициента гидравлического сопротивления листотрубных ЛПТП ПСВК, повышению коэффициента конвективного теплообмена внутри ТОК листотрубных ЛПТП ПСВК в условиях ламинарного режима течения теплоносителя, а также практической реализации полученных результатов по исследованию тепло- и гидравлических процессов во внутренних каналах ЛПТП ПСВК в системах горячего водоснабжения.

В мировой практике одним из путей интенсификации конвективного теплообмена внутри ТОК ЛПТП ПСВК в вязкостном режиме, как и других теплообменников, считается воздействие на тепловой пограничный слой, образованный на внутренних поверхностях их стенок без существенного повышения их гидравлического сопротивления и наиболее приемлимым является использование закрученных лент (см. рис. 8. а), б), в)). При этом закрутка потока воды поддерживается непрерывно по всей длине ТОК, что обеспечивает постоянство отношения тангенциальной и осевой составляющих скорости.

Для проведения экспериментальных исследований по определению коэффициента гидравлического сопротивления на трения в ЛПТП ПСВК разработан Лабораторный стенд на основе принципиальной схемы, который приведен на рис. 9. а) и б), и разработана методика и порядок проведения экспериментальных исследования на основе утвержденного Государственного Стандарта Республики Узбекистан O'zDSt ISO 9806:2020 (ISO 9806:2017, MOD).

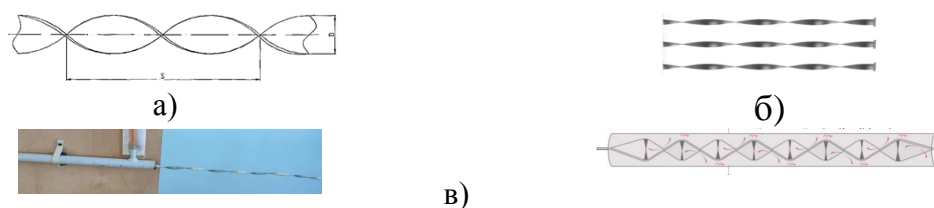


Рис. 8. Закрученная лента : а - вид закрученной ленты; б- подготовленная закрученная лента с $h/d = 6, 8, 10$; в- расположение в теплоотводящем канале.

Разработанный стенд позволяет определить значение гидравлического сопротивления внутри ТОК ЛПП ПСВК при ламинарно-вязком и вязкостно-гравитационных режимах течения воды в горизонтальном ТОК ЛПП ПСВК.

Лабораторный стенд состоит из бака для воды с объемом 10 л; ТОК с диаметром 20 мм; вентиля на входе и на выходе для поддержки расхода теплоносителя; пьезометрических трубок, присоединенные с двух сторон ТОК, определенным участком с длиной 1 м; мерного бака для съема теплоносителя (мензурка); ленточных завихрителей.

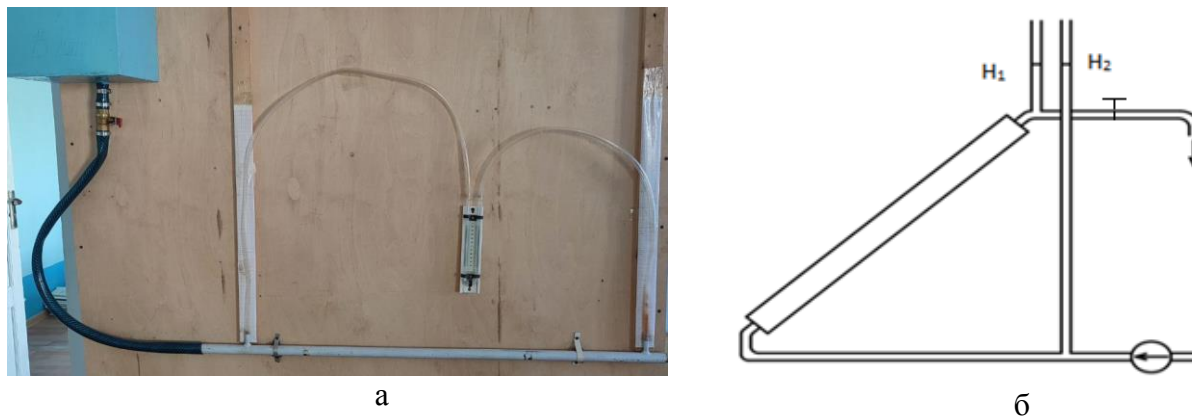


Рис. 9. Лабораторный стенд (а) и принципиальная схема (б) для определения разности давлений в ТОК ЛПП ПСВК.

Экспериментальные исследования проводились в два этапа. Первый этап эксперимента проводился на гладкой трубе с длиной 1 м, диаметром 20 мм при ламинарном режиме (значение числа Re в пределах от 100 до 400) течения теплоносителя с температурой 20°C и периодом замера 10 сек, и используя пьезометрические трубки определяли разность давлений на входе и на выходе канала. Скорость теплоносителя, протекающего в ТОК ЛПП ПСВК, изменялось от $2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ до $5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$. На втором этапе устанавливали на внутреннюю полость гладкой трубы ленточные завихрители с отношением $h/d=6,8,10$ при этом поддерживался ламинарный режим течения теплоносителя и эксперимент повторяли.

Полученные результаты экспериментального исследования по определению коэффициента гидравлического сопротивления на трение в ЛПП ПСВК приведены ниже на табл. 2.

Таблица 2

Результаты лабораторных испытаний
Труба без завихрителя/ Труба с завихрителем

№	Расход теплоносителя, G, кг/сек	Скорость теплоносителя в ТОК, w, м/сек	Число Рейнольдса, Re	Коэффициент гидравлического сопротивления, ξ	Среднее давление в ТОК ΔP , мм.вод.ст.
1	0,003/0,0057	0,0108/0,0165	195/240	0,328/0,266	3,5/3
2	0,005/0,0071	0,0159/0,0228	230/330	0,278/0,194	4/3
3	0,007/0,0118	0,0223/0,0375	323/543	0,198/0,118	4,1/4

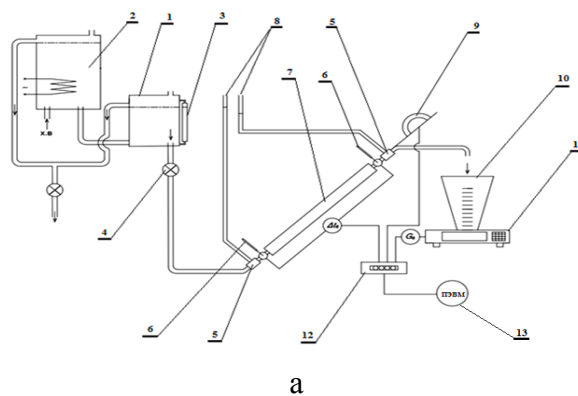


Рис. 10. Автоматизированный теплогидравлический испытательный стенд:

(а) принципиальная схема: 1 - бак-накопитель со встроенным электронагревателем; 2 - бак-накопитель, обеспечивающий постоянный расход теплоносителя через ПСВК; 3 - смотровое стекло; 4 - регулировочный вентиль; 5 - камеры смешивания воды; 6 – дифференциальная термопара; 7 - тестируемый ПСВК; 8 – дифференциальные трубки; 9 - пирометр; 10 - мензурка; 11 - электронные весы; 12 - блок-преобразователь; 13 – персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ).

(б) Теплогидравлический испытательный стенд в натуральных условиях.

Результаты экспериментального исследования по определению коэффициента гидравлического сопротивления в ТОК ЛПП ПСВК с ленточным завихрителем показывают, что при незначительном изменении повышения, их коэффициент теплоотдачи увеличивается на 2,5-3 раза, что позволяет разработать ПСВК с ЛПП с повышенной тепловой эффективностью.

Представлен автоматизированный теплогидравлический испытательный стенд (см. рис. 10 (а) и (б)) который позволяет значительно ускорить проведение тепловых и гидравлических испытаний ПСВК по сравнению с традиционно используемыми методами.

Таким образом, введение во внутреннюю полость ТОК ЛПП ПСВК ленточных завихрителей, позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи в 2,5-3 раза при незначительном изменении повышения гидравлического сопротивления в ТОК ЛПП ПСВК. Также были определены теплотехнические, технико-экономические и экологические показатели традиционных ПСВК и ПСВК с ленточными завихрителями в СГВС, и, как следствие, разница в показателях составляет до 10%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов проведенных в диссертации исследований по решению поставленных в ней задач, сформулированы следующие основные выводы:

1. Определены значения числа Рейнольдса (Re) и комплекса $GrPr$, на основе которых определены режим и характер течения теплоносителя внутри теплоотводящих каналов лучепоглощающих теплообменных панелей, имеющих листотрубную и тонкую параллелепипедную формы плоских солнечных водонагревательных коллекторов. В результате определения значений (числа Re :

для листотрубной лучепоглощающей панели - $107,34 \div 536,68$, для тонкой параллелепипедной формы лучепоглощающей панели - $7,03 \div 35,13$ и значений комплекса $GrPr > 8,5 \cdot 10^5$) установлено, что режим течения теплоносителя в теплоотводящих каналах лучепоглощающей панели является ламинарным, а характер – вязкостным.

2. Обоснованы и получены расчетные выражения для определения значений средней температуры внутренней поверхности стенки теплоотводящих каналов лучепоглощающих теплообменных панелей и температуры внутренней и наружной поверхности светопрозрачного покрытия плоских солнечных водонагревательных коллекторов, в результате проведенных расчетов выявлена существенная зависимость их температуры от излучательной способности зачерненной поверхности лучепоглощающих теплообменных панелей, которая составляет $33,94^\circ\text{C}$ и $33,34^\circ\text{C}$ при $\varepsilon_p = 0,15$ и $40,56^\circ\text{C}$ и $39,54^\circ\text{C}$ при $\varepsilon_p = 0,95$ с учетом скорости ветра $\vartheta = 3 \text{ м/с}$.

3. Впервые предложено введение в практику теплового расчета и тестирования плоских солнечных водонагревательных коллекторов нового параметра – приведенного к единице площади фронтальной поверхности их корпусов коэффициента теплопередачи от лучепоглощающей теплообменной панели к теплоносителю в ее внутреннем теплоотводящем канале, в результате определено уменьшение его значения на $10,6\%$ в зависимости от теплопроводности используемого материала теплоотводящего канала лучепоглощающей панели плоского солнечного водонагревательного коллектора.

4. Впервые установлено влияния относительной влажности наружного воздуха, угла наклона плоского солнечного водонагревательного коллектора к горизонту на коэффициент тепловых потерь лучепоглощающей теплообменной панели через светопрозрачное покрытие корпуса плоского солнечного водонагревательного коллектора и в результате получены соответствующие аппроксимирующие зависимости для определения коэффициента тепловых потерь, относительная погрешность которых составляет $\pm 6\%$, лучепоглощающей теплообменной панели плоского солнечного водонагревательного коллектора через его светопрозрачное покрытие.

5. Для интенсификации теплообмена при ламинарном вязкостном режиме в теплоотводящем канале листотрубных лучепоглощающих панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов рекомендована и реализована введение в их внутреннюю полость ленточных завихрителей, в результате которого при незначительном изменении повышения гидравлического сопротивления в теплоотводящем канале лучепоглощающих панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов, коэффициент теплоотдачи увеличивается в $2,5$ - 3 раза по сравнению с каналом без ленточных завихрителей, что позволяет разрабатывать плоские солнечные водонагревательные коллектора с повышенной тепловой эффективностью их лучепоглощающих панелей.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/30.09.2020.T.111.03 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT KARSHI ENGINEERING-ECONOMICS
INSTITUTE**

**PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE
NATIONAL SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE
OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

VOKHIDOV AKMAL ULASHEVICH

**INTRA PANEL THERMAL AND HYDRAULIC PROCESSES
IN FLAT-PLATE SOLAR WATER HEATING COLLECTORS**

05.05.06 – Power-plants on the basis of renewable energy

**ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) DISSERTATION
ON TECHNICAL SCIENCES**

KARSHI – 2021

Theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under № B2018.4.PhD/T925.

Dissertation has been prepared at Physical-technical institute of the Academy of sciences of the Republic of Uzbekistan and National scientific research institute of Renewable energy sources under Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three (Uzbek, Russian, English (resume)) languages on the website of Scientific council (www.qmii.uz) and on Information and educational portal “ZiyoNet” (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor:	Avezova Nilufar Rabbanakulovna doctor of technical sciences
Official opponents:	Rashidov Yusuf Karimovich doctor of technical sciences, professor Urishev Boboraim doctor of technical sciences, professor
Leading organization:	Ferghana Polytechnic Institute

The defense of the PhD dissertation will take place December, “4” 2021 at 11 a.m. at the meeting of the Scientific Council number PhD.03/30.09.2020.T.111.03 at Karshi engineering-economics institute. (Address: 180100, Uzbekistan, Karshi city, Mustakillik street, 225. Conference hall of the Karshi engineering-economics institute. Phone: (+998 75) 224-02-89; Fax: (+998 75) 224-13-95, E-mail: qmii@qmii.uz)

The PhD thesis can be founded at the Information-resource Center of Karshi engineering-economics institute (registered with №14). Address: 180100, Uzbekistan, Karshi city, Mustakillik street, 225. Karshi engineering-economics institute. Phone: (+998 75) 224-02-89; Fax: (+998 75) 224-13-95, E-mail: qmii@qmii.uz)

Abstract of dissertation was sent on November, 22 2021.
(Register of the distribution protocol № 5 on November, 20 2021)

G.N. Uzakov
Chairman of the Scientific Council on
awarding of scientific degrees, DSc, prof.

X.A. Davlonov
Scientific secretary of the Scientific
Council on awarding of scientific degrees, PhD.

B. Urishev
Chairman of Scientific seminar under Scientific
Council on awarding of scientific degrees, DSc, prof.

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is to study the thermal and hydraulic processes in the internal channels of the light-absorbing panels of flat-plate solar water heating collectors of hot water supply systems.

The tasks of the research:

calculation and experimental research to determine the convective heat transfer coefficient in the internal channels of light-absorbing panels of flat-plate solar water heating collectors;

development of mathematical models depending on several parameters of the heat losses coefficient of the light-absorbing panel into the environment through the translucent coating of this type of collectors;

research of the formation regularities of the heat transfer coefficient from the elements of the light-absorbing panel of flat-plate solar water heating collectors to the heat transfer fluid circulating in its internal channels and determination of its value;

investigation and search for ways to intensify the processes of convective heat transfer in the internal channels of the light-absorbing panels of the studied collectors without a significant increase in their hydraulic resistance.

The object of the research is light-absorbing heat exchange panels having sheet-piped and parallelepiped shapes of flat-plate solar water heating collectors.

The scientific novelty of the research is as follows:

calculation expressions for determining the values of the convective heat transfer coefficient in the internal channels of the light-absorbing panels of flat-plate solar water-heating collectors are proposed and justified, taking into account the average temperature of the inner surface of the wall of the heat-removal channels of the light-absorbing panels, and a decrease in the specific heat capacity of this type collectors by 10,6% depending on the thermal conductivity of the material of the heat removal channel of the light-absorbing panels is determined;

a multiparametric mathematical model has been developed for determining the heat losses coefficient of light-absorbing panels of flat-plate solar water heating collectors through translucent coatings and approximating dependences for determining the heat losses coefficient with a degree of blackness in the ranges from 0,1 to 0,25 and from 0,80 to 0,90 with a relative error of $\pm 6\%$ have been obtained;

in the practice of thermal calculation and testing of flat-plate solar water heating collectors for the first time, the introduction of a new parameter is proposed – the heat transfer coefficient from the light-absorbing panel to the heat transfer fluid in its internal heat-removal channels, reduced to a unit of the area of the frontal surface of their housings, depending on the laminar-viscous mode of the heat transfer fluid in the heat-removal channels of their light-absorbing panels;

the value of the coefficient of hydraulic resistance of the light-absorbing panel of flat-plate solar water heating collectors with laminar flow of the heat transfer fluid in their heat-removing channels with the use of ribbon swirlers is determined.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained on the study of intrapanel thermal and hydraulic processes in flat-plate solar water heating collectors:

developed and implemented UzDSt ISO 9806:2020 (ISO 9806:2017, MOD) "Nonconventional energy. Solar energy. Solar collectors. Test methods" (Reference of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan No. 03-13-5008 dated September 22, 2021 and Reference of the Institute of Standards No. 06/2333 dated September 22, 2021). As a result, there was created the thermohydraulic test bench, which allows testing of this type collectors quickly and with high accuracy, and also contributes to the creation of a laboratory for their certification;

The "Solar-fuel hot water supply system" (FAP 01052) was developed and implemented (Letter from Uzeltehsanoat No. 04-1/2356 dated December 16, 2020). As a result, there was created the possibility of saving more than 60% of primary fuel and energy resources consumed in hot water supply systems of residential, municipal and administrative facilities;

developed "Solar-fuel hot water supply system" (FAP 01052), "Program for calculating the dependence of the heat losses coefficient of light-absorbing heat exchange panels of flat-plate solar collectors through translucent coatings into the environment on their degree of blackness" (DGU 05627), "Solar energy: Terms and definitions" UzDSt 3210:2017 (Reference of the Ministry of Higher and Secondary Special Education of the Republic of Uzbekistan No. 89-03-5137 dated September 12, 2020). As a result, there was achieved high-quality lectures, practical and laboratory classes of subjects in the specialty of the direction "Non-traditional energy sources" (for bachelor's and master's degrees) of the Tashkent State Technical University.

Approbation of the research results. The main results of research were discussed at 8 international and 5 republican scientific and practical conferences.

Publication of the research results. The main results on the topic of the PhD thesis were published in 28 scientific publications, including 1 monograph, 2 normative documents (State Standards of the Republic of Uzbekistan), 10 scientific manuscripts, including 2 in republican and 8 in foreign publications (included in the Scopus database) recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of PhD thesis.

The structure and scope of the PhD thesis. The PhD thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of published works, a list of references and annexes, presented on 117 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть, I part)

1. Авезова Н.Р., Авезов Р.Р., Вохидов А.У., Рахимов Э.Ю. Плоский солнечный коллектор: процессы теплового преобразования солнечной энергии и оптимизация их основных параметров для использования в системах горячего водоснабжения. – Узбекистан: Ташкент, Изд-во «Voriz-Nashriyot», 2020. – 204 с.
2. Авезова Н.Р., Авезов Р.Р., Вохидов А.У., Куралов М.А., Хаитмухамедов А.Э., Усманов А.Ю., Рахимов Э.Ю. Коллекторы солнечные. Методы испытаний. – Ўзбекистон Республикаси Давлат стандарти. О'z DSt ISO 9806: 2020(ISO 9806:2017, MOD). – Утвержден и введен постановлением Агентства «Узстандарт» за № 05-1267 от 03.02.2021 г. – 51 с.
3. Вохидов А.У., Авезов Р.Р., Куралов М.А. Солнечная энергетика. Термины и определения. – Ўзбекистон Республикаси Давлат стандарти. О'zDSt 3210:2017. – Утвержден и введен постановлением Агентства «Узстандарт» за № 05-879 от 07.09.2017 г. – 25 с.
4. Avezov R.R., Vokhidov A.U., Ibragimov U.H., Usmanov A.Yu. Increasing the Convective Heat Transfer Coefficient Inside Heat Removal Channels of Sheet-Piped Light-Absorbing Panels of Flat-Plate Solar Collectors in the Laminar Flow Regime of Heat Transfer Fluid // Applied Solar Energy. – USA. 2020. – Vol.56, №2. – pp. 114-117 (05.00.00; №4. Springer, IF: 1.5).
5. Авезов Р.Р., Вохидов А.У., Рахимов Э.Ю., Куралов М.А. Моделирование процессов тепловых потерь в окружающую среду плоских солнечных водонагревательных коллекторов через светопрозрачные покрытия их корпусов. // Гелиотехника, Международный научный журнал. – Ташкент, изд. «Фан» АНРУз, 2019г. - Том 55, № 4 - стр. 63-72 (05.00.00; №1).
6. Avezova N.R., Avezov R.R., Vokhidov A.U., Rakhimov E.Yu., Gaziev U.Kh. Influence of ambient temperature, wind speed, emissivity and average working temperature light-absorbing heat-exchange panels of flat-plate solar water-heating collectors to their thermal losses through the translucent coating. // Applied Solar Energy. -USA. 2019. - Vol.55, №1. – pp. 30-35 (05.00.00; №4. Springer, IF: 1.3).
7. Avezov R.R., Vokhidov A.U., Usmonov N.O. Heat Transfer Coefficient from the Sheet-Piped Light-Absorbing Panels of the Flat-Plate Solar Water-Heating Collectors to the Heat Transfer Fluid in Their Heat-Removing Channels. // Applied Solar Energy. - USA.2018.- Vol.54, №5.-pp.168-172 (05.00.00; №4. Springer, IF: 0.81).
8. Авезов Р.Р., Вохидов А.У., Рахимов Э.Ю. Влияние излучательной способности зачерненной поверхности лучепоглощающей панели плоских солнечных коллекторов на коэффициент теплообмена в замкнутой воздушной прослойке их корпусов // Гелиотехника. 2018. - Том 54, № 5 - стр. 73-77 (05.00.00; №4).
9. Avezov R.R., Avezova N.R., Rakhimov E.Yu., Vokhidov A.U. Determination of the Convective Heat-Exchange Coefficient in Inner Channels of Light-Absorbing Heat-

Exchange Panels of Flat-Plate Solar Water-Heating Collectors Based on the Results of Their Short-Term Thermal Testing in Full-Scale Conditions. // Applied Solar Energy. – USA. 2018. - Vol. 54, №1. – pp. 10–16 (05.00.00; №4. Springer, IF: 0.81).

10. Avezova N.R., Avezov R.R., Rustamov N.T., Suleimanov Sh.I., Vakhidov A.U. Resource indexes of flat solar water-heating collectors in hot-water supply systems: 4. Specific collector thermal yield and efficiency. // Applied Solar Energy. – USA. 2013. - Vol. 49, №4. – pp. 202–210 (05.00.00; №4. Springer, IF: 0.81).

11. Avezova N.R., Avezov R.R., Suleimanov Sh.I., Vakhidov A.U. Resource indexes of flat solar water-heating collectors in hot-water-supply systems: Part 3. Source data for calculations that depend on the weight, size, and heat engineering characteristics of the collector and the optic properties of the translucent collector coating. // Applied Solar Energy. – USA. 2013. - Vol. 49, №3. – pp. 128-136 (05.00.00; №4. Springer, IF: 0.81).

12. Avezova N.R., Avezov R.R., Ruziev O.S., Suleymanov Sh.I., Vakhidov A.U. Resource Indices of Flat Solar Water Heating Collectors in Hot Water Supply Systems. Part 2. Source Data for Calculations (External Factors). // Applied Solar Energy. – USA. 2013. - Vol. 49, №2. – pp. 73-82 (05.00.00; №4. Springer, IF: 0.81).

13. Avezova N.R., Avezov R.R., Ruziev O.S., Suleimanov Sh.I., Vakhidov A.U. Longevity Characteristics of Flat Solar Water-Heating Collectors in Hot-Water-Supply Systems. Part 1. Procedure for Calculating Collector Heating Efficiency // Applied Solar Energy, 2013, Vol. 49, № 1, pp. 7-15 (05.00.00; №4. Springer, IF: 0.81).

II бўлим (II часть, II part)

14. Аvezов Р.Р., Вохидов А.У., Куралов М.А. Влияние частичного поглощения и преобразования в тепло солнечного излучения, проходящего через светопрозрачные покрытия плоских солнечных коллекторов, на их коэффициент тепловых потерь и тепловую эффективность. // Сборник трудов Республиканской научно-практической конференции «Возобновляемые источники энергии: научные исследования, инновационные технологии и разработки» - г. Карши, 16-17 октября 2020 г. – с. 5-9.

15. Вохидов А.У. Кратко о разработке стандарта Республики Узбекистан «Коллекторы солнечные. Методы испытаний». // Труды Международной конференции «Фундаментальные и прикладные основы физики» - г. Ташкент, 22-23 сентября 2020 г. – с. 189-193.

16. Аvezов Р.Р., Вохидов А.У. Анализ и обработка результатов вычислительного эксперимента по определению коэффициента тепловых потерь плоских солнечных коллекторов через светопрозрачные покрытия их корпусов. // Труды Международной научной конференции «Устойчивое развитие энергетики республики Беларусь: состояние и перспективы» - г. Минск, 1–4 октября 2020 г. – с. 126-130.

17. Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р., Рахимов Э.Ю., Вахидов А.У. Определение коэффициента конвективного теплообмена во внутренних каналах листотрубных лучепоглощающих панелей плоских солнечных

водонагревательных коллекторов по результатам их теплового тестирования в натуральных условиях. //Материалы Международного научно-практического семинара «Разработка магистерской программы в области возобновляемых источников энергии и устойчивой окружающей среды». ГулДУ, Гулистан. 26-28 марта 2019 г. – с. 72-75.

18. Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р., Воxидов А.У., Рахимов Э.Ю. К определению влияния температуры наружного воздуха, скорости ветра, излучательной способности и среднерабочей температуры лучепоглощающей теплообменной панели плоских солнечных водонагревательных коллекторов на их тепловые потери через светопрозрачные покрытия. // Труды Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019». г. Севастополь, 23–26 сентября 2019 г. – с. 93-99.

19. Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р., Воxидов А.У., Рахимов Э.Ю. Аппроксимационные зависимости для определения коэффициента тепловых потерь солнечных водонагревательных коллекторов через светопрозрачные покрытия их корпусов. // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Физика возобновляемых источников энергии и устойчивой окружающей среды», КарГУ, г. Карши, 24-25 апрель, 2019 г.-с. 203-204.

20. Avezova N.R., Khaitmukhamedov A.E., Vokhidov A.U. Uzbekistan renewable energy short overview: programs and prospects. // INESEG 2017 International engineering conference – Antalya, Turkey. 19-21 October 2017 – pp. 298-301.

21. Воxидов А.У., Куралов М.А., Абдухамидов Д.У. Состояние и перспективы развития систем теплоснабжения Республики Узбекистан. // Материалы Республиканской конференции «Мукобил энергия манбаларидан фойдаланишда энергия тежамкорлик муаммолари», КарГУ, Карши, 2017 год. – с. 234-235.

22. Avezova N.R., Saitov E.B., Vokhidov A.U., Kuralov M.A., Abdukhamidov D.U. Solar heat supply systems in the Republic of Uzbekistan. // Proceedings of the International Symposium “New Tendencies of Developing Fundamental and Applied Physics: Problems, Achievements, Prospectives”. – Tashkent. November 10-11, 2016. pp. 287-289.

23. Аvezова Н.Р., Аvezов Р.Р., Усманов А.Ю., Воxидов А.У., Рахимов Э.Ю. Влияние частичного поглощения солнечного излучения в светопрозрачных покрытиях корпуса плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя на температуру их лучепоглощающих теплообменных панелей. // Материалы Республиканской научно-практической конференции “Возобновляемые источники энергии: технологии и установки”, Институт материаловедения НПО “Физика-Солнце” АН РУз, 14-15 июня 2016г.– с. 14-16.

24. Воxидов А.У., Болиев Б.Б., Куралов М.А. Солнечно-топливная система горячего водоснабжения для типовых домов сельской местности Республики Узбекистан. // Материалы Республиканской научно-практической конференции “Возобновляемые источники энергии: технологии и установки”, Институт материаловедения НПО “Физика-Солнце” АН РУз, 14-15 июня 2016г. – с.29-32.

25. Аvezова Н.Р., Хаитмухамедов А.Э., Воxидов А.У., Турапова Д. Развитие солнечной энергетики в Республике Узбекистан. // Материалы Международного

Конгресса «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность» Россия, г. Москва 27-28 октября 2015 г. - с.20-24.

26. Авезова Н.Р., Авезов Р.Р., Рустамов Н.Т., Исаков А.Ж., Сулейманов Ш.И., Вахидов А.У. Техничко-экономические показатели плоских солнечных водонагревательных коллекторов в системах горячего водоснабжения // Труды Международной конференции, посвященной 70-летию Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». – ФТИ АН РУз., Ташкент, 2013г. – с. 293-295.

27. Патент на полезную модель № FAP 01052 от 24.07.2014. «Солнечно - топливная система горячего водоснабжения». Авторы: Авезова Н.Р., Бугаков А.Г., Вохидов А.У. // Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности РУз. № 12. 2015. – с. 71-72.

28. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ: Гувохнома № DGU 05627 от 16.08.2018. «Программа для расчета зависимости коэффициента тепловых потерь лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов через светопрозрачные покрытия в окружающую среду от их степени черноты». Авторы: Авезов Р.Р., Рахимов Э.Ю., Вохидов А.У. // Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности РУз. № 10. 2018. – с. 150.

Автореферат «Инновацион технологиялар» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва унинг ўзбек, рус ва инглиз (резюме) тилларидаги матнлари мослиги текширилди (17.11.2021 й)

Босишга рухсат этилди: 18.11.2021 йил
Бичими 60x45 ¹/₈, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 3,0. Адади: 100.
Буюртма: № 54.

ҚарМИ «INTELLEKT» ташрётти МИУ да чоп этилган.
Қарши шаҳри, Мустақиллик кўчаси, 225-уй.

