

**ТОШКЕНТ АРХИТЕКТУРА-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.26/30.12.2019.Т.11.01 РАҚАМЛИ
ИЛМЙ КЕНГАШ АСОСИДАГИ БИР МАРТАЛИК ИЛМЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ АРХИТЕКТУРА-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ

РАШИДОВ ЮСУФ КАРИМОВИЧ

**ЎЗ-ЎЗИНИ ТАРТИБГА СОЛУВЧИ ФАОЛ ЭЛЕМЕНТЛАРДАН
ФОЙДАЛАНИШ ОРҚАЛИ ҚУЁШЛИ ИССИҚЛИК ТАЪМИНОТИ
ТИЗИМЛАРИНИНГ САМАРАДОРЛИГИ ВА ИШОНЧЛИЛИГИНИ
ОШИРИШ**

**05.09.03 – Иссиқлик таъминоти. Вентиляция, кондиционерлаш. Газ таъминоти
ва ёритиш**

**Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2020

Докторлик (Doctor of Science) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской (Doctor of Science) диссертации

Contents of the Doctoral (DSc) Dissertation Abstract

Рашидов Юсуф Каримович

Ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардан фойдаланиш орқали қуёшли
иссиқлик таъминоти тизимларининг самарадорлиги ва ишончлилигини
ошириш.....3

Рашидов Юсуф Каримович

Повышение эффективности и надёжности систем солнечного
теплоснабжения на основе применения саморегулируемых активных
элементов.....28

Rashidov Yusuf Karimovich

Increasing the efficiency and reliability of solar heat supply systems by using self-
regulating active elements.....53

Эълон қилинган ишлар руйхати

Список опубликованных работ
List of published works.....57

**ТОШКЕНТ АРХИТЕКТУРА-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.26/30.12.2019.Т.11.01 РАҚАМЛИ
ИЛМЙ КЕНГАШ АСОСИДАГИ БИР МАРТАЛИК ИЛМЙ КЕНГАШ**
ТОШКЕНТ АРХИТЕКТУРА-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ

РАШИДОВ ЮСУФ КАРИМОВИЧ

**ЎЗ-ЎЗИНИ ТАРТИБГА СОЛУВЧИ ФАОЛ ЭЛЕМЕНТЛАРДАН
ФЙДАЛАНИШ ОРҚАЛИ ҚУЁШЛИ ИССИҚЛИК ТАЪМИНОТИ
ТИЗИМЛАРИНИНГ САМАРАДОРЛИГИ ВА ИШОНЧЛИЛИГИНИ
ОШИРИШ**

**05.09.03 – Иссиқлик таъминоти. Вентиляция, кондиционерлаш. Газ таъминоти
ва ёритиш**

**Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2020

Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2020.3.DSc/T91 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент архитектура-қурилиш институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасига (www.taqi.uz) ва “ZiyoNet” Ахборот-таълим порталига (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Расмий оппонентлар: Узоқов Фулом Норбоевич,
техника фанлари доктори, профессор;
Бобоев Собиржон Мурадуллаевич,
техника фанлари доктори, профессор;
Аббасов Ёркин Садыкович,
техника фанлари доктори, доцент

Етакчи ташкилот: Наманган муҳандислик-қурилиш институти

Диссертацияси ҳимояси Тошкент архитектура-қурилиш институти ҳузуридаги DSc.26/30.12.2019.T.11.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «__» декабр соат да Архитектура факультетининг мажлислар залида бўлиб ўтади.. (Манзил: 100011, Тошкент ш., Абдулла Қодирий кўчаси, 7в-уй. Тел.: (+99871) 241-10-84; факс: (+99871) 241-80-00, e-mail: taqi_atm@edu.uz).

Диссертацияси билан Тошкент архитектура - қурилиш институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100084, Тошкент ш., Кичик Халқа йўли кўчаси, 7-уй. Тел.: (+99871) 244-63-30; факс: (+99871) 241-15-11, e-mail: taqi_atm@edu.uz).

Диссертация автореферати 2020 йил «__» _____да тарқатилди.
(2020 йил «__» _____даги _____ рақамли реестр баённомаси).

Х.А. Ақромов,
Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий
кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

Х.Х. Камилов,
Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий
кенгаш илмий котиби, т.ф.д., профессор

С.А. Ходжаев,
Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (докторлик диссертацияси (DSc) аннотацияси)

Диссертация мавзусининг зарурати ва долзарблиги. Жаҳонда қуёш энергиясидан кенг миқёсда амалий фойдаланишнинг энг устувор йўналишларидан бири - қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларидир. Ривожланган мамлакатларда, жумладан АҚШ, Австралия, Хитой, Россия каби давлатларда қуёш энергиясидан фойдаланиш соҳасидаги илмий тадқиқотларда юқори иқтисодий самарадорликка эга ва содда қуёш коллекторлари ва тизимларини яратиш, уларнинг нархи ва улардан фойдаланиш вақтидаги сарф харажатларни пасайтириш масалалари етакчи ўрин эгалламоқда. Бу борада ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардан фойдаланишга асосланган қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларининг самарадорлиги ва ишончлилигини ошириш муҳим аҳамият касб этади.

Жаҳоннинг етакчи илмий марказларида қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларини такомиллаштиришга, жумладан, ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардан фойдаланиш орқали янги усулларни яратишга қаратилган илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, жумладан қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимлари ва унинг элементлари, масалан, қуёш коллектори, иссиқлик аккумулятори, гелиоконтур ва иссиқлик истеъмолчининг контуридаги иссиқлик ва гидравлик жараёнларни моделлаштириш, тизимнинг иш параметрларини оптималлаштириш, уни ҳисоблаш ва бошқариш усулларини такомиллаштириш, иссиқлик ташувчисини ҳарорат потенциалини йўқолишини минималлаштириш талабларини белгилашга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу йўналишда, қуёш энергиясини ностационар келиши ва тарқалиши шароитида иссиқлик ташувчисини энергия ва масса оқимларининг ғалаёнлигини сезадиган ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардан фойдаланиш асосида қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларининг самарадорлиги ва ишончлилигини ошириш муҳим аҳамият касб этади.

Республикамизда қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш учун энергия тежамкор технологияларни жорий этиш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...яқин келажакда устувор вазифа сифатида иқтисодиётнинг энергия ва ресурс сифимларини қисқартириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий қилиш, қайта тикланувчан энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш ...» вазифалари белгиланган¹. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан, ясси қуёш коллекторларининг иссиқ сув таъминоти тизимларида фойдаланиш самарадорлигини ошириш, уларнинг асосий параметрларини оптималлаштириш, қуёш энергиясини иссиқликка айлантириш жараёнларини

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

моделлаштириш ечимларини ишлаб чиқиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

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

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

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи¹.

Қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларининг самарадорлиги ва ишончлилигини ошириш назарияси ва амалиётини ривожлантиришга қаратилган илмий тадқиқотлар дунёнинг кўплаб илмий марказларида, хусусан, Висконсин университетида (АҚШ), Қуёш технологиялари институтида (Швейцария), Қуёш энергияси миллий марказида (Хиндистон), Хитой Фанлар академиясининг Энергетик тадқиқотлари институтида (Хитой Халқ Республикаси), АҚШ миллий стандартлар бюросида (АҚШ), Россия Фанлар академиясининг Бирлашган юқори хароратлар институтида (Россия Федерацияси), “МЭИ” Миллий тадқиқот университетида (Россия Федерацияси), Туркменистон Фанлар академиясининг “ГУН” ИИЧБсида (Туркменистон Республикаси), Ўзбекистон Республикаси Фанлар кадемиясининг “Физика-Қуёш” ИИЧБсида (Ўзбекистон Республикаси), АЖ ToshuyjoyLITI (собик “ТашЗНИИЭП”, Ўзбекистон Республикаси) ва Тошкент архитектура-қурилиш институтида (Ўзбекистон Республикаси) кенг миқёсларда олиб борилмоқда.

Ясси коллекторларда қуёш энергиясини иссиқликка айлантириш, уни иссиқлик аккумуляторларида тўплаш ҳамда иссиқ сув таъминоти ва иситиш тизимларида фойланиш учун дублёр манбалар билан ишлаш параметрларини танлаш бўйича бажарилган тадқиқотлар асосида дунё миқёсда бир қатор долзарб муаммолар ечилган ва қуйидаги муҳим илмий натижаларга эришилган, жумладан: қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимлари ва қайта тикланувчан энергия манбаларини динамик моделлаштириш дастурларини яратиш борасидаги ҳисобий-назарий ва

¹Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи: <http://www.iea-shc.org>; <http://www.ren21.net>; <https://www.sciencedirect.com/>, <https://www.researchgate.net/>, <https://www.scientific.net/>, <https://www.academia.edu/>, <https://www.elsevier.com/> ва бошқа манбалар асосида бажарилган.

тажрибавий изланишлар асосида қуёш коллекторларини қишда иссиқлик ташувчисини музлатишдан ва йилнинг ёзги даврларида хаддан ташқари қизиб китишдан ҳимоя қилиш усуллари, бир ва кўп секцияли сув аккумуляторларида юқори самарали стратификация қилинган иссиқлик сақлаш усуллари, насосли циркуляцияда қуёш коллекторлари майдонидаги иссиқлик ташувчисини бир текис тақсимланишини таъминлаш усуллари, термосифон ва насосли циркуляциясига эга қуёш коллекторларида иссиқлик ташувчисини бир ва кўп марта қиздириш усуллари (Висконсин университети, АҚШ; Қуёш технологиялари институти, Швейшария; Қуёш энергияси миллий маркази, Хиндистон); ясси қуёш коллекторлари ва қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимлари, автоном ва комбинациялашган иссиқ сув таъминоти тизимларининг намуналари яратилди ва асосий иссиқлик техникавий кўрсаткичлари аниқланди (АҚШ миллий стандартлар бюроси, АҚШ; Россия Фанлар академиясининг Бирлашган юқори ҳароратлар институти, Россия Федерацияси; Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Физика-техника институти, Ўзбекистон).

Ҳозирги кунда дунёда қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларининг самарадорлиги ва ишончилигини ошириш борасида илмий тадқиқотлар қуйидаги устувор йўналишлар бўйича олиб борилмоқда: қуёшли иссиқ сув таъминоти ва иситиш учун оддий, иқтисодий ва ишончли воситаларни ишлаб чиқиш, қуёш коллекторларини максимал самарадорликка эга бўлган қулай ишлаш шароитларни яратиш ҳамда уларнинг асосий иш параметрларини оптималлаштириш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Бугунги кунга қадар қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларининг самарадорлиги ва ишончилигини ошириш муаммоси Қайта тикланадиган энергия манбалари миллий лабораториясида (NREL, АҚШ), Иссиқлик энергияси технологиялари институтида, Кассел университетида (Uni Kassel, Германия) ва бошқа кўплаб илмий марказларда ўрганилмоқда. Ҳозирги вақтда янги технологиялар ёрдамида қуёш иситиш тизимларининг самарадорлиги ва ишончилигини ошириш бўйича тадқиқотлар FiveStar (КРН), Viessmann (Германия) ва GREEN one TEC (Австрия) да олиб борилган.

Яқин кўшни давлатларда бир қатор академик, илмий- тадқиқот ва лойиҳалаш институтлари, шунингдек ишлаб чиқариш ташкилотлари қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларини ишлаб чиқиш ва амалиётга татбиқ этиш билан шағулланмоқда. Улар орасида Россия Фанлар академиясининг Бирлашган юқори ҳароратлар институти, МЭИ Миллий тадқиқот университети ва Г.М. Кржижановский номидаги Энергетика институти (ЭНИН, Россия Федерацияси), Киев миллий қурилиш ва архитектура университети ва КиевЗНИИЭП институти (Украина), ТбилЗНИИЭП институти (Грузия) ва бошқалар бор. Қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларини яратиш ва самарадорлигини ошириш соҳасида илмий тадқиқотлар Б.В. Тарнижевский, О.С. Попел, В.И. Виссарионов, Б.И. Казанджан ва В.А. Бутузов (Россия Федерацияси), М.Д.Рабинович, А.Р.Ферт ва Н.В. Харченко (Украина), Н.В. Меладзе

(Грузия), Р.Б. Байрамов ва А.Д. Ушакова (Туркменистон Республикаси), А.И. Исманжанов (Қирғизистон Республикаси), Р.А. Захидов, Р.Р. Авезов ва Е.А. Насоновлар (Ўзбекистон Республикаси) раҳбарлигида бажарилган.

Амалга оширилган ишларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, классик мувозанат термодинамикаси асосида қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларини яратишга анъанавий ёндашув ҳали ҳам қўлланилади, бу эса мувозанат бўлмаган жараёнларни ва қуёш энергияси тарқалишида гелиотизим элементларида содир бўладиган динамик таъсирларни ҳисобга олмаган ҳолда физик ҳодисаларнинг соддалаштирилган тавсифини назарда тутди. Гелиотизимларининг самарадорлиги ва ишончилигини оширишда синергетик эффектларни ҳисобга олиш масалаларига етарлича эътибор берилмаган, уларнинг асосида эса ўзини ташкил қилиш ва ўз-ўзини тартибга солиш жараёнида, ночизиқли ва мувозанатсиз термодинамиканинг замонавий концепцияларига биноан, энергия ва масса оқимида эга бўлган кучли мувозанатсиз очиқ тизимларда маълум (критик) шароитларда ўз-ўзидан пайдо бўладиган эффектлар ҳисобига қуёш иссиқлик таъминоти тизимнинг берилган режимини автоматик равишда таъминлайдиган хатти ҳаракатларига таъсир кўрсатиши мумкинлиги эътиборга олинмаган. Ушбу тадқиқотларда ўз-ўзини тартибга солувчи иссиқлик ва гидродинамик жараёнлардан самарали фойдаланиш ва ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларни яратишга асосланган самарадорлиги ва ишончилиги юқори бўлган қуёш энергиясида ишловчи оддий иссиқлик таъминоти тизимларини ривожлантиришга қаратилган муаммолар ўз ечимини топмаган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент архитектура қурилиш институти илмий тадқиқот ишлари режасининг А-12-001 “Созланувчи ясси концентраторлари ва аккумулятор бакида горизонтал хароратли табақаланиши билан юқори самарали қуёш электр энергиси модул типидagi иссиқ сув таъминоти тизимини ишлаб чиқиш” (2006-2008). ва БВ-М-ФЗ-003 “Иссиқлик таъминоти тизимларида қуёш иссиқлик энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш йўллари илмий асослаш ва излаш” (2017-2020) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардан фойдаланиш асосида самарадорлиги ва ишончилиги юқори бўлган қуёш энергиясида ишловчи оддий иссиқлик таъминоти тизимларини яратиш ва лойиҳалашнинг назарий ва экспериментал асосларини ривожлантиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларни қўллашга асосланган қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларининг самарадорлиги ва ишончилигини оширишнинг муқобил усулини ишлаб чиқиш;

қуёш коллекторларини музлашдан химоя қилиш, иссиқликни стратификацияли аккумуляция қилиш ва иссиқлик ташувчисининг иситиш

хароратини ростлаш учун ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларнинг принципиал схемалари ва конструкцияларини ишлаб чиқиш;

янги ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларда оқиб ўтадиган физик ходисалар ва термогидродинамик конунларини ўрганиш, уларнинг гидравлик ва энергетик кўрсаткичларини аниқлаш;

ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларнинг физик-математик моделларини яратиш ва уларни экспериментал маълумотларга мослигини текшириш;

ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларни оқилона лойиҳалаш учун зарур бўлган асосий мезон ва ҳисоблаш формулаларини аниқлаш;

яратилган ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлар асосида иссиқлик таъминоти тизимларининг схемаларини ишлаб чиқиш ва улардан қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларида фойдаланишнинг ўзига ҳосликларини аниқлаш;

ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлар ва улар асосида қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларини ҳисоблаш учун муҳандислик усулларини яратиш, ушбу қурилмалардан фойдаланишнинг энергия смардорлигини баҳолаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатитда ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларга эга бўлган қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимлари олинган.

Тадқиқотнинг предметини қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларининг ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларида содир бўладиган иссиқлик ва гидродинамик жараёнларнинг қонуниятлари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида мувозанатсиз термодинамика, иссиқлик ва масса алмашилиш назарияси, гидродинамика, физик-математик моделлаштириш ва эксперимент, ўхшашлик назарияси ва ўлчам бирликларни таҳлил қилиш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги куйидагилардан иборат:

ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардан фойдаланиш асосида қуёшли иссиқлик таъминоти тизимларида содир бўладиган ўз-ўзини тартибга солувчи иссиқлик ва гидродинамик жараёнларнинг самарадорлиги ва ишончилигини оширишнинг муқобил усули ишлаб чиқилган;

гелиотизимларида ўзи-ўзини бошқариш эффектлари пайдо бўлишини ҳисобга олган ҳолда ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларни яратишнинг илмий ва муҳандислик асослари ишлаб чиқилган;

мувозанатсиз иссиқлик ва гидродинамик жараёнларни ҳисобга олган ҳолда фаол элементларда содир бўладиган бистабиллик ва бифуркация шартлари аниқланган,

Вентури қузури шаклидаги ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементга эга бўлган ўз-ўзини дренаж қиладиган гелиоконтурининг гидродинамик қонуниятлари аниқланган;

перфорация қилинган сув тақсимлаш ва сув қабул қилиш коллекторлари учун Архимед кучларининг ҳаракатини ҳисобга олган ҳолда ўз-ўзини

тартибга солувчи фаол элементларнинг физикавий-математик модели ишлаб чиқилган;

ўз-ўзини тартибга солувчи термосифонли гелиоконтур фаол элементининг геометрик ўлчамини қуёш радиацияси, ташқи муҳит ҳарорати, қуёш коллекторининг турига боғлиқлигини ифодаловчи физикавий-математик модели ишлаб чиқилган;

ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлар ва улар асосида қуёш иссиқлик таъминоти тизимларини муҳандислик ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

анъанавий ўз-ўзини дренаж қиладиган гелиоконтурга нисбатан иссиқлик ташувчисини қиркуляция қилиш учун сарфланадиган энергия миқдорини 65-80 фоизгача камайтиришга имкон берадиган Вентури қузури шаклидаги фаол элементли ўз-ўзини дренаж қиладиган гелиоконтурлар ишлаб чиқилган;

ўз-ўзини дренаж қиладиган гелиоқурилмалар учун гелиоколлекторларнинг конструкциялари ишлаб чиқилган (UZ FAP 01472, UZ FAP 01490, UZ FAP 01504 рақамли патентлар);

сувнинг барқарор ҳароратли табақаланиши таъминланганлиги ҳисобига қуёш энергиясидан фойдаланиш самарадорлиги 15-20 фоизгача оширилган фаол элементли бир секцияли ўз-ўзини тартибга солувчи иссиқлик аккумуляторларнинг конструкциялари ишлаб чиқилган;

автоном иссиқ сув таъминоти гелиоқурилмалари учун фаол элементлар ёрдамида истеъмолга олинадиган иссиқ сувнинг доимий ҳароратини таъминлайдиган ва уларнинг фойдаланишга тайёргарлигини 1,5-2 соатга оширадиган ўз-ўзини тартибга солувчи термосифон гелиоконтурнинг конструкциялари ишлаб чиқилган;

лойиҳалаш ташкилотлар, конструкторлик бюрolari ва тажрибавий-ишлаб чиқариш корхоналарда, шунингдек олий таълим муассаларининг мутахассисларининг ўқув жараёнида янги энергия самарали қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларини лойиҳалашда қўлланилиши мумкин бўлган ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлар ва улар асосида қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларини муҳандислик ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилган (ҚМҚ 2.04.16-18 ва Ўз РДС 744-96 га киритилган).

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик қурилмаларининг иссиқлик-техникавий параметрларини замонавий оптималлаштириш, иссиқлик ва гидродинамик моделлаштириш усулларида, ҳисоблаш техникаси ва ўлчов воситаларидан фойдаланилганлигига билан асосланади, ҳамда тадқиқот натижаларининг мазкур соҳада илгаридан маълум бўлган ечимлар билан таққосланиши ва уларнинг тадқиқотда таклиф қилинган умумий ифодалар ва ечимлардан хусусий ечим сифатида келиб чиқиши билан тасдиқланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки, қуёш коллекторларини

музлашдаш ҳимоя қилиш, иссиқликни юқори самарали стратификацияли сақлаш ва иссиқлик ташувчисини иситиш ҳароратини стабиллаштириш учун ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардаги термодинамик жараёнларнинг математик моделлари ишлаб чиқилган, изотермик бўлмаган суюқлик оқими ва қовушқоқлик қаршилиқ шароитида ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларни ҳисоблаш ва лойиҳалаш учун аналитик ва мезоний тенгламалари олинган, термодинамик асослар аниқланган ва қуёш иссиқлик таъминоти тизимларида стационар бўлмаган термодинамик жараёнлардан самарали фойдаланишни таъминлайдиган ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардан фойдаланишга асосланган қуёш энергиясида ишловчи иссиқлик таъминоти тизимларнинг самарадорлиги ва ишончилигини оширишнинг муқобил усули ишлаб чиқилган.

Олинган натижаларнинг амалий аҳамияти ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлар ва улар асосида қуёш иссиқлик таъминоти тизимларни ҳисоблаш учун муҳандислик усуллари ишлаб чиқишдан иборат. Илмий изланишлар натижалари анъанавий ечимлар билан таққослаганда гелиотизимларнинг энергия ва иқтисодий самарадорлиги ҳамда ишончилиги юқори даражада оширилган, кам материал сарфловчи, алоҳида элементлари ва қисмларнинг нархи пасайтирилган, ишлаши сезиларли даражада соддалаштирилган, энг оддий ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларнинг конструкциясини ишлаб чиқишга имкон беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардан фойдаланиш асосидаги қуёшли иссиқлик таъминоти тизимларнинг самарадорлиги ва ишончилигини ошириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

ишлаб чиқилган ўз-ўзини дренаж қилувчи гелиоқурилмалар, стратификацияли аккумуляторлар ва термосифон гелиоконтурларнинг фаол элементларини лойиҳалаш учун меърий хужжатларга ўзгартиришлар ва тавсиялар киритилган (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш вазирлигининг 27.07.2020 й. № 09-06/5892-сонли маълумотномаси). Натижада Ўзбекистон иқлимий шароитида самарадорлиги 30% гача оширилган оддий ва 20% гача арзонлаштирилган гелиоқурилмаларни лойиҳалаш учун норматив базасини яратишга эришилган;

қуёш энергиясида ишловчи иссиқ сув таъминоти қурилмалари учун янги энергия тежамкор ечимларни лойиҳалаш бўйича Қўлланма яратилган (КМК 2.04.16-2018 учун) (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш вазирлигининг 27.07.2020 й. № 09-06/5892-сонли маълумотномаси). Натижада амалда бажариладиган лойиҳаларнинг энергия самарадорлигини 30% гача оширишни таъминлашга имконини берган;

қуёш қурилмаси билан жиҳозланган бир хонадонли 6 хонали турар-жой биноси; гелиодуш; иссиқ сув тайёрлайдиган гелиогенераторлар, иссиқ сув тайёрлайдиган модуль турдаги автоном қуёш қурилмаларнинг тажрибавий лойиҳалари ишлаб чиқилган ва қурилган (“ToshuyjoyLITI” АЖнинг 23.10.2019 йилдаги маълумотномаси). Натижада қуёш коллекторларининг

умумий майдони 26 минг кв.м бўлган 1,5 мингдан ортиқ модулларни куришга эришилган;

иссиқ сув тайёрлайдиган гелиогенератор, гелиодушлар ҳамда "Шахсий турар-жой бинолари учун мавсумий қуёшли иссиқ сув таъминоти тизимларнинг техник ечимлари"нинг намунавий лойиҳалари ишлаб чиқилган ("ToshuyjoyLITI" АЖнинг 23.10.2019 йилдаги маълумотномаси). Натижада намунавий лойиҳалар амалиётга жорий этишга имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 22 та ҳалқаро ва 7 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 66 та илмий иш чоп этилган. Улардан 1 та монография, 62 та илмий мақола, шу жумладан, асосий диссертация натижаларини нашр этиш учун Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан тавсия этилган 10 та хорижий ва 23 та республика миқёсидаги журналларда, шунингдек, 3 та фойдали модел учун ЎзР ИМАнинг (FAP №01504, FAP № 01490, FAP № 01472) патентлари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш қисми, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар ва иловалардан иборат бўлиб, диссертациянинг ҳажми 208 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация тадқиқотларининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотларнинг мақсад ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, Ўзбекистон Республикасида фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги, тадқиқотларнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, шунингдек, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий қилинганлиги, чоп этилган илмий ишлар ва диссертациянинг тузилиши ва ҳажми бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг биринчи **“Иссиқлик таъминоти тизимларида қуёш иссиқлик энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш: жаҳон ва ички тажриба”** номли бобида қуёшли иссиқлик таъминоти тизимларининг (ҚИТТ) ҳозирги ҳолати ва такомиллаштириш йўллари таҳлил қилинган ва ҚИТТ учун ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларни (ЎТСФЭ) тадқиқоти ва ишлаб чиқиш бўйича хорижий ва ички тажриба кўриб чиқилган.

ҚИТТ нинг ривожланиш ҳолати ва истиқболларини таҳлил қилиш, ЎТСФЭ дан фойдаланиш орқали турғун бўлмаган термогидравлик жараёнлардан самарали фойдаланишга асосланган мувозанатсиз термодинамика усуллари асосида уларни такомиллаштиришга янгича ёндашувни ишлаб чиқиш мумкинлигини кўрсатмоқда.

Бу қимматбаҳо электрон контроллерларсиз ҚИТТ ишини бошқаришга, оралиқ иссиқлик алмаштиргичларда ҳарорат потенциали йўқотилишини

камайтириш ҳисобига қуёш коллекторларини (ҚК) иссиқлик унумдорлигини оширишга, иссиқлик ташувчисини циркуляцияси учун электр энергия харажатларни камайтиришга, қуёш қурилмаларини конструктив ечимларини ва улардан фойдаланишни соддалаштиришга ҳамда қуёш тизимлари энергия самарадорлиги ва ишончлилигини оширишга ёрдам беради.

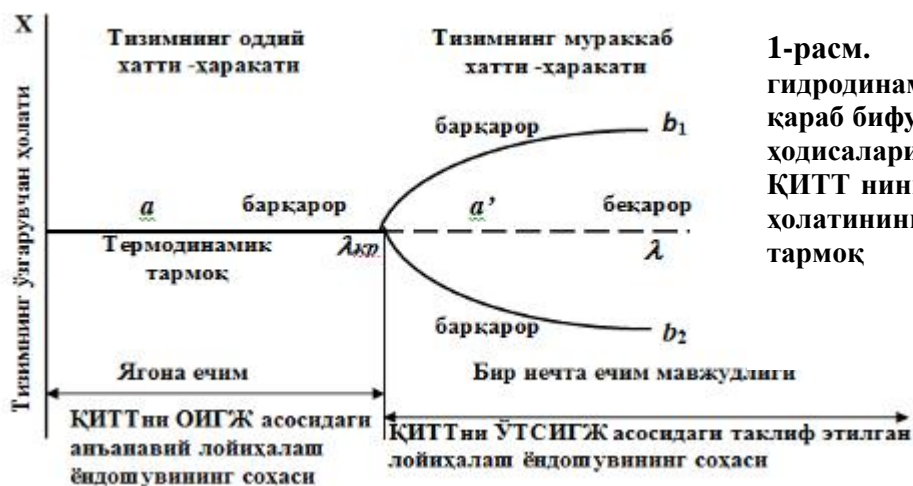
Ишчи гипотеза. Бу самарадорлиги ва ишончлилиги ошган оддий ҚИТТ ни ўз-ўзини тартибга солувчи иссиқлик ва гидравлик жараёнларнинг (ЎТСИГЖ) имкониятларини тўлиқ амалга оширадиган ЎТСФЭдан самарали фойдаланиш асосида яратиш эҳтимоли фараз қилинади.

Муаммони ҳал қилиш ҳолатини адабий ва патент манбаларини таҳлил қилиш натижасида диссертация тадқиқотининг мақсади ва вазифалари шакллантирилган.

Диссертациянинг **“Ўз-ўзини тартибга солувчи иссиқлик ва гидродинамик жараёнлар ёрдамида фаол элементлар асосида қуёшли иссиқлик таъминоти тизимларининг самарадорлиги ва ишончлилигини оширишнинг муқобил усулини ишлаб чиқиш”** деб номланган иккинчи бобида ҚИТТда ЎТСИГЖдан самарали фойдаланиш учун термодинамик асосларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар натижалари, ўз-ўзини тартибга солиш эффектларни вужудга келиш шартларини аниқлаш, уларнинг асосий хусусиятлари ва ишчи параметрлари топиш, шунингдек, ҚК музлашдан химоя қилиш, иссиқликни стратификацияли сақлаш, сувни қиздириш ҳароратини барқарорлаштириш, иссиқлик ташувчиси оқимини алоҳида ҚК ва ҚК майдонида бир теккисда тақсимлаш учун иссиқлик ташувчисини тезлиги ва зичлиги ўзгартиришида содир бўладиган бир ва икки фазали динамик эффектлардан фойдаланиш, ЎТСФЭни конструкциялаш тамойиллари келтирилган.

ЎТСИГЖ таснифи ва бошқарувчи гидродинамик параметри λ га қараб ҚИТТ оддий ва мураккаб хатти ҳаракатининг тавсифи келтирилган (1-расм), бунда λ ҳар бир аниқ ҳолатларда турли катталиклар кўринишида бўлиши мумкин: ҳарорат фарқи ΔT , тезлик фарқи Δv , Ричардсон мезони Ri ва бошқалар. Бошқарув λ термогидродинамик параметрнинг кичик қийматларида фақат a ягона ечими бўлиши мумкин, бу тизимнинг оддий термогидродинамик жараёнидаги динамик эффектлар бўлмаган ҳолатдаги оддий хатти-ҳаракатига мос келади. Гидродинамик параметрнинг маълум бир $\lambda_{кр}$ критик қийматидан ўтганда, тизимнинг ҳолати беқарор бўлади, чунки тебранишлар ёки кичик ташқи ғаланаёнишлар энди сўнмайди.

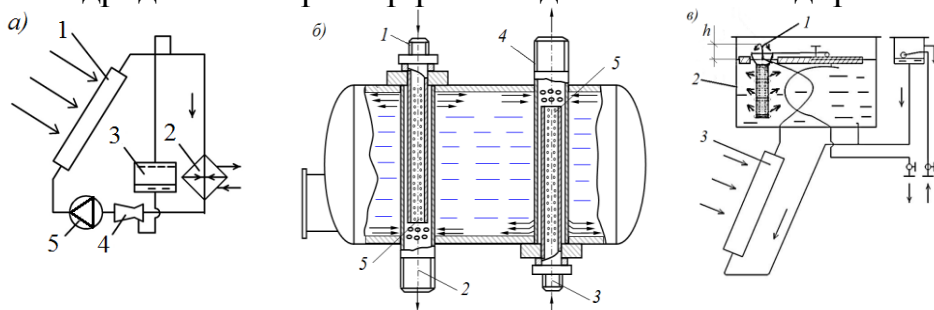
Тизим стандарт ҳолатдан четга чиқади ва $\lambda = \lambda_{кр}$ атрофида танқидий танловни амалга ошириб, янги b_1 ёки b_2 режимига ўтади. Ушбу режимларнинг иккаласи ҳам $\lambda = \lambda_{кр}$ бўлганда бирлашиб, $\lambda > \lambda_{кр}$ бўлганда эса ажралади. Бу ҳодиса бифуркация, икки барқарор ҳолатнинг мавжудлиги эса бистабиллик дейилади.



ЎТСИГЖни ЎТСФЭдаги мураккаб хатти-ҳаракатини тавсифлайдиган тенгламалар, тизимнинг оддий хатти-ҳаракатларини ягона ечим билан тавсифлайдиган тенгламалардан фарқли равишда, камида иккита ечимга эга бўлиши керак деган фундаментал хулоса қилинди (1-расмга қаранг).

Шу асосда ҚИТТ учун энг оддий ЎТСФЭлар шаклида яратилган янги ўз-ўзини тартибга солувчи қурилмаларнинг тавсифи ва уларнинг ишлаш усуллари келтирилган.

ҚК 1 ва иссиқлик алмашгич 2 ни ўз ичига олган ишлаб чиқилган ўз-ўзини дренаж қиладиган гелиоқурилманинг (ЎДҚГ) ўзига хос хусусияти дренаж резервуари 3 нинг Вентури қузури 4 кўринишидаги ЎТСФЭнинг торайган кесими орқали циркуляция қурурлар билан уланганлиги (2-расм, а) ва гидродинамик триггер режимида ишлаганлигидир.



2-расм. Ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлари бўлган ЎДҚГ (а), СИА (б) ва ЎТСТГ ларнинг (в) принципаал схемалари

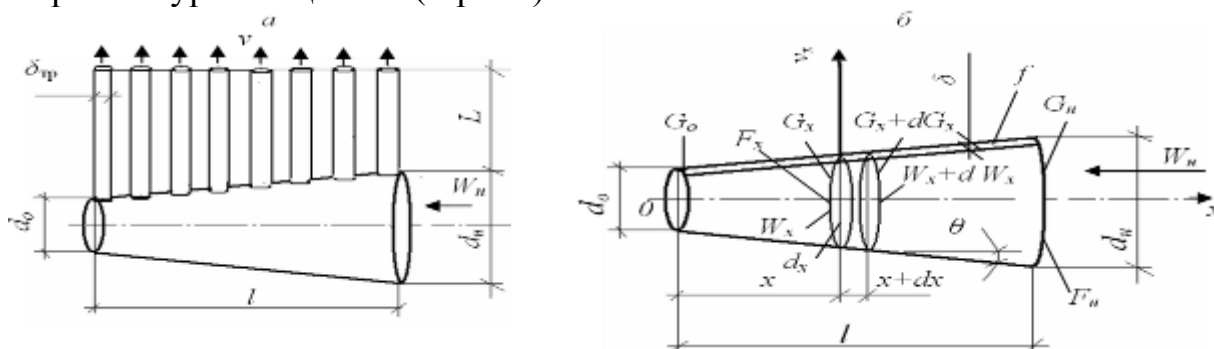
Бунинг натижасида насос 5 тўхтаганганда ҚК 1 дренаж қилинади, насос ишга тушурилганда эса, гелиоконтурда иссиқлик ташувчиси анъанавий баланд жойлашган кенгайиш идишли тизимга хос бўлган юқори гидростатик босими остида циркуляция қилади. Шу сабабли, маълум бўлган ЎДҚГларга нисбатан, дренаж резервуарининг уланиш нуктасида уларда йўқотиладиган иссиқлик ташувчисининг ортиқча гидростатик босимини енгиш учун энергия сарфлари бартараф қилинган.

Аккумуляторнинг зарядланиш ва разрядланиш контурларидан келадиган иситадиган ва иситиладиган иссиқлик ташувчиларини аралашиб кетишини олдини олувчи ўз-ўзини тартибга солувчи стратификацияли иссиқлик аккумуляторнинг (СИА) ишлаши, мажбурий циркуляция шароитида ҳажмий (архимед) кучлар таъсири остида бакдаги сувни табиий табақаланишига асосланган (2-расм, б). Бунинг учун тегишли ҳарорат қатламларига

суоқликни тарқатиш ва сўриб олишни таъминлаш шартларига кўра тешик майдонлари ҳисобланган иситадиган ва иситиладиган иссиқлик ташувчиларни узатиш 1, 3 ва қайтиш 2, 4 перфорация қилинган қувурлар шаклидаги ЎТСФЭ хизмат қилади. ЎТСФЭлар архимед кучлари таъсири остида иситадиган ва иситиладиган иссиқлик ташувчиларнинг ҳароратларига кўра икки барқарор ҳолатлари ўртасида биридан иккинчисига мустақил ўтиш ва иссиқлик триггери режимида ишлаш қобилиятига эгадир.

Ўз-ўзини тартибга солувчи термосифон гелиоконтурнинг (ЎТСТГ) ўзига хос хусусияти шундаки, гелиоконтур ҚКнинг чиқишидаги сув доимий ҳароратга эгадир. Бунинг учун тўғридан-тўғри оқимли ЎТСТГ (2-расм, в) очик бўлиб, аккумулятор 2 идишига иссиқ сувни узатувчи 1 қувурининг учи, h баландликда сув сатҳидан юқорироқ ўрнатилгандир. Гелиоконтурнинг гидравлик қаршилиги баландлиги h гидростатик устун ёрдамида оширилганлиги учун, қуёш радиацияси таъсирида 3 ҚКларида қизиган сув аккумулятор 2 идишига фақат керакли ҳароратга эга бўлгандан сўнг тушиши мумкин, бунда иссиқ сув ҳароратини ҳаволи гидравлик занжири шаклидаги ЎТСФЭ 1 қувурининг учини кўтариш ёки пасайтириш йўли билан созланиш мумкин.

Гидравлик коллектор шаклидаги ЎТСФЭли иссиқлик ташувчисининг оқимини бир текис тақсимлайдиган ҚКнинг уланиш конструкцияси ишлаб чиқилган. Бунинг учун узунлиги l , бошида диаметри d_n , охирида эса d_o , узунлиги бўйлаб бир қатор бир хил δ_{mp} диаметрли қўтарув қувурлар тўплами жойлашган, иссиқлик ташувчисининг сарфи G , бошида тезлиги W_n , сарф коэффициенти μ га тенг гидравлик конус каналидаги сув тарқсимлаш жараёни кўриб чиқилган (3-расм).



3-расм. Бир қаторли қўтарув трубалари тўплами (а) ва доимий δ кенгликдаги (б) шартли тирқишли конуссимон гидравлик каналнинг схемаси

Оқимнинг тақсимланиш жараёни дифференциал тенглама билан таърифланади:

Чегаравий шартлар:

$$\bar{G}_x'' \bar{G}_x' + \frac{\mu^2 \bar{f}^2}{\bar{F}_x^2} \bar{G}_x' \bar{G}_x' - \frac{\mu^2 \bar{f}^2}{\bar{F}_x^2} \left[\frac{\bar{F}_x'}{\bar{F}_x} + \frac{\lambda \bar{l}}{2 \bar{d}_x} \right] \bar{G}_x^2 = 0, \quad \left. \begin{array}{l} \bar{x} = 0 \quad \bar{G}_0 = 0 \\ \bar{x} = 1 \quad \bar{G}_H = 1 \end{array} \right\} \quad (1)$$

бу ерда $\bar{f} = \frac{f}{F_n} = \frac{\delta l}{F_n \cos \theta}$; $\bar{l} = \frac{l}{d}$; $\bar{d}_0 = \frac{d_0}{d_n}$; $\bar{d}_x = \frac{d_x}{d_n} = \frac{d_0 + 2x \operatorname{tg} \theta}{d_n} = \frac{d_0 + 2x \frac{d_n - d_0}{2l}}{d_n} = \bar{d}_0 + (1 - \bar{d}_0) \bar{x}$;

$$\bar{F}_x = \bar{d}_x^2 = [\bar{d}_0 + (1 - \bar{d}_0) \bar{x}]^2; \quad \bar{F}_x' = 2 [\bar{d}_0 + (1 - \bar{d}_0) \bar{x}] (1 - \bar{d}_0);$$

Дифференциал тенглама (1) ни интеграллаш сонли усулда бажарилди. Ҳисоблаш натижасида \bar{x} га боғлиқ ҳолда $\mu\bar{f}, \lambda\bar{l}$ ва \bar{d}_o катталикларнинг турли қийматларида оқим тақсимоотида берилган $r_{\bar{x}}$ нотекислик билан ҚҚ уланишини лойиҳалаш учун графиклар қурилди.

«Вентури қувури шаклидаги ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементли ўз-ўзини дренаж қиладиган гелиоқурилмани татқиқ этиш» деб номланган иккинчи бобида Вентури қувурли ЎДҚГдаги гидродинамиканинг ўзига хосликлари кўриб чиқилди. Бунда Вентури қувурини қўлланилиши ҳисобига ўз-ўзини дренаж қиладиган оддий контурга нисбатан оқимнинг узилиши билан боғлиқ бўлган гидростатик босим йўқолишини 65-80% гача камайиши кўрсатилган. Бундай гелиоконтурнинг энергия самарадорлиги насос ишлашига сарфланадиган нисбий $\Delta\bar{E}_B$ энергия тежалиши билан баҳоланди, бунинг учун диссертацияда қуйидаги ифода олинди

$$\Delta\bar{E}_B = \left[\left(\frac{D}{d} \right)^4 \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_2} \zeta_B \right) - 1 \right] \left[\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \left(\frac{D}{d} \right)^4 + \frac{1}{\alpha_2} \zeta_{npz} \right]^{-1}, \quad (2)$$

бу ерда D, d - Вентури қувурининг кенг ва тор кесимлардаги диаметри, м; α_1, α_2 - кенг ва тор кесимлардаги Кориолис коэффициентлари; ζ_B, ζ_{npz} - Вентури қувури ва гелиоконтурнинг маҳаллий қаршилик коэффициентлари.

Вентури қувурли ЎДҚГда ўтувчи гидродинамик жараёнлар учун тенглама олинди

$$\Delta p_{нас}^B = \begin{cases} \rho g H - (\alpha_1 F_1^{-2} - \alpha_2 F_2^{-2}) G^2 (2\rho)^{-1} + (S_c + S_B) G^2 & G \leq G^* \\ (S_c + S_B) G^2 & G \geq G^* \end{cases} \quad (3)$$

бунда $G = \rho F_2 W_2 = \rho F_1 W_1$; $S_c = A_c \left(\frac{\lambda}{D} l + \sum \zeta_c \right) = A_c \zeta_{npz}$; $S_B = A_B \zeta_B$; $A_c = \frac{16}{2\rho\pi^2 D^4}$;

$$A_B = \frac{16}{2\rho\pi^2 d^4}; F_1 = \frac{\pi d^2}{2}; F_2 = \frac{\pi D^2}{2}.$$

Вентури қувури шаклидаги ЎТСФЭли ЎДҚГни лойиҳалашнинг ўзига хосликларини аниқлаш учун ЎДҚГнинг гидродинамик режими қуйидаги ифода билан тавсифланди

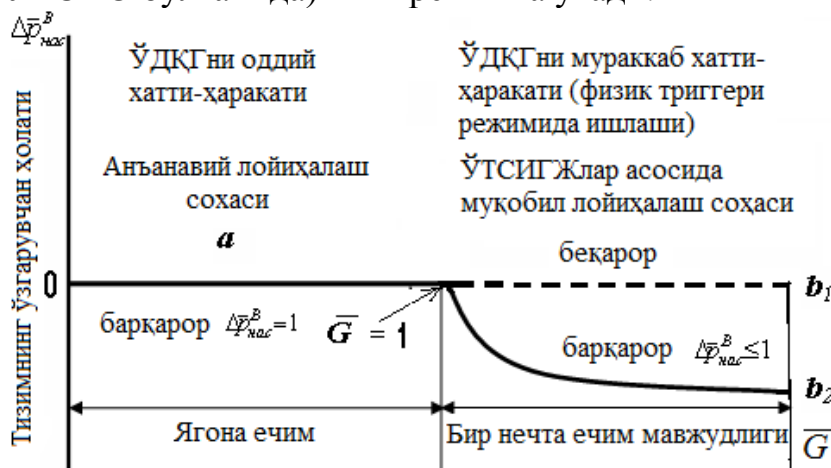
$$\Delta\bar{p}_{нас}^B = \begin{cases} 1 - \left[\left(\frac{D}{d} \right)^4 \left\{ 1 - a + a \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right\} - 1 \right] \left[\left(\frac{D}{d} \right)^4 + \zeta_{npz} \right]^{-1} & \text{для } \bar{G} \leq 1 \\ \left[\left(\frac{D}{d} \right)^4 \left\{ 1 - a + a \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right\} + \zeta_{npz} \right] \left[\left(\frac{D}{d} \right)^4 + \zeta \right]^{-1} & \text{для } \bar{G} \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

Тенглама (4) ночизикли мувозанатсиз термодинамиканинг замонавий тасавурлари нуқтаи назаридан таҳлил қилинди (4-расм).

4-расмдан кўриниб турибдики, бошқарувчи гидродинамик параметр G нинг 0 дан $G = 1$ гача бўлган кичик қийматларида ЎДҚГ нинг оддий харакатига мос келувчи фақат битта ечим (**a**) мавжуд. Бошқарувчи иссиқлик гидродинамик параметрнинг критик қиймати $\bar{G} = 1$ атрофида тизимнинг

ҳолати бекарор бўлиб қолади, чунки тебранишлар ёки кичик ташқи галаёнишлар бу ҳолатда сўнмайди.

Фаол элемент - Вентури қувурини мавжудлиги туфайли тизим кучайтиргич каби ҳаракатланади, стандарт ҳолатидан четлашади ва $\bar{G} = 1$ соҳасида критик танлов қилиб, яъни сарф критик $G=G^*$ тенг бўлганда, оқимнинг узулиши бўлган циркуляциясидан ($\bar{G} < 1$ бўлганда, чизик a , $\bar{G} \geq 1$ соҳасида ЎТСФЭ бўлмаганида b_1 чизиғи бўйича давом бўлар эди) оқимнинг узулиши бўлмаган циркуляцияли ($\bar{G} \geq 1$ бўлганда, чизик b_2 , $\bar{G} \geq 1$ соҳасида ЎТСФЭ бўлганида) янги режимга ўтади.



4-расм. ЎДҚГнинг барқарор ва бекарор ҳолатларнинг термодинамик тармоғи

Шундай қилиб, ЎДҚГнинг икки барқарор режими бор: ЎТСФЭни йўқлигида оқимнинг узулиши билан циркуляцияли ($\bar{G} < 1$ соҳасида) ва ЎТСФЭни борлигида оқимнинг узулиши бўлмаган циркуляцияли ($\bar{G} \geq 1$ соҳасида). Бу иккала режим $\bar{G} = 1$ (ёки $G=G^*$) бўлганда бирлашади ва $\bar{G} \geq 1$ бўлганда эса фарқ қилади.

Бинобарин, бифуркация ҳодисаси ҳамда иккита барқарор ҳолатнинг мавжудлиги, яъни бистативлик ЎДҚГга хосдир. Бифуркация натижасида ҳосил бўлган ечимлар ЎДҚГга Вентури қувури шаклидаги фаол элементларни киритилиши туфайли симметрия бузилиши билан характерланади. Тизимнинг $\Delta \bar{\mathcal{E}}_B$ энергия самарадорлигига сезиларли таъсирини Вентури қувурининг геометрик (D/d) ва гидродинамик (ζ_B) характеристикалари кўрсатади, гелиоконтурдаги гидростатик босимнинг тақсимланишини таҳлил қилиш натижасида унинг оптимал жойлашиши насоснинг ассимиляция қувури эканлиги аниқланди.

Вентури қувурининг геометрик ўлчамларини ҳисоблаш учун ифода олинди

$$\frac{D}{d} = \sqrt[4]{\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \left(1 + \frac{2gH}{\alpha_2 W_2^{*2}} \right)}. \quad (5)$$

бу ерда H – гелиоқурилманинг геометрик баландлиги, м; W - Вентури қувурининг кенг кесимлардаги сувнинг тезлиги, м/с.

ЎДҚГнинг Вентури қувуридаги оқимнинг геометрик ва гидродинамик характеристикалари стандарт торайтириш қурилмалари ва бошқа илгари ўрганилган конфуздор-диффузор ўтишлардаги оқим характеристикаларидан фарқи туфайли қовушоқлик қаршилик соҳаси учун оқим торайиши юқори

бўлган Вентури қувурлари синалди. Тажриба маълумотлари мезон шаклида қайта ишланди. Мезон тенгламасининг умумий шакли катталикларни таҳлил қилиш асосида олинди ва "π - теорема"сига мос келди.

Вентури қувурларининг синов натижалари асосида 2 дан 5 гача торайиш даражасига эга бўлган ўтишлар учун қуйидаги мезоний тенгламалар аниқлади:

$$\zeta_{кр} = 17,639 Re^{-0,464} \left(\frac{D}{d}\right)^{0,66} \left(\frac{\delta}{d}\right)^{0,09}; \quad (6) \quad \zeta_{np} = 8,046 Re^{-0,379} \left(\frac{D}{d}\right)^{0,70} \left(\frac{\delta}{d}\right)^{0,09}. \quad (7)$$

(6) ва (7) тенгламалар $Re = (0,25 \div 1,5) 10^5$; $D/d = 2 \div 5$; $\delta/d = 0,2 \div 0,6$; $l/d = 1$ бўлганда амал қилади.

Қаршилик характеристикалари усули асосида ўз-ўзини дренаж қилувчи гелиоконтурни гидравлик ҳисоблаш усули таклиф этилди.

ЎДҚГнинг нормал ишлаш режими гелиоконтур циркуляция насосларининг суткалик ишга тушиши ва тўхташи билан боғлиқ бўлиб, насосларнинг тезланиш ва тўхташ режимларида иссиқлик ташувчисини оқим тезлигининг кескин ўзгариши туфайли гидравлик зарба (ГЗ) билан содир бўлади.

Шу муносабат билан циркуляция насосларни ЎДҚГга нисбатан ишга тушириш ва тўхтатишда ГЗни ҳисоблаш усули ишлаб чиқилди. Насосни ЎДҚГда ишга тушириш ва тўхтатишда тўла бўлмаган ГЗ қийматини аниқлаш учун унинг геометрик ва иш параметрлари ва циркуляция насосининг кўсаткичларига қараб ифодалар олинди:

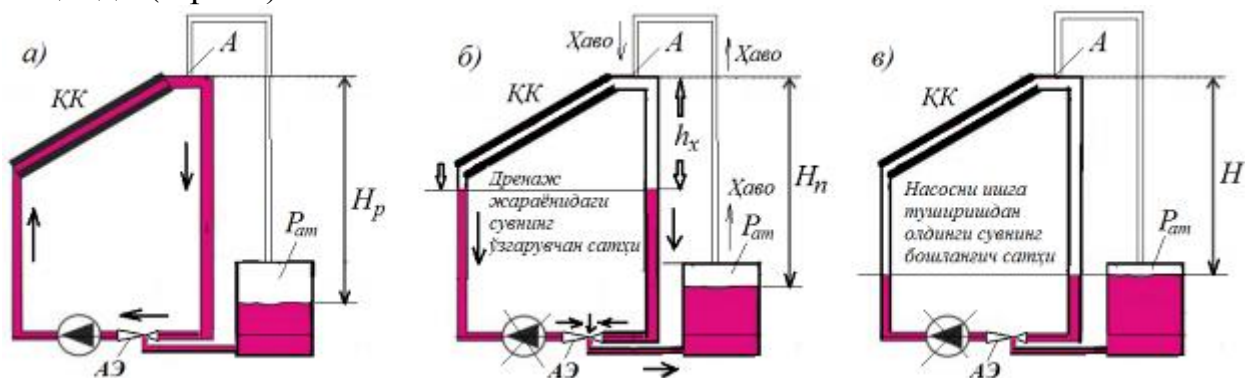
$$\text{- насос ишга туширилганда } \Delta h_{уд}^{пуск} = \frac{2L\Delta v_p}{gT_3} \quad (8); \quad \text{- насос тўхтаганда } \Delta h_{уд}^{ост} = \frac{2L\Delta v_D}{gT_3} \quad (9)$$

Насоснинг тўсатдан ўчирилиши оқибатида ГЗдаги оқимнинг узилиши юз берганда, босимнинг сакраши

$$h_{уд}^{ост.разрыв} = \frac{c}{g} v_2 + 3h_1, \quad (10)$$

бу ерда h_1 – тизимдаги сувнинг максимал сатҳи ва насоснинг ўрнатиш сатҳи ўртасидаги фарқи сифатида аниқланган статик босим.

ЎТСФЭлар ёрдамида ЎДҚГни ГЗдан ҳимоя қилиш схемаси ишлаб чиқилди (5-расм).



5-расм. Вентури қувури шаклидаги ЎТСФЭлардан фойдаланиш ёрдамида ЎДҚГни ГЗдан ҳимоя қилиш схемаси

а-насос ишлаганда; б-ҚКни дренаж қилинганда; в-насосни ишга туширишдан олдин

Бу схемада Вентури қувури шаклидаги ўз-ўзини тартибга солувчи актив элементлар ёрдамида гелиоконтурнинг узатиш ва қайтариш қувурлари орқали ҚКларидан сув насосни четлаб ўтиб, дренаж резервуарига тўкилади. Шу билан бирга Вентури қувурларининг торайтирилган қисмидаги тешиклар доимо очиқ бўлади, шунинг учун фавқулдда электр токи узилиши ва циркуляция насосининг тўхташида улар иссиқлик ташувчига насосни четлаб ўтиб дренаж резервуарига оқишига эркин имкон беради. Бу насос тўхтатилганда ГЗ ни олдини олади.

“Тешикли қувур шаклидаги ўз-ўзини тартибга солувчи актив элементга эга бўлган стратификацион аккумуляторларни тадқиқ этиш” деб номланган тўртинчи бобида тешикли қувурлар кўринишидаги ЎТСФЭли СИАнинг тадқиқот натижалари келтирилган.

Асосан, тешикли сув тарқатгич ва сув қабул қилгичлар томонидан сувни тақсимлаш ва танлаш вақтида СИАларида содир бўладиган ҳодисалар иссиқлик алмашинув аппаратларнинг тақсимлаш ва қабул қилиш коллекторларда ўрганилган ҳодисалардан фарқ қилмайди. Бироқ, ўз-ўзини тартибга солувчи сув тақсимлагичларда инерция кучлари билан таққосланадиган архимед кучларининг ҳаракати суяқлик оқимининг манзарасини мураккаблаштиради.

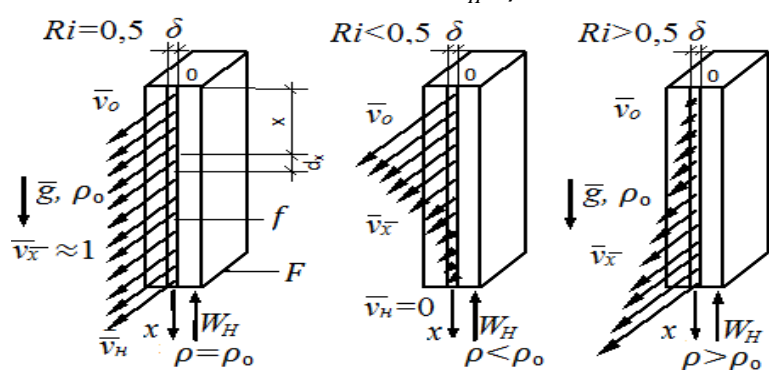
Бу ҳол учун тузилган, изотермик бўлмаган оқимнинг ҳажм кучлари таъсирида тақсимлаш жараёнини ифодаловчи (6-расм) дифференциал тенглама қуйдаги кўринишга эга:

$$\overline{W}_x'' \overline{W}_x' + p \overline{W}_x' \overline{W}_x + q \overline{W}_x^2 = p Ri, \quad (11)$$

$$p = \mu^2 f^2; q = -0,5 \mu^2 f^2 \lambda \bar{l}; Ri = \frac{-gl \Delta \rho}{W_H^2 \rho}; \bar{f} = \frac{f}{F} = \frac{\delta l}{F}; \bar{l} = \frac{l}{d_s}$$

Чагаравий шартлар:

$$\left. \begin{array}{l} \bar{x} = 0 \quad \overline{W}_0 = 0 \\ \bar{x} = 1 \quad \overline{W}_H = 1 \end{array} \right\} 12)$$



6-расм. ЎТСФЭда изотермик бўлмаган оқимнинг селектив тақсимотининг схемаси

Ўлчамсиз Ri комплекси сув тақсимлагич бошидаги архимед кучлари ва инерция кучлари нисбатини тавсифловчи Ричардсон модификацияланган сонидир. Жумладан, $Ri = 0.5$ бўлганда, бу кучлар тенгдир ($-gl\Delta\rho = 0,5\rho W_H^2$). Агар архимед кучлари юқорига қаратилган бўлса ($\Delta\rho > 0$), у ҳолда $Ri < 0$, акс ҳолда ($\Delta\rho < 0$), $Ri > 0$.

Сув тақсимлагични ҳисоблашда аниқловчи қиймат шартли тирқишнинг параметридир $\mu \bar{f}$. Сув тақсимлагичнинг бир учидаги сув оқими тезлиги нолга тенг бўлганда шартли параметрининг қиймати критик ($\mu \bar{f}^{kp}$) дейилади, яъни қўшимча шартлар бажарилганда (6-расмга қаранг):

$$Ri < 0,5 \quad \bar{v}_H = 0; \quad (13) \quad \text{ёки} \quad Ri > 0,5 \quad \bar{v}_0 = 0. \quad (14)$$

Дифференциал тенглама (11) чегаравий (12) ва қўшимча (13)-(14) шартлар билан компютерда сонли усулда ва силлиқ деворли ҳамда кичик узунликдаги сув тақсимлагич учун, яъни $\lambda \bar{l} = 0$ тенг бўлганда, аналитик усулда ечилди.

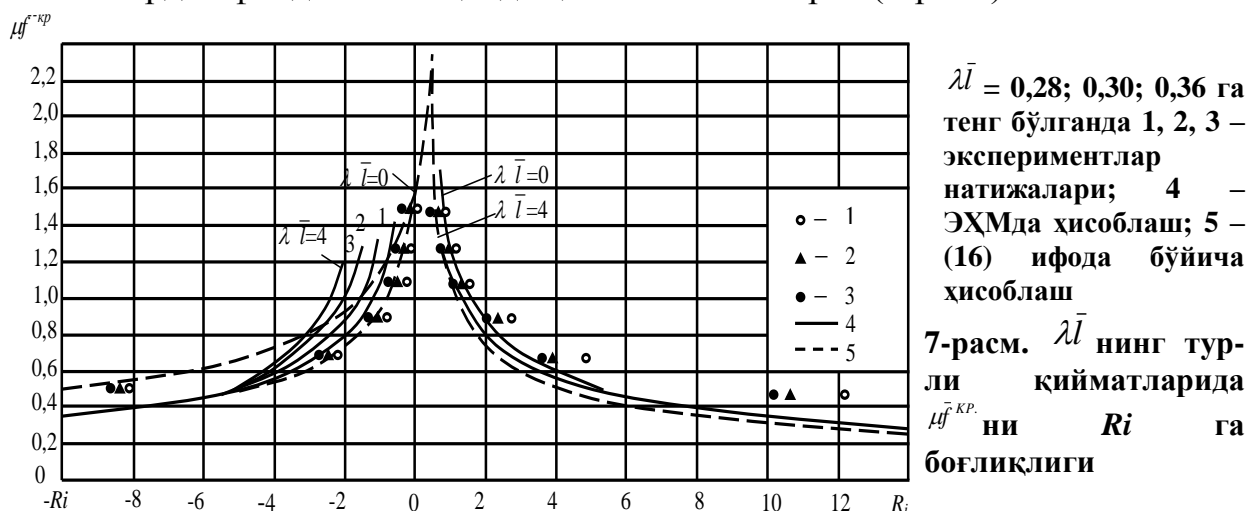
Иккинчи ҳолда, сув тақсимлагич ичидаги оқимнинг нисбий тезлиги учун аналитик ифода олинган

$$\bar{W}_{\bar{x}} = \sqrt{2Ri\bar{x} + \frac{2C_1}{p}} \sin \left[\pm \frac{2}{3} \sqrt{p} \left(\bar{x} + \frac{C_1}{pRi} \right) + \frac{C_2}{\sqrt{pRi\bar{x} + C_1}} \right], \quad (15)$$

шартли тирқишнинг критик параметри ва сув тақсимлагич узунлиги бўйлаб нисбий сув оқими тезлиги учун эса қуйидаги ифодалар олинди:

$$\mu \bar{f}^{kp} = \begin{cases} 1,5\pi Ri [1 - (1 - 2Ri)^{1,5}]^{-1} & \text{при } Ri \leq 0,5 \\ 1,5 \text{Arcsin}(2Ri)^{-0,5} & \text{при } Ri \geq 0,5 \end{cases} \quad (16); \quad \bar{v}_{\bar{x}}^{kp} = \begin{cases} \frac{\pi}{2} \cos \frac{\pi}{2} \bar{x} & Ri < 0,5 \\ 1,5\sqrt{\bar{x}} & Ri > 0,5 \end{cases} \quad (17)$$

Компютерда бажарилган ҳисоб-китобларга кўра, формула (16) деворлари ғадир-будур ва узун бўлган ($\lambda \bar{l} \neq 0$) сув тақсимлагичга, $|Ri| \geq 5$ бўлганда ҳам амал қилади, чунки Ричардсон сонларнинг бу оралиғида $\lambda \bar{l}$ ни $\mu \bar{f}^{kp}$ га кўрсатадиган таъсири аҳамиятсиз даражада кичикдир. Агар $|Ri| < 5$ бўлса, у ҳолда сув тақсимлагич деворларининг узунлиги ва ғадир-будурлигини компютерда ҳисоблаш натижалари асосида назарий эгри чизликлардан фойдаланган ҳолда ҳисобга олиш керак (7-расм).

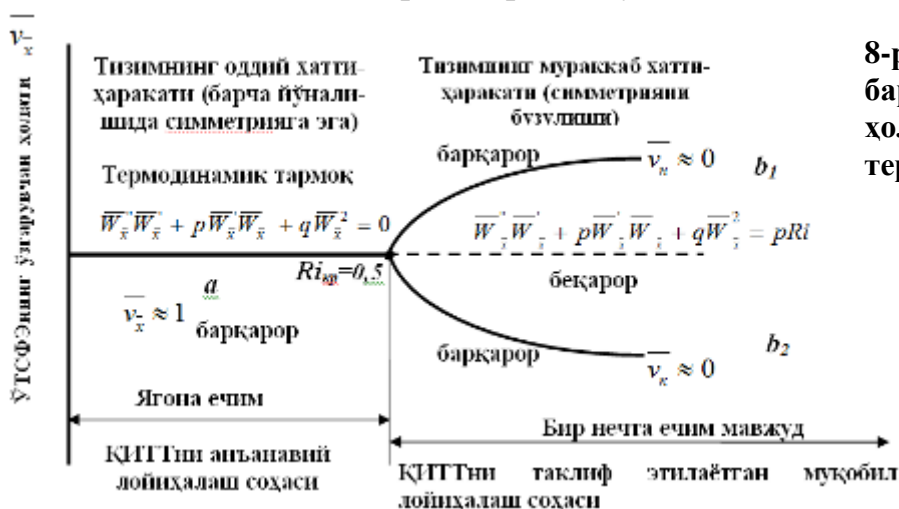


Аэродинамик стенда олиб бориладиган назарий ечимларни текшириш тажрибалари олинган аналитик ифодаларни тажриба маълумотлари билан яхши келишганлигини кўрсатди (7-расм).

Олинган ечималар ночизикли мувозанатсиз термодинамиканинг замонавий тасавурлари нуқтаи назаридан таҳлил қилинди (8-расм).

8-расмдан кўришиб турибдики, бошқарувчи иссиқлик гидродинамик параметр Ri нинг 0 дан $Ri_{kp} = 0,5$ гача бўлган кичик қийматлари учун фақат битта ечим (a) ЎТСФЭ нинг оддий харакатига мос келади, бунда Архимед кучлари инерция кучлари томонидан бостирилганлиги сабабли динамик таъсирлар бўлмайди. Бу ҳолда, тенглама (11) таниқли В.Н. Талиев

тенгламасига унинг ўнг томони нолга тенг бўлганда ва узунлик бўйлаб нисбий оқим тезлиги деярли бир хил бўлганда $\bar{v}_x \approx 1$ айланади



8-расм. ЎТСФЭнинг барқарор ва беқарор ҳолатининг термодинамик тармоғи

Ушбу соҳа иссиқлик ташувчиси оқимининг бир текис тақсимланиши билан анъанавий лойиҳалаш услубига тегишлидир. Бу соҳада тизим ички тебранишларни ёки ташқи ғалаёнишларни ўчиришга қодирдир. Шу сабабли ушбу тармоқни термодинамик тармоқ деб аталади.

Бошқарувчи иссиқлик гидродинамик параметрнинг критик қиймати $Ri=Ri_{kp}=0,5$ атрофида ЎТСФЭнинг ҳолати ушбу тармоқда беқарор бўлиб қолади ва ЎТСФЭ стандарт ҳолатидан четка чиқади ҳамда $Ri=Ri_{kp}$ атрофида критик танловини амалга оширади, янги режимга ўтади, яъни сув тақсимлагичнинг узунлиги бўйича иссиқлик ташувчисини ягона (симметрик) тақсимланишидан ($Ri=0$ бўлганда), архимед кучларининг йўналишига қараб, селектив (симметрик бўлмаган) тақсимланишига ўтади.

Бу ҳолда, икки барқарор режимлар бўлиши мумкин (b_1 ва b_2): сувни ЎТСФЭнинг юқори ($Ri < 0,5$ да) қисмига кўпроқ ёки пастки қисмига ($Ri > 0,5$ да) кўпроқ тақсимлаш билан. Бу иккала режим $Ri=Ri_{kp}$ да бирлашади ва $Ri > Ri_{kp}$ бўлганда эса фарқ қилади.

Сувни қабул қилиш коллектори ичида сув тақсимлагичи коаксиал жойлашганда селектив (танлаб) оқим сўриш (9-расм) ҳолати учун қуйидаги дифференциал тенглама тузилди

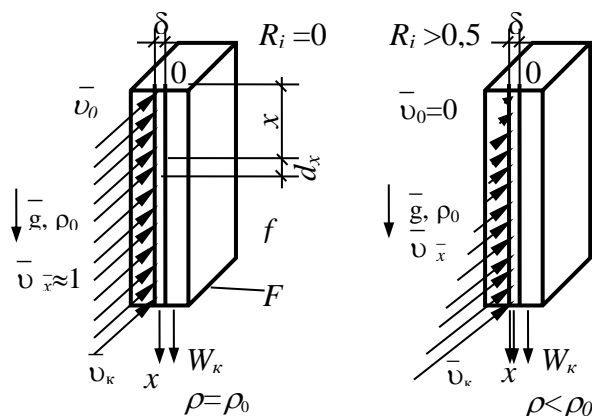
$$\bar{W}_x'' \bar{W}_x' - 2p \bar{W}_x' \bar{W}_x + q \bar{W}_x^2 = p Ri, \quad (18) \quad \text{Чагаравий шартлар:}$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} = 0 & \quad \bar{W}_0 = 0 \\ \bar{x} = 1 & \quad \bar{W}_k = 1 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

μf^{kp} ни аниқлаш учун кўшимча шартлар:

$$Ri=0 \quad \bar{V}_x \approx 1; \quad (20)$$

$$Ri>0 \quad \bar{V}_o = 0. \quad (21)$$



9-расм. ЎТСФЭда изотермик бўлмаган оқимини селектив қабул қилиш схемаси

(18) дифференциал тенгламани (19) чегаравий ҳамда (20) ва (21) кўшимча шартларида узунлиги калта ва деворлари силлиқ бўлган сувни қабул қилгич коллекторлар учун, яъни $\lambda \bar{l} = 0$ бўлганда, ечими топилди.

Бунда узунлиги калта ва деворлари силлиқ бўлган сувни қабул қилгич коллекторлар ичидаги оқим харакатининг нисбий тезлиги учун аналитик ифода

$$\bar{W}_{\bar{x}} = \sqrt{Ri\bar{x} + \frac{C_1}{p}} sh \left[\pm \frac{\sqrt{8p}}{3} \left(\bar{x} + \frac{C_1}{pRi} \right) + \frac{C_2}{\sqrt{pRi\bar{x} + C_1}} \right]. \quad \text{олинди, шартли}$$

тирқишнинг критик параметри учун эса қуйидаги формула топилди

$$\mu \bar{f}^{kp} = \frac{3}{\sqrt{8}} Arsh \frac{1}{\sqrt{Ri}}. \quad (22)$$

$|Ri| \geq 1,5$ бўлганда (16) ва (22) формулалар ёрдамида олинган сонли қийматларни таққослаш асосида, сувни қабул қилиш коллектори ичида сув тақсимлагичи коаксиал жойлашган бўлса, тарқатиш режими шароитдан келиб чиққан ҳолда коллекторни ҳисоблаш бир вақтнинг ўзида уни сувни селектив қабул қилиш режимига оптимал эканлиги кўрсатилган.

Ҳажмий кучлар таъсирида изотермик бўлмаган оқим ҳолати учун СИАнинг сув тақсимлагичини ҳисоблаш усули таклиф этилди.

Аккумуляторларда сувнинг ҳароратли табақаланишининг самарадорлигини баҳолаш муаммоси кўриб чиқилди, бунинг учун уни зарядлаш жараёни қуйидаги дифференциал тенглама билан ифодаланди

$$d\tau = \frac{M}{G} \frac{dt_a}{t_2 - t_1}. \quad (23)$$

(23) дифференциал тенгламанинг ечими асосида аккумуляторни ҳар қандай табақаланиш даражасида зарядлашнинг ҳақиқий жараёнини ифодаловчи ифода олинди

$$\bar{Q} = \begin{cases} \bar{\tau} & \bar{\tau} \leq (1 - \beta_3) \\ 1 - \beta_3 \exp\left(\frac{1 - \beta_3 - \bar{\tau}}{\beta_3}\right) & \bar{\tau} \geq (1 - \beta_3) \end{cases} \quad (24)$$

Аккумуляторни зарядлаш ва разрядлаш жараёнида аккумуляция қиладиган муҳитнинг аралашуш даражасини ҳисобга олувчи стратификация коэффициенти таклиф этилди $K_c = 1 - \beta_3 = \frac{Q_c}{Q_{\max}}$. (25)

$\bar{\tau} < 5$ бўлган шароитда амал қиладиган K_c нинг аккумулятор тўлиқ зарядланишига қадар у орқали иссиқлик ташувчиси айланишининг карралигига боғлилигининг тахминий ифодаси олинган

$$K_c = 1,357 - 0,38\bar{\tau} + 0,02173\bar{\tau}^2. \quad (26)$$

Стратификация коэффициенти аккумулятордаги сувнинг ҳароратли табақаланиш даражасини тўлиқ тавсифлайди. K_c қанчалик юқори бўлса, табақаланиш шунчалик катта бўлади. Бу ҳарорат режимдан қатъи назар, аккумуляторларни иссиқлик сақлаш самарадорлиги бўйича бир-бири билан солиштириш ва K_c қийматидан иссиқлик ташувчининг норматив оқим

тезлигида аккумуляторнинг паспорт характеристикаси сифатида фойдаланиш имконини беради.

“Калта қувур жўмрак шаклидаги ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементли термосифон иссиқ сув таъминоти тизимларини тадқиқ этиш” номли бешинчи боб ўз-ўзини тартибга солувчи термосифон гелиоконтурни тадқиқ этишга бағишланган.

Калта қувур жўмрак шаклида ҳаво гидравлик занжирли гелиоконтур учун (2-расм, 6 га қаранг), қуйидаги тенглама тузилди:

$$-agh_1(t_2 - t_1) = (S + \alpha_2 A) \frac{\eta^2 E^2}{C_p^2 (t_2 - t_1)^2} + gh_2(at_2 + b) \quad (27)$$

(18) тенглама қуёш қабул қилгичининг чиқишида сув ҳарорати t_2 га нисбатан ечилди:

$$t_2 = \sqrt[3]{-L + \sqrt{L^2 + M^3}} + \sqrt[3]{-L - \sqrt{L^2 + M^3}} - N \quad (28)$$

бу ерда

$$L = \frac{[bh_2 - at_1(3h_1 + 2h_2)]^3}{27a^3(h_1 + h_2)^3} - \frac{[bh_2 - at_1(3h_1 + 2h_2)][at_1^2(3h_1 + h_2) - 2bh_2t_1]}{6a^2(h_1 + h_2)^2} + \frac{(bh_2 - ah_1t_1)t_1^2}{2a(h_1 + h_2)} + \frac{(S + \alpha_2 A)\eta^2 E^2}{2c_p g a(h_1 + h_2)}$$

$$M = \frac{3a(h_1 + h_2)[at_1^2(3h_1 + h_2) - 2bh_2t_1] - [bh_2 - at_1(3h_1 + 2h_2)]^2}{9a^2(h_1 + h_2)^2}; N = \frac{bh_2 - ah_1(3h_1 + 2h_2)}{3a(h_1 + h_2)}$$

(27) дан кўришиб турибдики, $(S + \alpha_2 A) \rightarrow 0$ интилганда, иссиқ сувнинг ҳарорати t_2 қуёш радиациясининг интенсивлигига боғлиқ эмас, балки доимий h_2 и h_1 ларда фақат совуқ сувнинг t_1 ҳарорати билан белгиланади, яъни тизим бутунлай ўз-ўзини тартибга солади.

Ёпиқ гелиоконтур ($h_2 = 0$) учун (27) тенгламанинг иссиқ сув ҳароратига нисбатан ечими қуйидаги кўринишга эга

$$t_2 = t_1 + \sqrt[3]{\frac{(S + \alpha_2 A)\eta^2 E^2}{-agh_1 C_p^2}}. \quad (29)$$

Ёпиқ гелиоконтуранинг турли режимларда ишлаши (29) тенглама ёрдамида кўриб чиқилди. Қуёш коллекторини чиқишидаги сувнинг нисбий ҳарорати учун ифода олинди

$$\bar{t}_2 = 1 + \Pi(\bar{Q}_T^{2/3} - 1), \quad (30)$$

бу ерда \bar{t}_2 - жорий ҳарорат қийматининг ҳисобий қийматга нисбати; Π - сувнинг қиздириш ҳароратини барқарорлик даражасини тавсифловчи гелиоконтур параметри

$$\Pi = \sqrt[3]{\frac{(S + \alpha_2 A)Q_T^{*2}}{-agh_1 C_p^2 t_2^{*3}}}. \quad (31)$$

Сув айланиш карралигини термосифон тизимининг суткалик самарадорлигига таъсирини баҳолаш учун гелиоконтур ишининг квазистационар режимда бакдаги сувнинг аралашиши ва сарфи бўлмаган ҳолати учун математик модели ишлаб чиқилди. Қуёш коллектори орқали

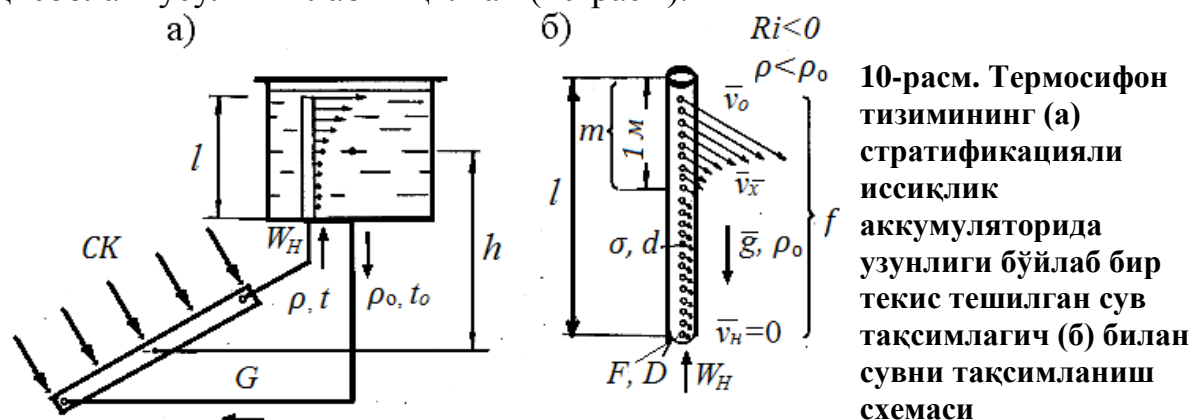
иссиқлик ташувчисининг бир ва бир неча мартта айланиши учун термосифон тизимининг кунлик самарадорлиги нисбатини ифодаловчи ифода олинди

$$\frac{Q_0}{Q_M} = \frac{U_{LM} \left[1 - \exp(-U_{LO} F' / g_1 C_p) \right] \left[E(\tau\alpha) - U_{LO}(t_H - t_B) \right]}{U_{LO} \left[1 - \exp(-U_{LM} F' / g_1 C_p) \right] \left[E(\tau\alpha) - U_{LM}(t_H - t_B) \right]} \quad (32)$$

Сув 10 дан 60°C га қадар қиздирилганда коллектор унумдорлиги ундан сувни айланиш карралиги ўсиши билан сезиларли кўпайиши (3 дан 7% гача) фақат $n > 5$ бўлганда кузатилиши аниқланган. Термосифон тизимларида кузатиладиган сувнинг реал айланиш карралигида ($n = 1,5 \div 3$) бу фарқ аҳамиятсиз даражада камдир (1,5% дан кам).

Белгиланган ҳарорат барқарорлиги билан сувни қиздириш учун ўз-ўзини тартибга солувчи термосифон гелиоконтурининг гидравлик ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган.

Термосифон қуёшли сув қиздириш тизимининг стратификацияли иссиқлик аккумуляторини ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементининг ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган (10-расм).



Термосифон гелиоконтурда Архимед кучлари юқорига йўналтирилган ($\Delta\rho > 0$) бўлиб, модификацияланган Ричардсон сони $Ri < 0$ бўлади. Бу ҳол учун сув тақсимлагичнинг шартли тирқишининг критик параметри ва унинг тешикларининг умумий майдони f ни аниқлаш учун ифодалар олинди

$$\mu \bar{f}^{KP} = - \frac{0,75\pi l}{ah \left[\left(1 + \frac{l}{ah} \right)^{3/2} - 1 \right]}; \quad (33) \quad f = \frac{0,75\pi l F}{\mu ah \left[\left(1 + \frac{l}{ah} \right)^{3/2} - 1 \right]}, \quad (34)$$

Ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементли қуёш иссиқлик таъминоти тизимлари ва асбоб-ускуналари ўзига хос юқори техник ва иқтисодий кўрсаткичларга эгадир, чунки ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларнинг соддалиги, ихчамлиги ва ҳаракатланадиган қисмларнинг йўқлиги ҳисобига гелиоқурмаларнинг хизмат муддати ва ишончилиги ошади; иссиқлик ташувчисини циркуляциясига насоснинг электр истеъмоли камаяди; автоматлаштириш қурилмаларнинг ижрочи механизмларга энергияни сарфлаш талаб этимайди; ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлар билан электрон контроллерлар алмаштирилади; хизмат кўрсатиш ва фодаланиш анча соддалашади.

Олинган тадқиқот натижалари ВСН 52-86 “Қуёшли иссиқ сув таъминоти қурилмалари”; ҚМК 2.04.16-96* “Қуёшли иссиқ сув таъминоти қурилмалари”; ҚМК 2.04.16-2018 “Қуёшли иссиқ сув таъминоти қурилмалари”; Ўз РСТ 744-96 “Қуёш коллекторлари. Умумий техник шартлар”; “Қуёш иссиқ сув таъминоти қурилмалари (ҚМК 2.04.16-2018 га) учун янги энергия тежовчи ечимларни лойиҳалаш учун Қўлланма” меъёрий ҳужжатларига "Тошуйжойлити" ОАЖ (собик ТошЗНИИЭП) томонидан киритилган; "Тошуйжойлити" ОАЖ (собик ТошЗНИИЭП) томонидан Ўзбекистон Республикасида ва унинг ҳудудларидан ташқарида лойиҳалаш ва қуриш амалиётида амалга оширилаётган 6 та тажриба ва 8 та намунавий лойиҳаларни ишлаб чиқиш жараёнида фойдаланилган.

Тадқиқот натижалари Тошкент архитектура ва қурилиш институти ўқув жараёнида бакалаврлар ва магистрантларни тайёрлаш учун "Issiqlik, gaz ta'minoti va shamollatish tizimlari" дарслиги шаклида ҳам жорий этилган.

Бажарилган техник-иқтисодий ҳисоб-китоблар шуни кўрсатдики, икки оилали 10 кишилиқ турар-жой қишлоқ уйи учун ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлар билан жиҳозланган гелиоқурилманинг анъанавий гелиоқурилмага нисбатан дисконтланган тўлов муддати 1.2 йилга, яъни 15.2% камаяди, иқтисодий самара эса 4002033 сўм/йил ни ташкил этади.

ХУЛОСА

1. Илмий, тажриба ва технологик ишланмалар таҳлили асосида, қуёш иссиқлик таъминоти тизимларида ностационар қуёш радиациясини қабул қилиш натижасида содир бўладиган ўз-ўзини тартибга солувчи иссиқлик ва гидродинамик жараёнлар ҳақидаги илмий ғоялар ривожлантирилди ва шу асосда ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардан фойдаланиш асосида уларнинг самарадорлиги ва ишончилигини оширишнинг муқобил усули ишлаб чиқилди. Ушбу усул замонавий мувозанатсиз термодинамика тамойилларига асосланган ва қуёш иссиқлик таъминоти тизимларида стационар бўлмаган иссиқлик ва гидродинамик жараёнларни тартибга солиш учун ишлатиладиган мураккаб ва қимматбаҳо электрон контроллерлар ўрнига оддий, ишончли ва иқтисодий техник ечимларни яратишга имкон беради.

2. Ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементларни яратишнинг назарий ва экспериментал асослари ишлаб чиқилди. Ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлардаги термогидравлик жараёнларини ифодаловчи тенгламалар, анъанавий тизимларни лойиҳалашда ишлатиладиган тизимни оддий хатти ҳаракатини акс эттирадиган ягона ечимли тенгламалардан фарқли равишда бифуркация ҳодисасига ҳос икки барқарор ҳолатини мавжудлиги ва икки ечимини борлиги аниқланди. Ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементлар билан жиҳозланган ўз-ўзини дренаж қиладиган гелиоқурилмаларини, юқори самарали стратификацияли иссиқлик аккумуляторларини ва термосифон тизимларини иш режимларига бифуркация ҳодисасига ҳос бўлган икки

барқарор ҳолатини мавжудлиги назарий ва экспериментал йўл билан кўрсатилди.

3. Ўз-ўзини дренаж қиладиган гелиоқурилмаларини ишлаб чиқиш ва лойиҳалаш назарияси ривожлантирилди. Оқимнинг потенциал ва кинетик энергиясини Вентури қувурида ўзаро айланиши асосида гелиоконтуранинг ўз-ўзини дренаж қилиши, анъанавий аналогларга нисбатан, иссиқлик ташувчисини циркуляциясига энергия сарфини 65-80% гача камайтиради. Бундай гелиоконтуранинг энергия самарадорлигига Вентури қувурининг геометрик ва гидродинамик характеристикалари сезиларли таъсир кўрсатади, унинг оптимал жойлашиши эса насоснинг ассимиляция қувурчасидир. Ўз-ўзини дренаж қиладиган гелиоконтурни амалий ҳисоблаш учун Вентури қувурларининг гидродинамик характеристикалари мезоний тенгламалар кўринишида тажрибалар орқали аниқланди. Кичик ўлчамли Вентури трубалари бўйича тажриба маълумотларни умумлаштирувчи (6) ва (7) тенгламалар қовушоқ қаршилиқ доирасида оқим торайиши даражаси 2 дан 5 гача бўлган оралиқда амал қилади.

4. Ўз-ўзини тартибга солувчи стратификацияли иссиқлик аккумуляторларини ишлаб чиқиш ва лойиҳалаш назарияси ривожлантирилди. Сувли аккумуляторларини иссиқлик билан зарядлаш ва разрадлаш вақтида ҳароратнинг табақаланишини сақлаш бакнинг баландлиги бўйлаб иссиқлик ташувчисини селектив тарқатиш ва қайтариб олиш йўли билан эришилади. Тарқатиш ва қайтариб олишни ўз-ўзини тартибга солиш Архимед кучларнинг суюқлик ҳаракатига таъсири ёрдамида амалга оширилиши мумкин. Ўз-ўзини тартибга солувчи стратификацияли иссиқлик аккумуляторлари қуёшли иссиқлик таъминоти тизимининг самарадорлигини 15-20 % га оширишни таъминлайди ва мураккаб автоматик кузатиш билан жиҳозланган кўп секцияли аккумулятор конструкциясидан воз кечишга имкон беради. Илк бор перфорацияланган қувурли аккумуляторларда изотермик бўлмаган оқимлар учун амал қиладиган иссиқлик ташувчисини ҳажмий кучлар таъсирида тарқатиш ва қайтариб олиш жараёнларининг физик-математик модели (11) ва (18) дифференциал тенгламалар, (12) ва (19) чегаравий шартлар орқали ишлаб чиқилди.

5. Стратификацияли аккумуляторларда сув тақсимлагич ва қабул қилгичларнинг шартли тирқиш параметрларини, уларнинг учларидаги сувни тарқатиш ва қабул қилиш тезликлари нолга тенг бўлган ҳолатидан аниқланган критик қийматга тенг деб қабул қилиш лозим. Бу ҳолда Ричардсон сонлари $|Ri| > 5$ бўлганда модел тенгламаларининг аналитик ечимлари (16) ва (22) формулалардир. Агар $|Ri| < 5$ бўлса, у ҳолда деворлари перфорацияланган қувурларнинг узунлиги ва ғадирбудурлиги компютерда тенгламаларнинг рақамли ечимлари ёрдамида ҳисобга олиниши керак. Аккумулятор ҳажмида иссиқлик ташувчисини стратификация (қатламли) оқимининг барқарорлигига Рейнольдс сони билан бир қаторда Ричардсон сони деб аталувчи ўлчамсиз миқдор сезиларли таъсир кўрсатади. Аккумулятор ҳажмида барқарор стратификацияли оқимини таъминлаш учун

$Ri_a \geq Ri_{kp} \geq 0,85 \div 1,0$ шарти бажарилиши лозим. Таклиф қилинган Кс статификация коэффиценти ёрдамида сувли иссиқлик аккумуляторларининг ҳар хил конструкцияларини зарядлаш (разрядлаш) вақтида сувнинг ҳароратли табақаланишининг мукамаллик даражаси бўйича таққослаш мумкин. Иссиқлик ташувчининг норматив сарфида аккумуляторнинг асосий паспорт характеристикаси сифатида статификация коэффицентидадан фойдаланиш тавсия этилади.

6. Қуёшли сув қиздириш коллекторини иссиқлик алмашинув панелининг кўтариш қувурлари бўйича суюқлик оқимининг олдиндан белгиланган нотекис тақсимланишининг гидравлик ҳисоблаш назарияси ривожлантирилди. Ўзаро принципиал фарқли бўлган оқимнинг уч теккислаш усуллари учун оқим тақсимланишга таъсир кўрсатадиган лойиҳалаш параметрларини ўртасидаги миқдорий муносабатлар ва ҳисоблаш ифодалар аниқланди. Ишлаб чиқилган гидравлик ҳисоблаш усулидан алоҳида қуёшли сув қиздириш коллекторини лойиҳалашда ҳам, қуёш коллекторларини ўзаро боғловчи қувурларни лойиҳалашда ҳам фойдаланиш мумкин.

7. Қуёшли иссиқ сув таъминотининг термосифон тизимларини ишлаб чиқиш ва лойиҳалаш назарияси ривожлантирилди. Сувни 10 дан 60 °С гача қиздиришда термосифон тизимларининг самарадорлиги иссиқлик ташувчиси циркуляциянинг карралигига деярли боғлиқ эмаслиги кўрсатилган. Бир айланишли ўз-ўзини тартибга солувчи гелиоконтур истеъмолга олинадиган сувнинг ҳарорати барқарорлаштириш ва фойдаланишга тайёрлик даражасини ошириш ҳисобига тизим самарадорлигини 1,5% дан кам камайтирган ҳолда истеъмол хусусиятларини яхшилайти.

8. Термосифон тизимларида қуёш коллекторининг чиқишидаги сув ҳароратини (27) тенгламанинг ечими бўлган ифодалар орқали аниқланиш мумкин. Сувнинг қизиш ҳароратининг барқарорлиги гелиоконтурнинг гидравлик қаршилиги камайиши билан ошади. (31) ифода билан белгиланган таклиф этилган Π параметр ёрдамида ўз-ўзини тартибга солувчи гелиоконтурнинг гидравлик ҳисоблаш усули, белгиланган ҳарорат барқарорлик билан автоном сув қиздириш тизимларини лойиҳалаштириш имконини беради.

9. Ўз-ўзини тартибга солувчи фаол элементли қуёш иссиқлик таъминоти тизимларини тадқиқот натижалари Ўзбекистон Республикаси ва унинг ташқарида қурилиш билан амалга оширилирган экспериментал ва намунавий лойиҳаларда, ҚМҚ 2.04.16-18 "Қуёшли иссиқ сув таъминоти қурилмалари" да, ҚМҚ 2.04.16-18 учун лойиҳалаш Қўлланмада, шунингдек, бакалавр ва магистрантларни тайёрлаш таълим жараёнида жорий этилган.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.26/30.12.2019.Т.11.01
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОМ ИНСТИТУТЕ**

ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОМ ИНСТИТУТЕ

РАШИДОВ ЮСУФ КАРИМОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМ
СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**05.09.03 – Теплоснабжение. Вентиляция, кондиционирование. Газоснабжение и
освещение**

АВТОРЕФЕРАТ
докторской (DSc) диссертации по техническим наукам

Ташкент – 2020

Тема диссертации доктора (DSc) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2020.3.DSc/Т91.

Диссертация выполнена в Ташкентском архитектурно-строительном институте.

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

Официальные оппоненты:

Узоқов Ғулом Норбоевич,
доктор технических наук, профессор

Бобоев Собиржон Мурадуллаевич,
доктор технических наук, профессор

Аббасов Ёркин Садыкович,
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация:

Наманганский инженерно-строительный институт

Защита диссертации состоится « » декабря 2020 года в часов на заседании Научного совета DSc.26/30.12.2020.Т. 11.01 при Ташкентском архитектурно-строительном институте. (Адрес: 100011, г. Ташкент, улица Абдулла Кадырий, дом №7В. Тел.: (+99871) 241-10-84; факс: (+998 71) 241-80-00, e-mail: taqi_atm@edu.uz).

С докторской диссертацией (Doctor of Science) можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского архитектурно-строительного института (зарегистрирована за №). Адрес: 100011, г. Ташкент улица Кичик Халка йули, дом №7. Тел.: (+998 71) 235-43-30; факс: (+998 71) 234-15-11.

Автореферат диссертации разослан « » _____ 2020 года
(протокол рассылки № от _____ 2020 г.).

Х.А. Акромов,
Председатель разового научного совета
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

Х.Х. Камиллов,
Ученый секретарь разового научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

С.А. Ходжаев,
Председатель разового научного семинара при научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (DSc) диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. Одним из наиболее приоритетных направлений широкомасштабного практического использования солнечной энергии в мире являются системы солнечного теплоснабжения. В развитых странах, таких как США, Австралия, Китай и Россия, в проводимых научных исследованиях в области использования солнечной энергии особое значение придается созданию высокоэффективных и простых солнечных коллекторов и систем, а также снижению их стоимости и эксплуатационных расходов. В этой связи повышение эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения на основе применения саморегулируемых активных элементов является актуальной научно-технической проблемой.

В ведущих научных центрах мира ведутся научно-исследовательские работы по совершенствованию систем теплоснабжения, применяемых в солнечной энергетике, в том числе по созданию новых методов за счет использования саморегулирующихся активных элементов. В связи с этим проводятся научно-исследовательские работы, включающие моделирование тепловых и гидравлических процессов в системах солнечного теплоснабжения и их элементах, например, в солнечных коллекторах, тепловых аккумуляторах, гелиоконторах и теплообменниках, оптимизацию эксплуатационных параметров системы, совершенствование методов ее расчета и управления, определение требований к минимизации потерь температурного потенциала. В этом направлении важно повысить эффективность и надежность систем теплоснабжения, работающих на солнечной энергии, на основе использования саморегулируемых активных элементов, реагирующих на изменения теплофизических параметров теплоносителя и изменения потоков энергии и массы в условиях нестационарного поступления и распределения солнечной энергии

В нашей республике особое внимание уделяется внедрению энергоэффективных технологий использования возобновляемых источников энергии. В стратегии Действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах отмечены задачи «...сокращения энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии...»¹. Реализация этих положений, в том числе, по повышению эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения на основе применения саморегулируемых активных элементов, считается одной из важнейших задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», в Постановлениях

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Президента Республики Узбекистан № ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сферы на 2017-2021 годы» и № ПП-3379 от 8 ноября 2017 года «О мерах по обеспечению рационального использования энергоресурсов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

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

Обзор международных научных исследований по теме диссертации².

Научные исследования, направленные на развитие теории и практики повышения эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения, проводятся во многих научных центрах мира, в частности, в Висконсинском университете (США), в Институте солнечных технологий (Швейцария), в Национальном центре солнечной энергии (Индия), в Институте энергетических исследований АН КНР (Китайская Народная Республика), в Национальном Бюро Стандартов (США), в Объединенном институте высоких температур Российской Академии наук (Российская Федерация), в Национальном исследовательском университете «МЭИ» (Российская Федерация), в НПО «ГУН» Академии наук Республики Туркменистан (Туркменистан), в НПО «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан (Узбекистан), в АО «ToshuyjoyLITI» (бывший «ТашЗНИИЭП») (Узбекистан) и в Ташкентском архитектурно-строительном институте (Узбекистан).

В результате выполненных исследований по тепловому преобразованию солнечной энергии в плоских коллекторах, её тепловому аккумулированию и выбору режимных параметров совместной работы с дублирующими источниками для использования в системах горячего водоснабжения и отопления, в мировом масштабе решены ряд актуальных задач и получены следующие важные научные результаты: на основе результатов расчетно-теоретических и экспериментальных исследований по разработке систем солнечного теплоснабжения и программ по динамическому моделированию систем преобразования возобновляемых источников энергии разработаны методы защиты солнечных коллекторов от замерзания теплоносителя в зимний и перегрева в летний периоды года, методы высокоэффективного стратификационного аккумулирования теплоты в одно- и многосекционных водяных аккумуляторах, методы обеспечения равномерного распределения теплоносителя в поле солнечных коллекторов при насосной циркуляции, методы однократного и многократной нагрева теплоносителя в солнечных

² Обзор международных научных исследований по теме диссертации проведен на основе <http://www.iea-shc.org>; <http://www.ren21.net>; <https://www.sciencedirect.com/>, <https://www.researchgate.net/>, <https://www.scientific.net/>, <https://www.academia.edu/>, <https://www.elsevier.com/> и других источников.

коллекторах при термосифонной и насосной циркуляции (Висконсинский университет, США; Институт солнечных технологий, Швейцария; Национальный центр солнечной энергии, Индия); созданы опытные образцы и определены основные теплотехнические характеристики плоских солнечных коллекторов и систем солнечного теплоснабжения, автономных и комбинированных систем горячего водоснабжения (Национальное Бюро Стандартов, США; Объединенный институт высоких температур Российской Академии наук; Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан).

В мире в настоящее время научные исследования по повышению эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения проводятся по следующим приоритетным направлениям: разработка простых, экономичных и надёжных средств для солнечного горячего водоснабжения и отопления, оптимизация их основных режимных параметров для создания благоприятных условий для работы солнечных коллекторов с максимальным КПД.

Степень изученности проблемы. До настоящего времени проблема повышения эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения изучались в национальной лаборатории Возобновляемых источников энергии (NREL, США), в Институте технологий тепловой энергии Кассельского университета (Uni Kassel, Германия) и многих других научных центрах. В настоящее время научные исследования по повышению эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения проводятся в компаниях Five Star (КРН), Viessmann (Германия) и GREEN one TЕС (Австрия) за счет применения новых технологий.

Разработкой и внедрением систем солнечного теплоснабжения в странах ближнего зарубежья занимается ряд академических, научно-исследовательских и проектных институтов, а также производственных организаций. Среди них Объединенный институт высоких температур Российской Академии наук, Национальный исследовательский университет «МЭИ» и Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского (ЭНИИ, Российская Федерация), Киевский национальный университет строительства и архитектуры и КиевЗНИИЭП (Украина), ТбилЗНИИЭП (Грузия) и др. Научные исследования в области создания и повышения эффективности систем солнечного теплоснабжения выполнены под руководством Б.В. Тарнижевского, О.С. Попеля, В.И. Виссарионова, Б.И. Казанджана и В.А. Бутузова (Российская Федерация), М.Д.Рабиновича, А.Р.Ферта и Н.В. Харченко (Украина), Н.В. Меладзе (Грузия), Р.Б. Байрамова и А.Д. Ушаковой (Республика Туркменистан), А.И. Исманжанова (Республика Кыргызстан), Р.А. Захидова, Р.Р. Авезова и Е.А. Насонова (Республика Узбекистан).

Анализ выполненных работ показывает, что до настоящего времени применяется традиционный подход создания систем солнечного теплоснабжения, основанный на классической равновесной термодинамике, предполагающий упрощенное описание физических явлений без учёта неравновесных процессов и динамических эффектов. Для повышения

эффективности и надёжности гелиосистем, не уделено должного внимания вопросам учета влияния синергетических эффектов самоорганизации и саморегулирования, которые согласно современным представлениям нелинейной и неравновесной термодинамики, спонтанно возникают в сильнонеравновесных открытых системах с потоками энергии и массы и могут оказывать при определенных (критических) условиях требуемое влияние на поведение системы, обеспечивая автоматическое поддержание заданных режимов работы системы солнечного теплоснабжения или переход их в другое требуемое состояние, причем без применения приборов автоматики. В этих исследованиях практически не решенными остались задачи, нацеленные на разработку простых с повышенной эффективностью и надёжностью систем солнечного теплоснабжения на основе эффективного применения саморегулируемых тепло- и гидродинамических процессов и создания саморегулируемых активных элементов.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного заведения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках реализации плана научно-исследовательских работ Ташкентского архитектурно-строительного института по следующим проектам: А-12-001 – «Разработка высокоэффективных солнечно-электрических установок горячего водоснабжения модульного типа с регулируемыми плоскими солнечными концентраторами и с горизонтальной температурной стратификацией воды в аккумуляторном баке» (2006-2008 гг.) и БВ-М-ФЗ-003 «Научное обоснование и поиск путей повышения эффективности использования солнечной тепловой энергии в системах теплоснабжения» (2017-2020 гг.).

Целью исследования является развитие теоретических и экспериментальных основ создания и проектирования простых с повышенной эффективностью и надёжностью систем солнечного теплоснабжения на базе применения саморегулируемых активных элементов.

Задачи исследования:

разработка альтернативного метода повышения эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения на основе активных элементов;

разработка принципиальных схем и конструкции саморегулируемых активных элементов для защиты солнечных коллекторов от замерзания, стратификационного аккумуляирования теплоты и регулирования температуры нагрева теплоносителя;

исследование физических явлений и установление закономерности теплогидродинамики в новых саморегулируемых активных элементах, определение их гидравлических и энергетических характеристик;

разработка физико-математических моделей работы саморегулируемых активных элементов и проверка их адекватности экспериментальным данным;

установление основных критериальных уравнений и расчетных формул, необходимых для обоснованного конструирования и проектирования саморегулируемых активных элементов;

разработка схем систем солнечного теплоснабжения, на основе созданных саморегулируемых активных элементов и выявление особенностей их применения в гелиосистемах теплоснабжения;

разработка инженерных методов расчета саморегулируемых активных элементов и систем солнечного теплоснабжения на их основе, оценка энергетической эффективности применения данных устройств.

Объектом исследования являются системы солнечного теплоснабжения с саморегулируемыми активными элементами.

Предмет исследования составляют закономерности тепловых и гидродинамических процессов, протекающих в саморегулируемых активных элементах систем солнечного теплоснабжения.

Методы исследований. Исследования выполнены с использованием методов неравновесной термодинамики; теории тепло- и массообмена; гидродинамики; физико-математического моделирования и эксперимента; метода теории подобия и анализа размерностей.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

на основе использования саморегулирующихся активных элементов разработан альтернативный метод повышения эффективности и надежности саморегулирующихся тепло-и гидродинамических процессов, протекающих в системах солнечного теплоснабжения;

разработаны научно-технические основы создания саморегулирующихся активных элементов с учётом возникновения эффектов самоуправления в гелиосистемах;

определены условия возникновения в активных элементах состояния бистабильности и бифуркации, с учетом нестационарных тепловых и гидродинамических процессов;

выявлены закономерности гидродинамики самодренируемого гелиоконтра, содержащего саморегулируемый активный элемент в виде трубы Вентури;

разработана физико-математическая модель саморегулируемых активных элементов в виде перфорированных водораспределительных и водозаборных коллекторов с учётом действия архимедовых сил;

разработана физико-математическая модель самодренируемого термосифонного гелиоконтра с учётом геометрических размеров активного элемента, интенсивности солнечной радиации, температуры окружающей среды и характеристик солнечного коллектора;

разработаны саморегулируемые активные элементы и инженерные методы расчета систем солнечного теплоснабжения на их основе.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны самодренируемые гелиоконтра с активным элементом в виде трубы Вентури, которые позволяют на 65÷80% сократить расход

энергии на перекачку теплоносителя по сравнению с обычным самодренируемым контуром;

разработаны конструкции гелиоколлекторов для самодренируемых гелиоустановок (патенты UZ FAP 01472, UZ FAP 01490, UZ FAP 01504);

разработаны конструкции односекционных аккумуляторов теплоты с саморегулируемыми активными элементами, повышающими эффективность использования солнечной энергии на 15-20 % за счёт обеспечения устойчивой температурной стратификации воды;

разработаны конструкции саморегулируемых термосифонных гелиоконтуров для автономных гелиоустановок горячего водоснабжения, активные элементы которых обеспечивают постоянную температуру отбираемой горячей воды и повышают их эксплуатационную готовность на 1,5-2 часа;

разработаны инженерные методы расчета саморегулируемых активных элементов и систем солнечного теплоснабжения на их основе, которые могут быть использованы в проектных организациях, конструкторских бюро и опытных экспериментальных производствах, а также в учебном процессе вузов при проектировании новых эффективных систем солнечного теплоснабжения (включены в КМК 2.04.16-18 и РСТ Уз 744-96).

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

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научное значение результатов исследования заключается в выявлении и развитии термодинамических основ альтернативного метода повышения эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения на базе применения саморегулируемых активных элементов, обеспечивающих эффективное использование нестационарных теплогидродинамических процессов в системах солнечного теплоснабжения для защиты от замерзания солнечных коллекторов, высокоэффективного стратификационного аккумуляирования теплоты и стабилизации температуры нагрева теплоносителя, разработаны математические модели теплогидродинамических процессов в саморегулируемых активных элементах, получены аналитические и критериальные уравнения для расчёта и проектирования саморегулируемых активных элементов в условиях неизотермического потока жидкости и вязкого сопротивления.

Практическое значение результатов исследований заключается в разработке инженерных методов расчета саморегулируемых активных элементов и систем солнечного теплоснабжения на их основе. Результаты выполненных научных исследований позволяют разработать конструкции

простейших саморегулируемых активных элементов, обеспечивающих существенное повышение энергетической эффективности, экономичности и надёжности гелиосистем, снижение материалоёмкости и стоимости отдельных её элементов и узлов, значительное упрощение их эксплуатации по сравнению с традиционными решениями.

Внедрение результатов исследования. Полученные результаты по повышению эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения на основе применения саморегулируемых активных элементов внедрены:

внесены изменения и рекомендации в нормативные документы по проектированию активных элементов разработанных самодренлируемых гелиоустановок, стратифицированных тепловых аккумуляторов и термосифонных гелиоконтуров (справка Министерства строительства Республики Узбекистан № 09-06/5892 от 27.07.2020 г.). В результате для климатических условий Узбекистана была создана нормативная база для проектирования простых и удешевленных до 20 % гелиоустановок с повышенной до 30 % эффективностью;

разработано Пособие по проектированию новых энергоэффективных решений для установок солнечного горячего водоснабжения (к КМК 2.04.16-2018) (справка Министерства строительства Республики Узбекистан № 09-06/5892 от 27.07.2020 г.). В результате удалось повысить энергетическую эффективность реализуемых проектов до 30 %;

разработаны и осуществлены строительством экспериментальные проекты: многоквартирного 6-комнатного жилого дома с гелиоустановкой; гелиодушевых; гелиогенераторов и автономных гелиоустановок модульного типа для приготовления горячей воды (справка АО “ToshuyjoyLITI” от 23.10.2019 г.). В результате построено более 1500 модулей с общей площадью солнечных коллекторов 26 тысяч кв.м.;

разработаны и распространены для применения типовые проекты: гелиогенераторов для приготовления горячей воды; гелиодушевых; «Технические решения сезонных систем солнечного горячего водоснабжения индивидуальных жилых домов» (справка АО “ToshuyjoyLITI” от 23.10.2019 г.). В результате расширены масштабы внедрения типовых проектов в практику.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований диссертации обсуждались на 22 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертационной работы опубликовано всего 66 научных работ, из них 1 монографии, 62 научных статей, в том числе 10 в зарубежных журналах, 12 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций. Кроме этого, получены 3 патента на полезную модель (FAP №01504, FAP № 01490, FAP № 01472) Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 208 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснована актуальность решаемой проблемы и востребованность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, выявлены объект и предмет исследований, определено соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложена научная новизна исследований и практические результаты, указано внедрение результатов исследований в производство, приведены сведения об апробации результатов исследований и опубликованных научных трудах по теме диссертационной работы, а также сведения о структуре и объёме диссертации.

В **первой** главе диссертации **«Повышение эффективности использования солнечной тепловой энергии в системах теплоснабжения: мировой и отечественный опыт»** приведён аналитический обзор современного состояния и путей совершенствования систем солнечного теплоснабжения (ССТ), рассмотрен зарубежный и отечественный опыт исследования и разработки саморегулируемых активных элементов (САЭ) для ССТ.

Анализ состояния и перспектив развития ССТ показывает о возможности разработки нового подхода их совершенствования, базирующегося на методах неравновесной термодинамики, основанных на эффективном использовании нестационарных теплогидравлических процессов путём применения САЭ.

Это позволяет управлять поведением ССТ без применения дорогостоящих электронных контроллеров, повышать теплопроизводительность солнечных коллекторов (СК) за счёт снижения потерь температурного потенциала на промежуточных теплообменниках, снижать затраты электроэнергии на циркуляцию теплоносителя, упрощать конструктивные решения гелиоустановок и их эксплуатацию, повышать энергетическую эффективность и надёжность работы гелиосистем.

Рабочая гипотеза. Предполагается, что создание простых с повышенной эффективностью и надёжностью систем солнечного теплоснабжения может быть обеспечено путем полной реализации возможностей саморегулируемых теплогидравлических процессов, основе эффективного применения саморегулируемых активных элементов.

В результате критического анализа состояния решения проблемы, литературных и патентных источников по теме диссертационной работы сформулированы цель и задачи исследований.

Во **второй** главе диссертации **«Разработка альтернативного метода повышения эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения на основе активных элементов, использующих**

саморегулируемые теплогидродинамические процессы» приведены результаты исследований по разработке термодинамических основ эффективного применения СТП в ССТ, выявлению условий возникновения эффектов саморегулирования, их основных признаков и режимных параметров, а также принципов конструирования САЭ, возникающих при изменении скорости и плотности теплоносителя, для защиты от замерзания СК, стратификационного аккумуляирования, стабилизации температуры нагреваемой воды, обеспечения равномерного распределения потока теплоносителя по каналам СК и поля СК.

Приведена классификация СТП, описание простого и сложного поведения ССТ в зависимости от управляющего гидродинамического параметра λ (рис.1), который в каждом конкретном случае может быть разной величиной: разностью температур ΔT , разностью скоростей Δv , критерием Ричардсона Ri и т.д. При малых значениях управляющего теплогидродинамического параметра λ возможно лишь одно решение a , соответствующее простому поведению системы при ОТП, когда отсутствуют динамические эффекты.

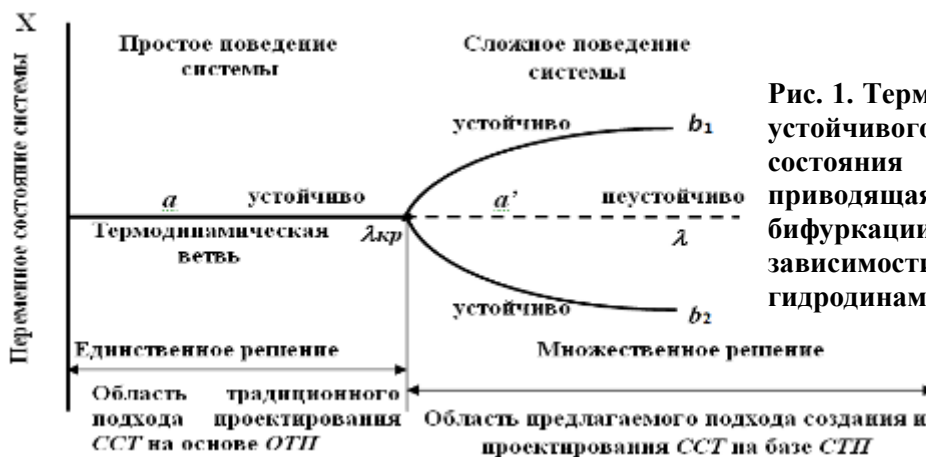


Рис. 1. Термодинамическая ветвь устойчивого и неустойчивого состояния системы ССТ, приводящая к явлениям бифуркации и бистабильности в зависимости от управляющего гидродинамического параметра λ

При переходе через некоторое критическое значение гидродинамического параметра $\lambda_{кр}$, состояние системы становится неустойчивым, так как флуктуации или малые внешние возмущения уже не гасятся. Система отклоняется от стандартного состояния и, совершая критический выбор в окрестности $\lambda = \lambda_{кр}$, переходит к новому режиму b_1 или b_2 . Оба этих режима сливаются при $\lambda = \lambda_{кр}$ и различаются при $\lambda > \lambda_{кр}$. Это явление называется бифуркацией, а наличие двух устойчивых состояний – бистабильностью.

Сделан фундаментальный вывод о том, что уравнения, описывающие СТП при сложном поведении системы в САЭ должны иметь минимум два решения, в отличие от уравнений, описывающих простое поведение системы с одним решением (см.рис.1).

Приведено описание созданных на этой основе новых саморегулируемых устройств в виде простейших САЭ для ССТ и способов их функционирования.

Отличительной особенностью разработанного СДГ, содержащего СК 1 и теплообменник 2, является сообщение дренажного бака 3 с

циркуляционными трубопроводами через суженное сечение САЭ в виде трубы Вентури 4 (рис.2, а), которая работает в режиме гидродинамического триггера. Вследствие этого при остановке насоса 5 СК дренируется, а при его включении циркуляция теплоносителя в гелиоконтуре осуществляется при избыточном гидростатическом давлении теплоносителя, характерном для традиционных систем с расширительным баком. По сравнению с известными СДГ исключены затраты энергии на преодоление избыточного гидростатического давления теплоносителя, теряемого в них в точке присоединения дренажного бака.

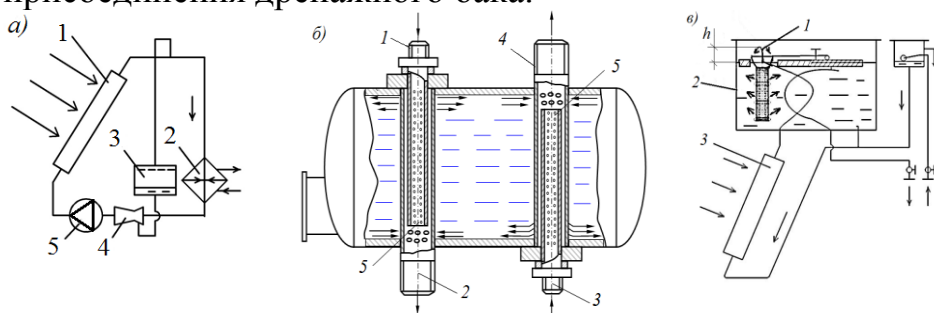


Рис.2. Принципиальные схемы СДГ (а), САТ (б) и СТГ (в) с саморегулируемыми активными элементами

Действие саморегулируемого стратификационного аккумулятора теплоты (САТ), исключающего перемешивание греющего и нагреваемого теплоносителей, поступающих в аккумулятор из контуров зарядки и разрядки, основано на естественном расслоении воды в баке под влиянием объемных (архимедовых) сил в условиях принудительной циркуляции (рис.2, б). Для этого служат САЭ в виде перфорированных труб подвода 1, 3 и отвода 2, 4 греющего и нагреваемого теплоносителей в которых площади перфорационных отверстий рассчитаны по условиям обеспечения раздачи и отбора жидкости из соответствующих температурных слоев. САЭ работают в режиме теплового триггера, способного самостоятельно переключаться между двумя устойчивыми состояниями раздачи и отбора греющего и нагреваемого теплоносителей в зависимости от их температуры благодаря действию архимедовых сил.

Особенностью саморегулирующегося термосифонного гелиоконтура (СТГ) является то, что он имеет постоянную температуру воды на выходе из СК. Прямоточный СТГ (рис.2, в) разомкнут и патрубок подачи 1 горячей воды в бак-аккумулятор 2 установлен выше уровня воды на высоту h . Так как гидравлическое сопротивление гелиоконтура повышено за счет гидростатического столба высотой h , вода при наличии солнечной радиации сможет поступить в бак, только нагревшись в СК 3 до требуемой температуры, которую можно регулировать, поднимая или опуская патрубок излива 1, играющего роль САЭ в виде воздушного гидравлического затвора.

Разработана конструкция соединения СК с равномерным распределением потока теплоносителя с САЭ в виде гидравлического коллектора. Для этого рассмотрен процесс раздачи воды конусным гидравлическим каналом длиной l , диаметром в начале d_n , а в конце d_o , вдоль которого в один ряд расположен пучок подъемных труб с одинаковыми диаметрами $\delta_{тр}$, расход теплоносителя G , скорость в начале W_n , коэффициент расхода μ (рис.3).

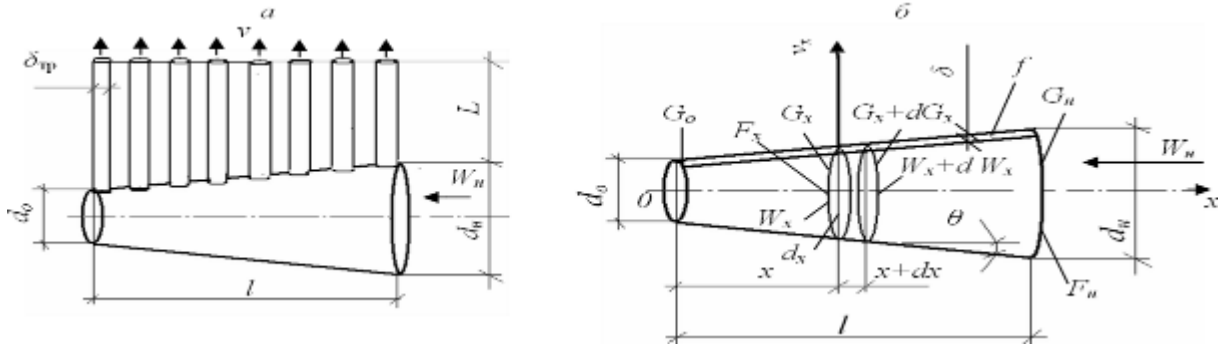


Рис. 3. Схема конусного гидравлического канала с однорядным пучком подъемных труб (а) и с условной щелью постоянной ширины δ (б)

Процесс распределением потока описан дифференциальным уравнением

$$\bar{G}_x'' \bar{G}_x' + \frac{\mu^2 \bar{f}^2}{\bar{F}_x^2} \bar{G}_x' \bar{G}_x' - \frac{\mu^2 \bar{f}^2}{\bar{F}_x^2} \left[\frac{\bar{F}_x'}{\bar{F}_x} + \frac{\lambda \bar{l}}{2 \bar{d}_x} \right] \bar{G}_x^2 = 0, \quad \text{при} \quad \left. \begin{array}{l} \bar{x} = 0 \quad \bar{G}_0 = 0 \\ \bar{x} = 1 \quad \bar{G}_H = 1 \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\text{где } \bar{f} = \frac{f}{F_n} = \frac{\delta}{F_n \cos \theta}; \quad \bar{l} = \frac{l}{d}; \quad \bar{d}_0 = \frac{d_0}{d_n}; \quad \bar{d}_x = \frac{d_x}{d_n} = \frac{d_0 + 2x \operatorname{tg} \theta}{d_n} = \frac{d_0 + 2x \frac{d_n - d_0}{2l}}{d_n} = \bar{d}_0 + (1 - \bar{d}_0) \bar{x};$$

$$\bar{F}_x = \bar{d}_x^2 = [\bar{d}_0 + (1 - \bar{d}_0) \bar{x}]^2; \quad \bar{F}_x' = 2 [\bar{d}_0 + (1 - \bar{d}_0) \bar{x}] (1 - \bar{d}_0);$$

Интегрирование дифференциального уравнения (1) выполнено численным методом. В результате расчёта были построены графики для проектирования соединения СК с заданной неравномерностью распределением потока $r_{\bar{x}}$ в зависимости от \bar{x} при различных значений величин $\mu \bar{f}$, $\lambda \bar{l}$ и \bar{d}_0 .

В третьей главе «Исследование самодренлируемых гелиоустановок с саморегулируемым активным элементом в виде трубы Вентури» рассмотрены особенности гидродинамики в СДГ с трубой Вентури. Показано, что применение последней позволяет по сравнению с обычным самодренлирующимся контуром снизить до 65-80% потери гидростатического давления, связанные с разрывом струи. Энергетическая эффективность такого гелиоконтра оценивали по относительной экономии энергии $\Delta \bar{\mathcal{E}}_B$ на привод насоса, для определения которой в работе получена зависимость

$$\Delta \bar{\mathcal{E}}_B = \left[\left(\frac{D}{d} \right)^4 \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_2} \zeta_B \right) - 1 \right] \left[\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \left(\frac{D}{d} \right)^4 + \frac{1}{\alpha_2} \zeta_{npz} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где D, d - диаметр широкого и узкого сечения трубы Вентури, м; α_1, α_2 - коэффициенты Кориолиса в узком и широком сечениях; ζ_B, ζ_{npz} - коэффициенты местного сопротивления трубы Вентури и гелиоконтра.

Для переходных гидродинамических процессов в СДГ с трубой Вентури были получено уравнение

$$\Delta p_{нас}^B = \begin{cases} \rho g H - (\alpha_1 F_1^{-2} - \alpha_2 F_2^{-2}) G^2 (2\rho)^{-1} + (S_c + S_B) G^2 & G \leq G^* \\ (S_c + S_B) G^2 & G \geq G^* \end{cases} \quad (3)$$

где $G = \rho F_2 W_2 = \rho F_1 W_1$; $S_c = A_c \left(\frac{\lambda}{D} l + \sum \zeta_c \right) = A_c \zeta_{npz}$; $S_B = A_B \zeta_B$; $A_c = \frac{16}{2\rho\pi^2 D^4}$;
 $A_B = \frac{16}{2\rho\pi^2 d^4}$; $F_1 = \frac{\pi d^2}{2}$; $F_2 = \frac{\pi D^2}{2}$.

Для выявления особенностей проектировании СДГ с САЭ в виде трубы Вентури, гидродинамический режим работы СДГ был описан следующей зависимостью

$$\Delta \bar{P}_{нас}^B = \begin{cases} 1 - \left[\left(\frac{D}{d} \right)^4 \left\{ 1 - a + a \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right\} - 1 \right] \left[\left(\frac{D}{d} \right)^4 + \zeta_{npz} \right]^{-1} & \text{для } \bar{G} \leq 1 \\ \left[\left(\frac{D}{d} \right)^4 \left\{ 1 - a + a \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right\} + \zeta_{npz} \right] \left[\left(\frac{D}{d} \right)^4 + \zeta \right]^{-1} & \text{для } \bar{G} \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

Уравнение (4) было проанализировано с точки зрения современных представлений нелинейной неравновесной термодинамики (рис.4).

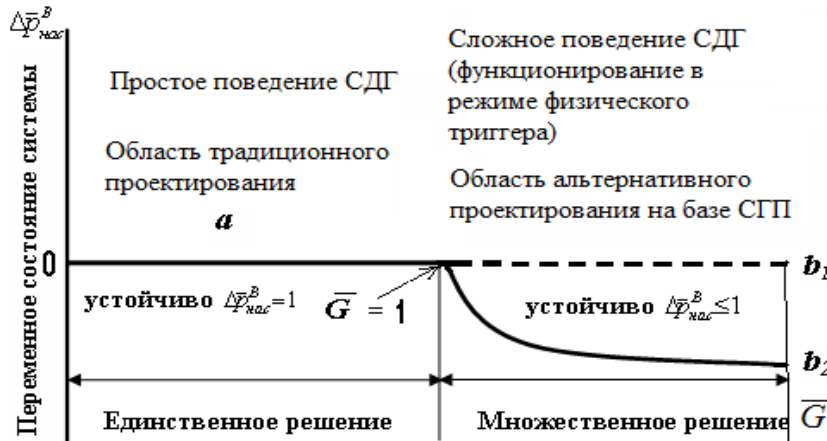


Рис. 4.
Термодинамическая
ветвь устойчивого и
неустойчивого
состояния СДГ

Как видно из рис.4, при малых значениях управляющего гидродинамического параметра G от 0 до $G=1$ возможно лишь одно решение (a), соответствующее простому поведению СДГ. В окрестности критического значения управляющего гидродинамического параметра $\bar{G}=1$ состояния системы становятся неустойчивыми, так как флуктуации или малые внешние возмущения уже не гасятся. Действуя подобно усилителю, система благодаря наличию активного элемента-трубы Вентури, отклоняется от стандартного состояния и совершая критический выбор в окрестности $\bar{G}=1$, т.е. когда расход равен критическому $G=G^*$, переходит к новому режиму - от циркуляции с разрывом струи (при $\bar{G} < 1$, линия a , которая при отсутствии САЭ в области $\bar{G} \geq 1$ продолжалась бы по линии b_1), к циркуляции без разрыва струи (линии b_2 при наличии САЭ в области $\bar{G} \geq 1$).

Таким образом, возможны два устойчивых режима работы СДГ: с разрывом при отсутствии САЭ (область $\bar{G} < 1$) и без разрыва струи при наличии САЭ (область $\bar{G} \geq 1$). Оба этих режима сливаются при $\bar{G}=1$ (или $G=G^*$) и различаются при $\bar{G} \geq 1$. Следовательно явление бифуркации, а также наличие двух устойчивых состояний, т.е. бистабильность характерны для СДГ. Появляющиеся в результате бифуркации решения характеризуются

нарушением симметрии благодаря включению в СДГ активного элемента в виде трубы Вентури.

Существенное влияние на энергетическую эффективность $\Delta \bar{\mathcal{E}}_B$ оказывают геометрические (D/d) и гидродинамические (ζ_B) характеристики трубы Вентури, оптимальным местом размещения которой, согласно проведенному анализу распределения гидростатического давления в гелиоконтуре, является всасывающий патрубок насоса.

Для расчета геометрических размеров трубы Вентури получена формула

$$\frac{D}{d} = \sqrt[4]{\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \left(1 + \frac{2gH}{\alpha_2 W_2^{*2}} \right)}. \quad (5)$$

где H – геометрическая высота гелиоустановки, м; W – скорость воды в широком сечении трубы Вентури, м/с.

Вследствие отличия геометрических и гидродинамических характеристик потока в трубе Вентури самодренирующегося гелиоконтур от характеристик потока в стандартных сужающих устройствах и других ранее изученных конфузorno-диффузорных переходах, в работе проведены испытания трубы Вентури с большой степенью сужения потока для области вязкостного сопротивления. Опытные данные обрабатывали в критериальной форме. Общий вид критериального уравнения получен на основе анализа размерностей и соответствует “ π - теореме”.

По результатам испытаний труб Вентури установлены следующие критериальные зависимости для переходов при степени их сужения от 2 до 5:

- с криволинейным конфузором

- с прямолинейным конфузором

$$\zeta_{кр} = 17,639 Re^{-0,464} \left(\frac{D}{d} \right)^{0,66} \left(\frac{\delta}{d} \right)^{0,09}; \quad (6) \quad \zeta_{пр} = 8,046 Re^{-0,379} \left(\frac{D}{d} \right)^{0,70} \left(\frac{\delta}{d} \right)^{0,09}. \quad (7)$$

Уравнения (6) и (7) справедливы при $Re = (0,25 \div 1,5) 10^5$; $D/d = 2 \div 5$; $\delta/d = 0,2 \div 0,6$; $l/d = 1$.

Предложена методика гидравлического расчета самодренирующегося гелиоконтур, основанная на методе характеристик сопротивления.

Штатный режим работы СДГ связан с ежедневным пуском и остановкой циркуляционных насосов гелиоконтур, что может сопровождаться гидравлическим ударом (ГУ) из-за резкого изменения скорости движения потока теплоносителя в режимах разгона и остановке насосов.

В связи с этим была разработана методика расчёта ГУ при пуске и остановке циркуляционных насосов применительно к СДГ. Получены формулы для определения величины неполного ГУ при пуске и остановке насоса в СДГ в зависимости от его геометрических и режимных параметров и характеристик циркуляционного насоса:

- при пуске насоса $\Delta h_{уд}^{пуск} = \frac{2L\Delta v_p}{gT_3}$ (8); - при остановке насоса $\Delta h_{уд}^{ост} = \frac{2L\Delta v_d}{gT_3}$ (9)

В случае разрыва сплошности потока при ГУ, возникшем вследствие внезапного отключения насоса, скачок напора составит

$$h_{уд}^{ост.разрыв} = \frac{c}{g} v_2 + 3h_1, \quad (10)$$

где h_1 – статический напор, определяемый как разница между отметкой максимального уровня воды в системе и отметкой установки насоса.

Разработана схема защиты СДГ от ГУ с применением САЭ (рис.5).

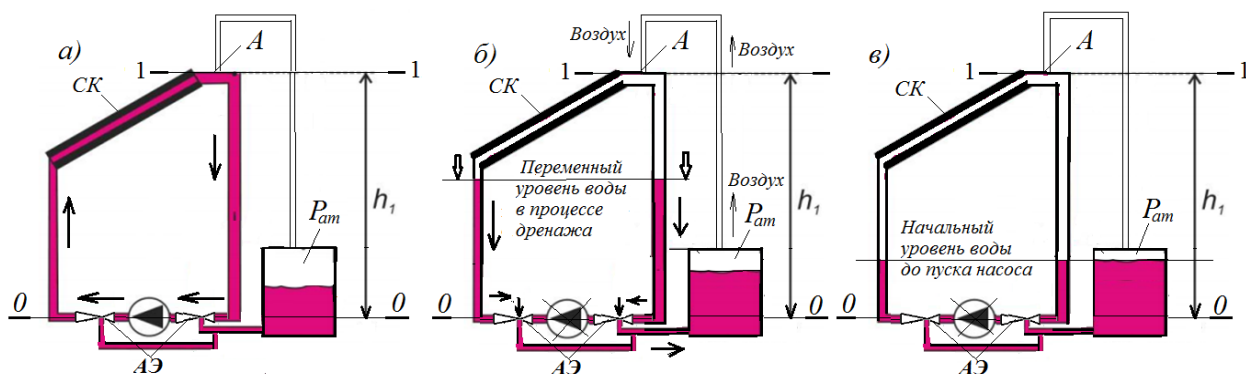


Рис.5. Схема защиты СДГ от ГУ с применением САЭ в виде труб Вентури
а – при работающем насосе; б – при дренировании СК; в – перед запуском насоса

В данной схеме саморегулируемые АЭ в виде труб Вентури обеспечивают слив воды из СК по подающим и обратным трубопроводам гелиоконтура в дренажный бак, минуя насос. При этом отверстия в суженном сечении труб Вентури находятся постоянно в открытом состоянии, поэтому при аварийном отключении электроэнергии и остановке циркуляционного насоса, они беспрепятственно обеспечивают слив теплоносителя в дренажный бак в обход насосу. Тем самым предотвращается ГУ при остановке насоса.

В четвертой главе «Исследование стратификационных аккумуляторов с саморегулируемым активным элементом в виде перфорированной трубы» приведены результаты исследований САТ с АЭ в виде перфорированных труб.

Принципиально явления, происходящие в САТ при раздаче и отборе воды перфорированными водораспределителями и водозаборниками, не отличаются от изученных явлений в раздающих и сборных коллекторах теплообменных аппаратов. Однако действие архимедовых сил, соизмеримых в саморегулируемых водораспределителях с силами инерции, усложняет картину течения жидкости.

Составленное для этого случая дифференциальное уравнение, описывающее процесс раздачи неизотермического потока при действии объемных сил (рис.6), имеет вид:

$$\overline{W}_x'' \overline{W}_x' + p \overline{W}_x' \overline{W}_x + q \overline{W}_x^2 = p Ri, \quad (11)$$

$$\text{где } p = \mu^2 \bar{f}^2; q = -0,5 \mu^2 \bar{f}^2 \lambda \bar{l}; Ri = \frac{-gl \Delta \rho}{W_H^2 \rho}; \bar{f} = \frac{f}{F} = \frac{\delta l}{F}; \bar{l} = \frac{l}{d_s}.$$

$$\text{Граничные условия: } \left. \begin{array}{l} \text{при } \bar{x} = 0 \quad \overline{W}_0 = 0 \\ \bar{x} = 1 \quad \overline{W}_H = 1 \end{array} \right\} \quad (12)$$

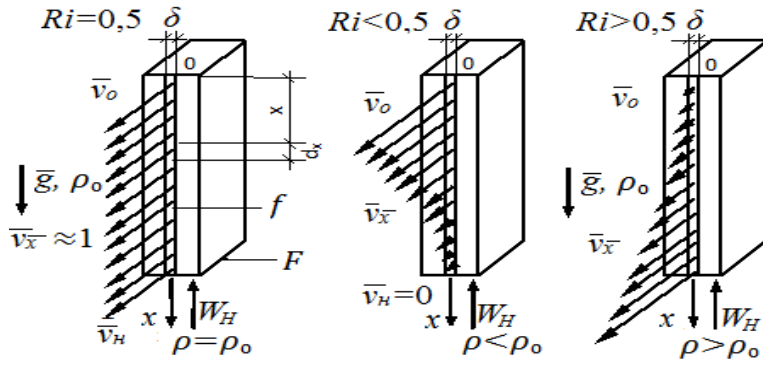


Рис.6. Схема селективного распределения неизотермического потока в САЭ

Безразмерный комплекс Ri является модифицированным числом Ричардсона, которое характеризует соотношение архимедовых сил и сил инерции в начале водораспределителя. В частности $Ri=0,5$ означает равенство этих сил ($-gl\Delta\rho = 0,5\rho W_H^2$). Если архимедовы силы направлены вверх ($\Delta\rho > 0$), то $Ri < 0$, в противном случае ($\Delta\rho < 0$), $Ri > 0$.

Определяющей величиной при расчете водораспределителя является параметр условной щели $\mu\bar{f}$. Значение параметра условной щели при котором скорость истечения воды на одном из концов водораспределителя равно нулю, названо критическим ($\mu\bar{f}^{kp}$), т.е. когда выполняются дополнительные условия (см.рис.6):

$$Ri < 0,5 \quad \bar{v}_H = 0; \quad (13) \quad \text{или} \quad Ri > 0,5 \quad \bar{v}_0 = 0. \quad (14)$$

Дифференциальное уравнение (11) с граничными (12) и дополнительными условиями (13)-(14) решали численным методом на ПЭВМ и аналитически при $\lambda\bar{l} = 0$, т.е. для водораспределителя малой длины с гладкими стенками.

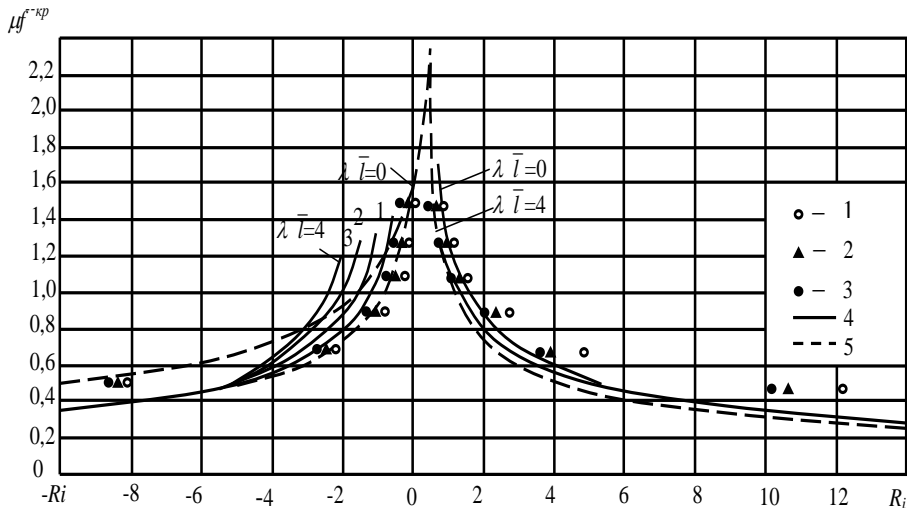
В последнем случае для относительной скорости движения потока внутри водораспределителя было получено аналитическое выражение

$$\bar{W}_x = \sqrt{2Ri\bar{x} + \frac{2C_1}{p}} \sin\left[\pm \frac{2}{3}\sqrt{p}\left(\bar{x} + \frac{C_1}{pRi}\right) + \frac{C_2}{\sqrt{pRi\bar{x} + C_1}}\right], \quad (15)$$

а для критического параметра условной щели и относительной скорости истечения воды по длине водораспределителя получены следующие зависимости:

$$\mu\bar{f}^{kp} = \begin{cases} 1,5\pi Ri [1 - (1 - 2Ri)^{1,5}]^{-1} & \text{при } Ri \leq 0,5 \\ 1,5 \text{Arcsin}(2Ri)^{-0,5} & \text{при } Ri \geq 0,5 \end{cases} \quad (16); \quad \bar{v}_x^{kp} = \begin{cases} \frac{\pi}{2} \cos \frac{\pi}{2} \bar{x} & \text{при } Ri < 0,5 \\ 1,5\sqrt{\bar{x}} & \text{при } Ri > 0,5 \end{cases} \quad (17)$$

Согласно приведенным расчетам на ПЭВМ, формула (16) справедлива и для водораспределителя большой длины с шероховатыми стенками ($\lambda\bar{l} \neq 0$) при $|Ri| \geq 5$, так как в данном диапазоне чисел Ричардсона влияние $\lambda\bar{l}$ на $\mu\bar{f}^{kp}$ пренебрежимо мало. Если $|Ri| < 5$, то длину и шероховатость стенок водораспределителя следует учитывать при расчете, используя для этого теоретические кривые, построенные по результатам вычислений на ПЭВМ (рис.7).



1, 2, 3 – эксперимент при $\lambda \bar{l} = 0,28; 0,30; 0,36$; 4 – расчет на ЭВМ; 5 – расчет по формуле (9)

Рис.7. Зависимость $\mu \bar{f}^{кр}$ от Ri при различных $\lambda \bar{l}$

Эксперименты по проверке теоретических решений, проведенные на аэродинамическом стенде, показали хорошее согласие выведенных аналитических зависимостей с экспериментальными данными (см. рис.7).

Полученные решения проанализированы с точки зрения современных представлений нелинейной неравновесной термодинамики (рис.8).

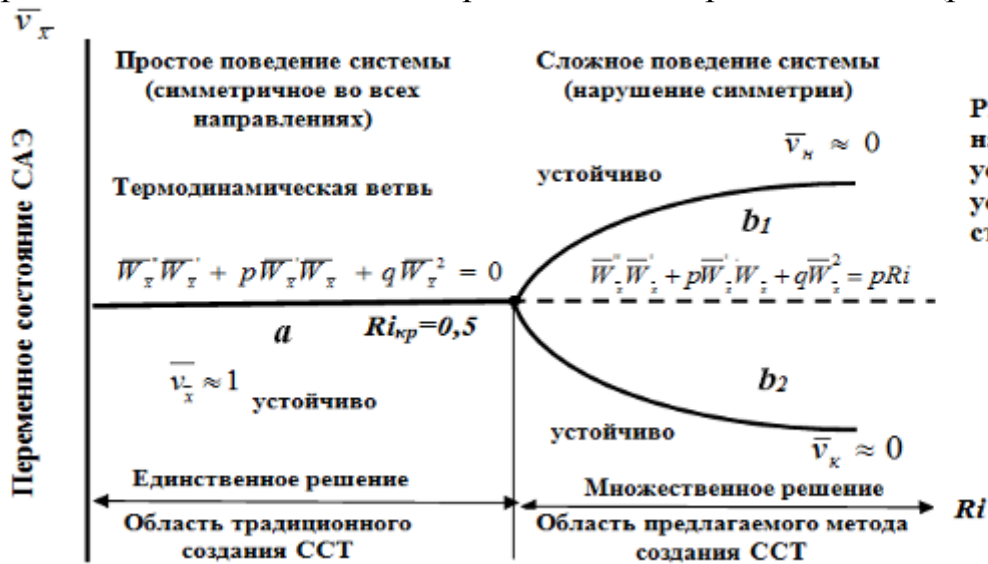


Рис.8. Термодинамическая ветвь устойчивого и неустойчивого состояния САЭ

Как видно из рис.8, при малых значениях управляющего теплогидродинамического параметра Ri от 0 до $Ri_{кр}=0,5$ возможно лишь одно решение (a), соответствующее простому поведению САЭ, когда отсутствуют динамические эффекты из-за того, что архимедовы силы подавляются силами инерции. В этом случае уравнение (11) вырождается в известное уравнение В.Н.Талиева, когда его правая часть равна нулю, а относительная скорость истечения по длине почти равномерная $\bar{v}_x \approx 1$.

Данная область соответствует традиционному методу проектирования с равномерной раздачей потока теплоносителя. В этой области система способна гасить внутренние флуктуации или внешнее возмущения. По этой причине такую ветвь состояния называют термодинамической ветвью.

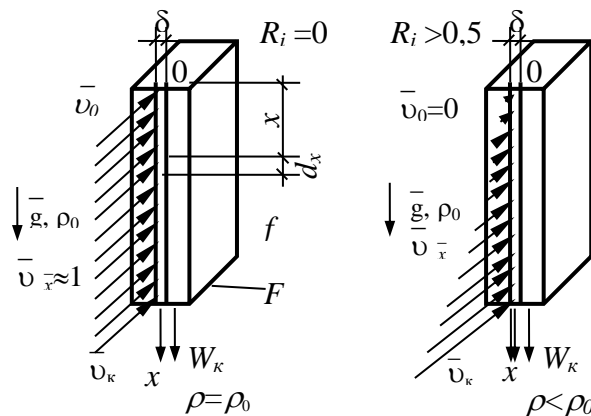
В окрестности критического значения управляющего теплогидродинамического параметра $Ri=Ri_{кр}=0,5$ состояния САЭ на этой ветви становятся неустойчивыми и САЭ отклоняется от стандартного состояния и

совершая критический выбор в окрестности $Ri = Ri_{кр}$, переходит к новому режиму, т.е. от равномерной (симметричной) раздачи теплоносителя по длине водораспределителя (при $Ri=0$), к селективной (с нарушением симметрии) раздаче теплоносителя в зависимости от направления действия архимедовых сил.

При этом возможны два устойчивых режима (b_1 и b_2): с преобладающей раздачей в верхнюю (при $Ri < 0,5$) или в нижнюю часть (при $Ri > 0,5$) САЭ. Оба этих режима сливаются при $Ri = Ri_{кр}$ и различаются при $Ri > Ri_{кр}$.

Для случая селективного отсоса потока (рис.9), при соосном расположении водораспределителя внутри водозаборного коллектора, составлено следующее дифференциальное уравнение

$$\overline{W}_x'' \overline{W}_x' - 2p \overline{W}_x' \overline{W}_x + q \overline{W}_x^2 = p Ri, \quad (18) \quad \text{Граничные условия:}$$



$$\overline{x} = 0 \quad \overline{W}_n = 0 \quad (19)$$

Дополнительные условия для определения $\mu \bar{f}^{kp}$:

$$Ri = 0 \quad \overline{V}_x \approx 1; \quad (20)$$

$$Ri > 0 \quad \overline{V}_o = 0. \quad (21)$$

Рис.9. Схема селективного отбора неизотермического потока в САЭ

Дифференциальное уравнение (18) с граничными (19) и дополнительными условиями (20 и (21) решали для случая $\lambda \bar{l} = 0$, т.е. для водозаборного коллектора малой длины с гладкими стенками.

При этом для относительной скорости движения потока внутри водозаборного коллектора малой длины с гладкими стенками было получено аналитическое выражение

$$\overline{W}_x = \sqrt{Ri \bar{x} + \frac{C_1}{p}} sh \left[\pm \frac{\sqrt{8p}}{3} \left(\bar{x} + \frac{C_1}{p Ri} \right) + \frac{C_2}{\sqrt{p Ri \bar{x} + C_1}} \right],$$

а для критического параметра условной щели получена зависимость

$$\mu \bar{f}^{kp} = \frac{3}{\sqrt{8}} Arsh \frac{1}{\sqrt{Ri}}. \quad (22)$$

На основе сравнения числовых значений $\mu \bar{f}^{kp}$, получаемых по формулам (16) и (22) при $|Ri| \geq 1,5$, показано, что при соосном расположении водораспределителя внутри водозаборного коллектора, расчет коллектора из условий работы в режиме раздачи одновременно обеспечивает оптимальность его работы в режиме селективного отбора теплоносителя.

Предложена методика расчета водораспределителя стратификационного аккумулятора тепла, для случая неизотермического потока при действии объемных сил.

Рассмотрена задача оценки эффективности температурного расслоения воды в аккумуляторах, для чего описан процесс его зарядки следующим дифференциальным уравнением
$$d\tau = \frac{M}{G} \frac{dt_a}{t_2 - t_1}. \quad (23)$$

На основе решения уравнения (23), получена зависимость, описывающая реальный процесс зарядки аккумулятора при любой степени расслоения

$$\bar{Q} = \begin{cases} \bar{\tau} & \bar{\tau} \leq (1 - \beta_3) \\ 1 - \beta_3 \exp\left(\frac{1 - \beta_3 - \bar{\tau}}{\beta_3}\right) & \bar{\tau} \geq (1 - \beta_3) \end{cases} \quad (24)$$

Введен коэффициент стратификации, учитывающий степень перемешивания аккумулирующей среды при зарядке и разрядке аккумулятора
$$K_c = 1 - \beta_3 = \frac{Q_c}{Q_{\max}}. \quad (25)$$

Получена приближённая зависимость K_c от кратности циркуляции теплоносителя через аккумулятор до полной его зарядки, справедливая при $\bar{\tau} \cdot < 5$
$$K_c = 1,357 - 0,38\bar{\tau} + 0,02173\bar{\tau}^2. \quad (26)$$

Коэффициент стратификации однозначно характеризует степень температурного расслоения воды в аккумуляторе. Чем выше K_c , тем больше расслоение. Это позволяет производить сравнение аккумуляторов между собой по эффективности аккумулирования тепла независимо от температурного режима и использовать величину K_c в качестве паспортной характеристики аккумулятора при нормативном расходе теплоносителя.

Пятая глава «Исследование термосифонных систем горячего водоснабжения с саморегулируемым активным элементом в виде изливающегося патрубка» посвящена исследованию саморегулирующегося термосифонного гелиоконтра.

Для гелиоконтра с воздушным гидравлическим затвором в виде патрубка излива (см. рис.1, в) составлено уравнение:

$$-agh_1(t_2 - t_1) = (S + \alpha_2 A) \frac{\eta^2 E^2}{C_p^2 (t_2 - t_1)^2} + gh_2(at_2 + b) \quad (27)$$

Уравнение (27) решали относительно температуры воды t_2 на выходе гелиоприемника:

$$t_2 = \sqrt[3]{-L + \sqrt{L^2 + M^3}} + \sqrt[3]{-L - \sqrt{L^2 + M^3}} - N \quad (28)$$

где

$$L = \frac{[bh_2 - at_1(3h_1 + 2h_2)]^3}{27a^3(h_1 + h_2)^3} - \frac{[bh_2 - at_1(3h_1 + 2h_2)][at_1^2(3h_1 + h_2) - 2bh_2t_1]}{6a^2(h_1 + h_2)^2} + \frac{(bh_2 - ah_1t_1)t_1^2}{2a(h_1 + h_2)} + \frac{(S + \alpha_2 A)\eta^2 E^2}{2c_p ga(h_1 + h_2)}$$

$$M = \frac{3a(h_1 + h_2)[at_1^2(3h_1 + h_2) - 2bh_2t_1] - [bh_2 - at_1(3h_1 + 2h_2)]^2}{9a^2(h_1 + h_2)^2}; N = \frac{bh_2 - ah_1(3h_1 + 2h_2)}{3a(h_1 + h_2)}$$

Из (27) видно, что при $(S + \alpha_2 A) \rightarrow 0$, температура горячей воды t_2 не зависит от интенсивности солнечной радиации, а определяется лишь

температурой холодной воды t_1 при постоянных h_2 и h_1 , т.е. система полностью саморегулируема.

Для замкнутого гелиоконтра ($h_2=0$) решение уравнения (27) относительно температуры горячей воды имеет вид

$$t_2 = t_1 + \sqrt[3]{\frac{(S + \alpha_2 A) \eta^2 E^2}{-agh_1 C_p^2}}. \quad (29)$$

С использованием уравнения (29) рассмотрена работа замкнутого гелиоконтра в различных режимах. Получена зависимость для относительной температуры воды на выходе гелиоприемника

$$\bar{t}_2 = 1 + \Pi(\bar{Q}_T^{2/3} - 1), \quad (30)$$

где \bar{t}_2 - отношение текущего значения температуры к расчетному значению; Π - параметр гелиоконтра, характеризующий степень температурной стабильности нагрева воды

$$\Pi = \sqrt[3]{\frac{(S + \alpha_2 A) Q_T^{*2}}{-agh_1 C_p^2 t_2^{*3}}}. \quad (31)$$

Для оценки влияния кратности циркуляции воды на суточную эффективность термосифонной системы рассмотрена математическая модель работы гелиоконтра без водоразбора при квазистационарном режиме и отсутствии перемешивания воды в баке. Получено выражение, характеризующее соотношение суточной эффективности термосифонной системы при однократной и многократной циркуляции теплоносителя через солнечный коллектор

$$\frac{Q_0}{Q_M} = \frac{U_{LM} [1 - \exp(-U_{LO} F' / g_1 C_p)] [E(\tau\alpha) - U_{LO}(t_H - t_B)]}{U_{LO} [1 - \exp(-U_{LM} F' / g_1 C_p)] [E(\tau\alpha) - U_{LM}(t_H - t_B)]} \quad (32)$$

Установлено, что при нагреве воды от 10 до 60° заметное увеличение (от 3 до 7 %) производительности коллектора с ростом кратности наблюдается только при $n > 5$. Для реальных кратностей циркуляции ($n=1,5 \div 3$), наблюдаемых в термосифонных системах, эти различия пренебрежимо малы (менее 1,5 %).

Разработана методика гидравлического расчета СТГ с заданной температурной стабильностью нагрева воды.

Разработана методика расчета САЭ стратификационного аккумулятора теплоты термосифонной солнечной водонагревательной установки (рис.10).

В термосифонном гелиоконтуре архимедовы силы направлены вверх ($\Delta\rho > 0$), и модифицированное число Ричардсона $Ri < 0$. Для этого случае получены зависимости для определения критического параметра условной щели водораспределителя $\mu \bar{f}^{KP}$ и суммарной площади его отверстий f

$$\mu \bar{f}^{KP} = - \frac{0,75\pi l}{ah \left[\left(1 + \frac{l}{ah} \right)^{3/2} - 1 \right]}; \quad (33) \quad f = \frac{0,75\pi l F}{\mu ah \left[\left(1 + \frac{l}{ah} \right)^{3/2} - 1 \right]}, \quad (34)$$

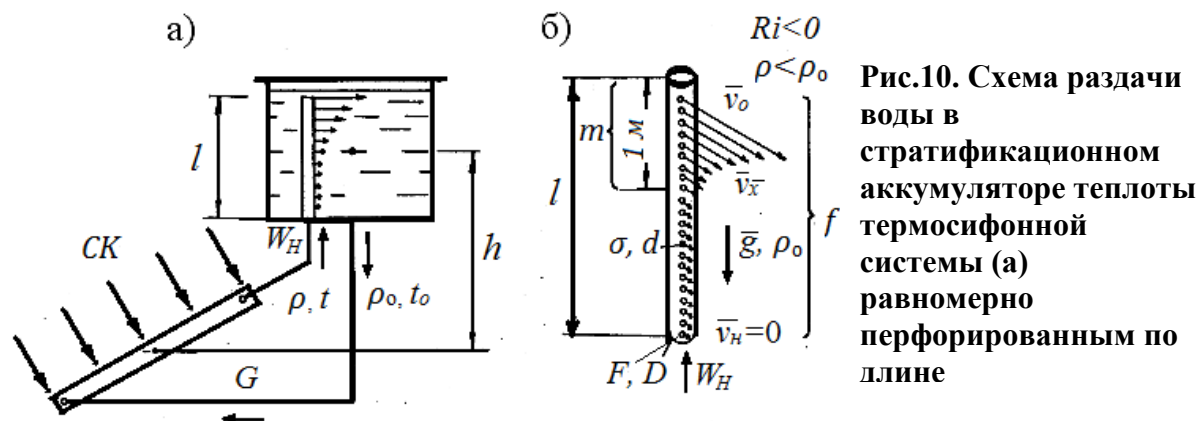


Рис.10. Схема раздачи воды в стратификационном аккумуляторе теплоты термосифонной системы (а) равномерно перфорированным по длине

Отличительной особенностью ССТ и оборудования с САЭ являются их высокие технико-экономические показатели, которые обеспечиваются за счёт конструктивной простоты и компактности САЭ; повышения срока службы и надёжности работы; сокращения расхода электроэнергии на перекачку теплоносителя; отсутствия затрат энергии на привод исполнительных механизмов приборов автоматики; замены электронных контроллеров САЭ; упрощения обслуживания и эксплуатации.

Полученные результаты исследований включены АО «ToshuyjoyLITI» (бывший ТашЗНИИЭП) в нормативные документы ВСН 52-86 Установки солнечного горячего водоснабжения; КМК 2.04.16-96* Установки солнечного горячего водоснабжения; КМК 2.04.16-2018 Установки солнечного горячего водоснабжения; РСТ Уз 744-96. Коллекторы солнечные. Общие технические условия; Пособие по проектированию новых энергосберегающих решений по установкам солнечного горячего водоснабжения (к КМК 2.04.16-2018); использованы АО «ToshuyjoyLITI» (бывший ТашЗНИИЭП) при разработке 6 экспериментальных и 8 типовых проектов, внедрённых в практику проектирования и строительства в Республике Узбекистан и за её пределами.

Результаты исследований внедрены также в образовательный процесс Ташкентского архитектурно-строительного института в форме учебника «Issiqlik, gaz ta`vinoti va ventilatsiya tizimlari» при подготовке бакалавров и магистрантов (справка Министерства строительства Республики Узбекистан № 09-06/5892 от 27.07.2020 г.).

Выполненные технико-экономические расчёты показали, что для жилого сельского дома на две семьи из 10 человек дисконтированный срок окупаемости гелиоустановки при использовании САЭ сокращается по отношению с традиционной гелиоустановкой с контроллерами на 1,2 года, т.е. на 15,2%, а экономический эффект составляет 4002033 сум/год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа научных, экспериментальных и технологических разработок развиты научные представления о саморегулируемых тепловых и гидродинамических процессах, протекающих в системах солнечного теплоснабжения и на этой базе разработан инновационный метод повышения

их эффективности и надёжности, основанный на применении саморегулируемых активных элементов. Метод основан на принципах современной неравновесной термодинамики и позволяет создавать простые, надёжные и экономные технические решения взамен сложных и дорогостоящих электронных контроллеров, применяемых для регулирования нестационарных тепловых и гидродинамических процессов в системах солнечного теплоснабжения.

2. Разработаны теоретические и экспериментальные основы создания саморегулируемых активных элементов. Установлено, что уравнения, описывающие теплогидравлические процессы в саморегулируемых активных элементах имеют два решения, соответствующие явлению бифуркации и наличию двух устойчивых состояний, характерных для бистабильности в отличие от уравнений, описывающих простое поведение системы с одним решением, которое используется при проектировании традиционных систем. Теоретически и экспериментально показано, что режимы работы разработанных самодренируемых гелиоустановок, высокоэффективных стратификационных аккумуляторов теплоты и термосифонных систем с саморегулируемыми активными элементами соответствуют явлению бифуркации и характеризуются наличием двух устойчивых состояний.

3. Развита теория разработки и проектирования самодренируемых гелиоустановок. Самодренирование гелиоконтра на основе превращения потенциальной и кинетической энергии потока в трубе Вентури сокращает на 65-80 % затраты энергии на циркуляцию теплоносителя по сравнению с традиционными аналогами. Существенное влияние на энергетическую эффективность такого гелиоконтра оказывают геометрические и гидродинамические характеристики трубы Вентури, оптимальным местом размещения которой является всасывающий патрубок насоса. Для практических расчетов самодренируемого гелиоконтра экспериментально получены гидродинамические характеристики труб Вентури в виде критериальных уравнений. Уравнения (6) и (7), обобщающие экспериментальные данные по малогабаритным трубам Вентури, справедливы в области вязкостного сопротивления при степени сужения потока от 2 до 5.

4. Развита теория разработки и проектирования саморегулируемых стратификационных аккумуляторов теплоты. Поддержание температурной стратификации при зарядке и разрядке водяных аккумуляторов тепла достигается применением селективной раздачи и отбора теплоносителя по высоте бака. Саморегулирование раздачи и отбора можно осуществить, используя влияние архимедовых сил на движение жидкости. Саморегулируемый стратификационный аккумулятор обеспечивает повышение эффективности системы солнечного теплоснабжения на 15-20 %, позволяет отказаться от многосекционной конструкции аккумулятора со сложной автоматикой слежения. Впервые разработана физико-математическая модель процессов раздачи и отбора теплоносителя в аккумуляторах с перфорированными трубопроводами, включающая

дифференциальные уравнения (11) и (18), граничные условия (12) и (19), справедлива для неизотермических потоков при действии объемных сил.

5. В стратификационных аккумуляторах следует применять водораспределители и водоотборники с параметром условной щели, равным критическому значению, определяемому из условия равенства нулю скорости истечения и отсоса воды на их концах. При этом аналитическим решением уравнений модели для чисел Ричардсона $|Ri| > 5$ являются формулы (16) и (22). Если $|Ri| < 5$, то длину и шероховатость стенок перфорированных трубопроводов следует учитывать, используя численные решения уравнений на ПЭВМ. На устойчивость стратифицированного (расслоенного) течения теплоносителя в объеме аккумулятора, наряду с числом Рейнольдса, существенное влияние оказывает безразмерная величина, называемая числом Ричардсона. Для устойчивого стратификационного течения в объеме аккумулятора должно выполняться условие $Ri_a \geq Ri_{kp} \geq 0,85 \div 1,0$. С помощью предложенного коэффициента статификации K_c можно производить сравнение различных конструкций водяных аккумуляторов тепла по степени совершенства температурного расслоения воды при их зарядке (разрядке). Коэффициент стратификации рекомендуется использовать в качестве основной паспортной характеристики аккумулятора при нормативном расходе теплоносителя.

6. Развита теория гидравлического расчёта теплообменной панели солнечного водонагревательного коллектора листотрубного типа с заданной неравномерностью распределения потока жидкости по подъёмным трубам. Установлены количественные соотношения и расчётные зависимости между конструктивными параметрами, влияющими на распределение потока для трёх принципиально возможных способов выравнивания. Разработанный метод гидравлического расчёта может быть использован как при конструировании отдельного солнечного водонагревательного коллектора, так и при проектировании соединительных трубопроводов поля солнечных коллекторов.

7. Развита теория разработки и проектирования термосифонных систем солнечного горячего водоснабжения. Показано, что эффективность термосифонных систем при нагреве воды от 10 до 60 °С практически не зависит от кратности циркуляции теплоносителя. Саморегулируемый гелиоконтур с однократной циркуляцией обеспечивает улучшение потребительских свойств гелиосистемы за счет стабилизации температуры отбираемой воды и повышения эксплуатационной готовности при снижении эффективности менее, чем на 1,5 %.

8. Температура воды на выходе из солнечного коллектора термосифонных систем может быть определена по выявленным зависимостям, являющимся решением уравнения (27). Стабильность температуры нагрева воды увеличивается при снижении гидравлического сопротивления гелиоконтура. Метод гидравлического расчета саморегулируемого гелиоконтура с использованием предложенного

параметра Π , определяемого по зависимости (31), позволяет проектировать автономные системы с заданной температурой стабильностью нагрева воды.

9. Результаты проведённых исследований систем солнечного теплоснабжения с саморегулируемыми активными элементами внедрены: в экспериментальные и типовые проекты, реализованные строительством в Республике Узбекистан и за её пределами, в КМК 2.04.16-18 «Установки солнечного горячего водоснабжения», в Пособие по проектированию к КМК 2.04.16-18, а также в образовательный процесс подготовки бакалавров и магистрантов.

**SINGLE SCIENTIFIC COUNCIL DSc.26/30.12.2019.T.11.01 AT
TASHKENT ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION INSTITUTE
ON GRADUATION OF DOCTOR OF SCIENCE**

TASHKENT INSTITUTE OF ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

RASHIDOV YUSUF KARIMOVISH

**INCREASING THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF SOLAR
HEAT SUPPLY SYSTEMS BY USING SELF-REGULATING ACTIVE
ELEMENTS**

05.09.03 – Heat supply. Ventilation, air conditioning. Gas supply and lighting

ABSTRACT
of the doctoral (DSc) dissertation on technical sciences

Tashkent – 2020

The theme of doctoral dissertation (DSc) was registered with № B2019.4.DSc/T332 at Higher Attestation Commission of Cabinet of Ministry of the Republic of Uzbekistan.

The dissertation was conducted at the Tashkent Institute of Architecture and Construction. The abstract of the dissertation is in three languages (Uzbek, sian, English(resume)) its pages are at (www.taqi.uz) and information and educational portal “Ziyonet” (www.ziyonet.uz).

Official opponents:

Uzoqov Gulom Norboevich

doctor of technical sciences, professor

Boboev Sobirjon Muradullaevich

doctor of technical sciences,

Abbosov Yorkin Sadikovich

doctor of technical sciences, associate professor

Leading organization:

Namangan Institute of civil engineering

Defensing of the dissertation will take place on “ ” 2020 at at the Scientific Council numbered dsc. 26/30.12.2019.T.11.01 in the meeting including Tashkent Architecture and Construction Institute as the following address: 100011, Tashkent Abdulla Kadiriy Street, 7 B. Phone (99871) 241-10-84, Fax: (99871) 241-80-00, e-mail: taqi_atm@edu.uz.

**The dissertation is registered in Information-Resource Center at Tashkent Institute of Architecture and Construction (registration number №). The text of the dissertation is available at the Information Research Center at the following address: 100084, Tashkent, Kichik Xalqa yuli Street, 7. Phone: (+99871) 235-43-30, Fax: (99871) 234-15-11, e-taqi_atm@edu.uz
mail:**

**The abstract of the dissertation was circulated on “ ” 2020.
(mailing report № on “ ” 2020)**

X.A. Akramov

**Deputy of the chairman of the Scientific Council for the award
the degree of Doctor of Science, Doctor of technical Sciences, Professor**

Kh.Kh. Kamilov

**Scientific Secretary of the Scientific Council for the award
doctoral degree, Doctor of technical Sciences, Professor**

S.A. Khodzhaev

**Chairman of scientific seminar at the attachment to the Scientific Council
for the award the degree of Doctor of technical Science,
Doctor of technical Science, Professor**

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

The aim of the study is to develop theoretical and experimental foundations for the creation and design of simple solar heat supply systems with increased efficiency and reliability based on the use of self-regulating active elements.

The tasks of the research:

development of an innovative method to improve the efficiency and reliability of solar heat supply systems based on active elements;

development of schematic diagrams and design of self-regulating active elements to protect solar collectors from freezing, stratification heat accumulation and regulation of the heating medium heating temperature;

the study of physical phenomena and the establishment of the laws of thermohydrodynamics in new self-regulating active elements, the determination of their hydraulic and energy characteristics;

development of physical and mathematical models of the operation of self-regulating active elements and verification of their adequacy to experimental data;

the establishment of the basic criterion equations and calculation formulas necessary for the reasonable design and design of self-regulating active elements;

development of schemes for solar heat supply systems, based on created self-regulating active elements and identification of the features of their use in solar heat supply systems;

development of engineering methods for calculating self-regulating active elements and solar heat supply systems based on them, assessment of the energy efficiency of using these devices.

The object of study is solar heat supply systems with self-regulating active elements.

Scientific novelty of the research work is as following stages:

scientific concepts of self-regulating thermal and hydrodynamic processes in solar heat supply systems have been developed and on this basis an innovative method has been developed to improve their efficiency and reliability, based on the use of self-regulating active elements;

the scientific and engineering foundations for the creation of self-regulating active elements have been developed, the conditions of bistability and bifurcation for active elements have been identified, leading to the emergence of self-organization and self-regulation effects in solar systems, their main features and operating parameters, as well as the principles of designing self-regulating thermal and hydrodynamic processes;

methods and modes of operation, circuit solutions and designs of self-regulating active elements for frost protection of solar collectors, highly efficient stratification heat accumulation, stabilization of the heating agent heating temperature have been developed;

the regularities of hydrodynamics in a self-draining solar circuit with a self-regulating active element in the form of a Venturi tube, operating in a hydrodynamic trigger mode, have been established; analytical dependence for calculating its energy efficiency and experimental data on the hydraulic

characteristics of the Venturi pipe in the viscous resistance region, processed in a criterion form were obtained;

a physical and mathematical model of a self-regulating stratification heat accumulator has been developed, compiled taking into account the thermohydrodynamic effects caused by the nonisothermal flow in perforated water distribution and intake collectors and the action of Archimedean forces; analytical dependences for calculating the critical parameter of the conditional gap of perforated water distribution and water intake collectors;

a physical and mathematical model of the battery charging (discharging) process was developed, taking into account the degree of temperature stratification of water; an analytical dependence is obtained that describes the real process of charging (discharging) a battery with a different degree of stratification; the coefficient of stratification, which uniquely characterizes the degree of temperature stratification of water in the battery, and the dependence for its calculation are proposed;

a physical and mathematical model of a self-regulating thermosyphon solar circuit with a self-regulating active element in the form of a spout pipe has been developed; analytical dependencies for calculating the water temperature at the outlet from the solar collector and its relative stability were obtained; revealed the parameter of the solar circuit, which characterizes the degree of temperature stability of water heating; a dependence is obtained to assess the influence of the circulation rate on the daily efficiency of the thermosyphon system.

The structure and volume of the thesis. The structure of the dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusion, a list of used literature and applications. The volume of the thesis is 263 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть, I part)

1. Рашидов Ю.К. Инновационный метод повышения эффективности и надёжности систем солнечного теплоснабжения на основе применения саморегулируемых активных элементов. Монография. - Toshkent. "Iqtisod-Moliya". - 2019. - 224 с.
2. Rashidov Yu.K. Alternative Method for Calculating Solar Heat Supply Systems // Applied Solar Energy. – USA. 2006. – Vol.42, №3 – pp. 52-54 (05.00.00; №4).
3. Rashidov Yu.K., Vokhidov A.U. Calculation of the Self-Regulating Active Element of a Stratified Heat Accumulator of a Solar Heating System // Applied Solar Energy. – USA. 2016. – Vol.52, №2. – pp. 100-104 (05.00.00; №4).
4. Rashidov Yu.K. Calculation of a Self-Regulated Active Element for a MultiLayer Stratified Thermal Storage Tank of a Solar Heat Supply System // Applied Solar Energy. – USA. 2016. – Vol.52, №3. – pp. 178-182 (05.00.00; №4).
5. Rashidov Yu.K., Vokhidov A.U. Improvement of the Flow Distribution Uniformity Over Riser Pipes of the Beam-Absorbing Heat Exchanger of a Solar Water Heating Plate-Type Collector with Forced Circulation // Applied Solar Energy. – USA. 2016. – Vol.52, №4. – pp. 251-255 (05.00.00; №4).
6. Rashidov Yu.K., Sultanova Sh.Yu., Sur'atov Kh. T. Increase in Dependability and Efficiency of Self-Draining Water Systems of Solar Heat Supply // Applied Solar Energy. – USA. 2017. – Vol.53, №1. – pp. 16-22 (05.00.00; №4).
7. Rashidov Yu.K. Calculating the Hydrodynamic Characteristics of the Active Section of the Self-Draining Solar Loop of a Heating System // Applied Solar Energy. – USA. 2018. – Vol.54, №2. – pp. 95-98 (05.00.00; №4).
8. Rashidov Yu.K., Rashidov K.Yu., Mukhin I.I., Sur'atov Kh.T., Rakhimov Z.Z. Features of the Design of a Self-Draining Solar Power Plant with an Active Element // Applied Solar Energy. – USA. 2018. – Vol.54, №3. – pp. 182-186 (05.00.00; №4).
9. Rashidov Yu.K., Rashidov K.Yu., Mukhin I.I., Sur'atov Kh.T., Orzimatov J. T., Karshiev Sh. Sh. Main Reserves for Increasing the Efficiency of Solar Thermal Energy in Heat Supply Systems (Review) // Applied Solar Energy. – USA. 2019. – Vol.55, №2. – pp. 91-100 (05.00.00; №4).
10. Rashidov Yu.K., Rashidov K.Yu. The Main Changes Made to The Building Codes And Regulations of the "Solar Hot Water Installations" to Increase Energy Efficiency of Projected Solar Power Plants // Applied Solar Energy. – USA. 2019. – Vol.55, №3. – pp. 219-222 (05.00.00; №4).
11. Rashidov Yu.K., Orzimatov J.T., Rashidov K.Yu., Fayziev Z. X. The Method of Hydraulic Calculation of a Heat Exchange Panel of a Solar Water-Heating Collector of a Tube–Tube Type with a Given Nonuniform Distribution of Fluid

- Flow Along Lifting Pipes// Applied Solar Energy. – USA. 2020. – Vol.56, №1. – pp. 219-222 (05.00.00; №4).
12. Рашидов Ю.К. Влияние кратности циркуляции теплоносителя на эффективность одноконтурных термосифонных систем солнечного горячего водоснабжения// Гелиотехника.– Ташкент, 1993. – № 5, С.58-60 (05.00.00; №1).
 13. Рашидов Ю.К., Рашидов К.Ю. Республиканский стандарт “Коллекторы солнечные. Общие технические условия”// Гелиотехника.– Ташкент, 1999. – № 1, С.80-83 (05.00.00; №1).
 14. Рашидов Ю.К., Абдухамидов Д.У. К вопросу разработки альтернативного метода совершенствования систем солнечного теплоснабжения на основе исследования неизотермических потоков жидкости в саморегулирующихся устройствах// Меъморчилик ва қурилиш муаммолари – Самарканд: СамДАҚИ, 2003. – №2, С. 59-61 (05.00.00; №14).
 15. Рашидов Ю.К. Термодинамические основы альтернативного метода совершенствования систем солнечного теплоснабжения на базе синергетических эффектов самоорганизации и саморегулирования //Архитектура. Қурилиш. Дизайн. – Ташкент: ТАҚИ, 2006. – №1, С 101-105 (05.00.00; №4).
 16. Рашидов Ю.К. Альтернативный метод совершенствования систем солнечного теплоснабжения на основе синергетических процессов самоорганизации и саморегулирования// Альтернативная энергетика и экология – Саров. - 2006, № 5 (37) С.88-89 (05.00.00; №11).
 17. Рашидов Ю.К., Шерназаров Э.Э. Конструктивные решения солнечно-электрические установок горячего водоснабжения модульного типа //Архитектура. Қурилиш. Дизайн. – Ташкент: ТАҚИ, 2009. – №1-2, С. 50-53 (05.00.00; №4).
 18. Рашидов Ю.К., Рашидова Л.Ю. Разработка солнечно-электрических установок горячего водоснабжения модульного типа с регулируемыми криволинейными концентраторами // Архитектура. Қурилиш. Дизайн.– Ташкент: ТАҚИ, 2013, №1, С.57- 59 (05.00.00; №4).
 19. Рашидов Ю.К., Рашидова Л.Ю. Опыт проектирования и строительства активных систем солнечного теплоснабжения в Узбекистане// Архитектура. Қурилиш. Дизайн.-Ташкент: 2013, №2, С.51-55 (05.00.00; №4).
 20. Рашидов Ю.К. Саморегулирующиеся активные элементы для водяных систем солнечного теплоснабжения// Архитектура. Қурилиш. Дизайн. - Ташкент : ТАҚИ, 2013, №4, С.51-55(05.00.00; №4).
 21. Рашидов Ю.К. Расчёт самодреннрующегося гелиоконтурa водяной отопительной системы с активным элементом // Архитектура. Қурилиш. Дизайн. - Ташкент: ТАҚИ, 2014, №3, С.51-55 (05.00.00; №4).
 22. Рашидов Ю.К., Султанова Ш.Ю. Расчет гидродинамических характеристик активного элемента самодреннрующегося гелиоконтурa

- отопительной системы// Архитектура. Курилиш. Дизайн. - Ташкент: ТАҚИ, 2014, №4, С.40-44 (05.00.00; №4).
23. Рашидов Ю.К. Султанова Ш.Ю. Расчет термосифонного гелиоконтурa с активным элементом // Архитектура. Курилиш. Дизайн. - Ташкент : ТАҚИ, 2015, №1, С.55-58 (05.00.00; №4).
 24. Рашидов Ю.К. Султанова Ш.Ю. Расчет активного элемента стратификационного аккумулятора теплоты термосифонной солнечной водонагревательной установки// Архитектура. Курилиш. Дизайн. - Ташкент : ТАҚИ, 2015, №2, С.46-49 (05.00.00; №4).
 25. Рашидов Ю.К. Султанова Ш.Ю. Оценка эффективности температурного расслоения воды в стратификационных аккумуляторах теплоты // Архитектура. Курилиш. Дизайн. - Ташкент : ТАҚИ, 2015, №3, С. 47-49 (05.00.00; №4).
 26. Рашидов Ю.К. Султанова Ш.Ю. Метод расчета саморегулирующегося активного элемента стратификационного аккумулятора теплоты системы солнечного теплоснабжения// Архитектура. Курилиш. Дизайн. - Ташкент: ТАҚИ, 2015, №4, С.42-46 (05.00.00; №4).
 27. Рашидов Ю.К. Султанова Ш.Ю. Метод расчета саморегулирующегося активного элемента многослойного стратификационного аккумулятора теплоты системы солнечного теплоснабжения// Архитектура. Курилиш. Дизайн. - Ташкент: ТАҚИ, 2016, №1, С.45-50 (05.00.00; №4).
 28. Рашидов Ю.К. Султанова Ш.Ю. К вопросу улучшения равномерности распределения потока жидкости в системе солнечных коллекторов в условиях принудительной циркуляции// Архитектура. Курилиш. Дизайн. - Ташкент: ТАҚИ, 2016, №2, С.51-57 (05.00.00; №4).
 29. Рашидов Ю.К. Султанова Ш.Ю. К вопросу повышения надёжности и эффективности самодренлируемых водяных систем солнечного теплоснабжения// Архитектура. Курилиш. Дизайн. - Ташкент: ТАҚИ, 2016, №3-4, С.103-107 (05.00.00; №4).
 30. Рашидов Ю.К., Султанова Ш.Ю., Каримов Ф.Г., Суръатов Х.Т., Абдуллаев К.Ю. Разработка метода расчёта саморегулирующихся теплогидравлических процессов в системах солнечного теплоснабжения // Меъморчилик ва курилиш муаммолари – Самарканд: СамДАҚИ, 2016. – №4, С. 108-110 (05.00.00; №4).
 31. Рашидов Ю.К., Орзиматов Ж.Т., Исмаилов М.М. Оптимизация режимных параметров плоских солнечных коллекторов в системах солнечного горячего водоснабжения //Фаргона политехника институти илмий-техника журнали. ФерПИ, 2018, спец. вып.1, с.108-112 (05.00.00; №20).
 32. Рашидов Ю.К., Орзиматов Ж.Т. Переработанные КМК “Установки солнечного горячего водоснабжения” Архитектура. Курилиш. Дизайн. ТАҚИ, 2019, №4, с. 168-171 (05.00.00; №4).
 33. Рашидов Ю.К., Исмаилов М.М. Повышение эффективности солнечных водонагревательных установок с плоскими коллекторами: оптимизация схемных решений и режимных параметров. Научно–технический журнал ФерПИ, 2019, Том 23. спец. вып. № 3, с.100-104 (05.00.00; №20).

34. Рашидов Ю.К. Самодренируемые гелиоустановки атмосферного типа: способы защиты от гидравлических ударов//Гелиотехника.- 2020, том 56, №2, с.115-120 (05.00.00; №1).

II бўлим (II часть, part II)

35. Патент № FAP 01504. Способ изготовления теплоприёмной панели гелиоколлектора/ Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р., Рашидов Ю.К., Абдухамидов Д.У., Рашидов К.Ю.// Бюл. 2020, №6 (230). – с. 85.
36. Патент № FAP 01490. Плоская лучепоглощающая теплообменная панель/ Аvezов Р.Р., Рашидов Ю.К., Рашидов К.Ю.// Бюл. – 2020, №4 (228).- с. 82.
37. Патент № FAP 01472. Листотрубная теплоприёмная панель гелиоколлектора/ Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р., Рашидов Ю.К., Абдухамидов Д.У., Рашидов К.Ю.// Бюл. – 2020, №2 (226). – с. 112.
38. Рашидов Ю.К. Система солнечного горячего водоснабжения с активным элементом. Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Сборник тезисов докладов республиканской конференции, посвященной 100-летию академика С.А. Азимова. Ташкент 6 - 7 ноября, 2014, с.212-213.
39. Рашидов Ю.К. Оценка эффективности систем солнечного горячего водоснабжения с плоскими солнечными коллекторами при послойном нагреве теплового аккумулятора. «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». Материалы международной конференции, Ташкент 5-6 ноября, 2015, с. 429-433.
40. Рашидов Ю.К. О повышении равномерности распределения потока жидкости в системе солнечных коллекторов. Материалы конференции «Возобновляемые источники энергии: технологии и установки». НПО «Физика-Солнце» АН РУз им. С.А. Азимова. институт материаловедения 28-29 июня. Ташкент 2016, с.67-69.
41. Рашидов Ю.К. Оценка эффективности температурного расслоения воды в стратификационных аккумуляторах теплоты. Материалы конференции «Возобновляемые источники энергии: технологии и установки». НПО «Физика-Солнце» АН РУз им. С.А. Азимова. институт материаловедения 28-29 июня. Ташкент 2016, с.69-71.
42. Рашидов Ю.К. Повышение надёжности и эффективности самодренируемых водяных систем солнечного теплоснабжения. Материалы конференции «Возобновляемые источники энергии: технологии и установки». НПО «Физика-Солнце» АН руз им. С.А. Азимова. Институт материаловедения 28-29 июня. Ташкент 2016, с.71-73.
43. Рашидов Ю.К. Расчет гидродинамических характеристик активного элемента самодренируемого гелиоконтра отопительной системы//Труды международная конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», Ташкент, 13-14 июня 2017 г., секция III, с.53-58.
44. Рашидов Ю.К., Оценка эффективности систем солнечного горячего водоснабжения с однократным нагревом воды в плоских солнечных коллекторах. Международная научно-практическая конференция

- «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность–2018», Севастополь 24-27 сентября 2018 года, стр.993-997.
45. Рашидов Ю.К., Повышение эффективности использования солнечной тепловой энергии в системах теплоснабжения путём минимализации температурных потерь при передаче тепла в их элементах. Международная научно-практическая конференция «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность–2018», Севастополь 24-27 сентября 2018 года, стр.998-1001.
46. Рашидов Ю.К., Каршиев Ш.Ш., Мухин И.И., Рашидов К.Ю. Расчётные зависимости для проектирования самодренлируемой гелиоустановки с активным элементом. Международная научно-практическая конференция «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность–2018», Севастополь 24-27 сентября 2018 года, стр.1002-1006.
47. Рашидов Ю.К., Рашидов К.Ю., Мухин И.И., Суръатов Х.Т. Повышение эффективности использования солнечной тепловой энергии в системах теплоснабжения за счет совершенствования их схемных решений и режимных параметров путём применения активных элементов. Материалы конференции. «Использование возобновляемых источников энергии: Новые исследования, технологии и инновационные подходы». Ташкент 25-26 сентября 2018 года, стр.128-133.
48. Рашидов Ю.К. Переработанные строительные нормы и правила «Установки солнечного горячего водоснабжения». Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции (23– 26 сентября 2019 г.) – Севастополь: СевГУ, 2019. – с.1357-1360.
49. Рашидов Ю.К. Системы солнечного теплоснабжения: мировой опыт и перспективы развития в условиях Узбекистана Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, 23– 26 сентября 2019 г. – Севастополь: СевГУ, 2019. – с.1361- 1365.
50. Рашидов Ю.К., Исмоилов М.М., Орзиматов Ж.Т., Рашидов К.Ю., Каршиев Ш.Ш. Повышение эффективности плоских солнечных коллекторов в системах теплоснабжения путём оптимизации/ Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность–2019: Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, 23–26 сентября 2019 г. – Севастополь: СевГУ, 2019. – с.1366-1371.
51. Рашидов Ю.К., Исмоилов М.М., Рашидов К.Ю., Файзиев З.Х. Определение оптимального количества расчётных слоев многослойного водяного стратификационного аккумулятора теплоты при расчете саморегулирующегося активного элемента/ Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, 23– 26 сентября 2019 г. – Севастополь: СевГУ, 2019. – с.1372-1376.

52. Рашидов Ю.К., Исмоилов М.М., Рашидов К.Ю., Файзиев З.Ф. Повышение равномерности распределения потока жидкости по подъемным трубам лучепоглощающей теплообменной панели солнечного водонагревательного коллектора листотрубного типа в условиях принудительной циркуляции при действии объёмных сил/ Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, 23– 26 сентября 2019 г. – Севастополь: СевГУ, 2019. – с.1377-1382.
53. Рашидов Ю.К., Каршиев Ш.Ш., Рашидов К.Ю., Орзиматов Ж.Т. Самодренируемые гелиоустановки: особенности защиты от гидравлических при пуске и остановке циркуляционных насосов/ Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, 23–26 сентября 2019 г. – Севастополь: СевГУ, 2019. – с.1383-1387.
54. Рашидов Ю.К., Орзиматов Ж.Т., Рашидов К.Ю., Файзиев З.Ф. Метод гидравлического расчёта теплообменной панели солнечного водонагревательного коллектора листотрубного типа с заданной неравномерностью распределения потока жидкости в условиях принудительной циркуляции/ Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, 23– 26 сентября 2019 г. – Севастополь: СевГУ, 2019.– с.1391-1395.
55. Рашидов Ю.К., Файзиев З.Х. Повышение эффективности систем солнечного теплоснабжения с плоскими солнечными коллекторами: основные резервы и возможные пути их реализации «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» - 15-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Сборник научных трудов: БНТУ, Минск, 2019, т. 2., 124-130 с.
56. Рашидов Ю.К., Файзиев З.Х. Самодренируемые гелиоустановки: опыт разработки и применения в мировой и отечественной практике «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» - 15-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Сборник научных трудов: БНТУ, Минск, 2019, т. 2., 130-137 с.
57. Rashidov Yu.K. Self-draining atmospheric solar systems: methods of protection against water hammer. International Scientific-Practical Conference SOLAR ENERGY: Priority research and development trends December 20-21, Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 62-63.
58. Rashidov Yu.K., Orzimatov J.T., Rashidov K.Yu., Fayziev Z.F. The method of hydraulic calculation of a heat exchange panel of a solar water-heating collector of a tube-tube type with a given non-uniform distribution of fluid flow along lifting pipes International Scientific-Practical Conference SOLAR ENERGY:

- Priority research and development trends December 20-21, Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 63-64.
59. Ю.К. Рашидов. Самодренируемые гелиоустановки: особенности расчёта гидравлического удара. Международная научно-практическая онлайн конференция по теме “Современные проблемы альтернативного развития науки, образования и производства”.–Андижан: АМИ, ч.3, - 2020.– 221-229 с.
 60. Рашидов Ю.К.. Повышение эффективности систем солнечного теплоснабжения на основе применения саморегулируемых активных элементов. Международная научно-практическая онлайн конференция по теме “Современные проблемы инновационного развития науки, образования и производства”. – Андижан: АМИ, ч. 3, - 2020. – 229-237 с.
 61. Рашидов Ю.К., Файзиев З.Х. Расчёт гидравлического удара в самодренируемых гелиоустановках. Материалы международной научно-практической конференции на тему “Проблемы и решения внедрения инновационных технологий в сфере инженерных коммуникаций”. ч. II. Самарканд-2020.– с. 232-236.
 62. Рашидов Ю.К., Исмоилов М.М. Повышение теплопроизводительности солнечных коллекторов в системах теплоснабжения путём оптимизации их режимных параметров Материалы международной научно-практической конференции на тему “Проблемы и решения внедрения инновационных технологий в сфере инженерных коммуникаций”. ч. II. Самарканд-2020. – с. 121 - 125.
 63. Рашидов Ю.К., Айтмуратов Б. Особенности расчета саморегулируемого активного элемента водяного бака-аккумулятора теплоты. Материалы международной научно-практической конференции на тему “Проблемы и решения внедрения инновационных технологий в сфере инженерных коммуникаций”. ч. II. Самарканд-2020. – с. 47 - 51.
 64. Рашидов Ю.К. Самодренируемые гелиоустановки: инновационные технологии по защите от гидравлических ударов. Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари” Республика илмий-амалий анжумани материаллар тўплами. Ўзбекистон. Наманган-2020.- с.435-437.
 65. Рашидов Ю.К., Исмоилов М.М. Оптимизация режимных параметров солнечных коллекторов в системах теплоснабжения. Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари” Республика илмий-амалий анжумани материаллар тўплами. Ўзбекистон. Наманган-2020.- с.433-435.
 66. Рашидов Ю.К., Файзиев З.Х. Расчёт гидравлического удара в самодренируемых гелиоустановках. Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари” Республика илмий-амалий анжумани материаллар тўплами. Ўзбекистон. Наманган-2020. - с.441-443.

