

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

МУХТАРОВ ФАРРУХ ХАНДАМОВИЧ

**ХЎЖАЛИК ВА ИШЛАБ ЧИҚАРИШ БИНОЛАРИДА ҲАВОНИ
СОВИТИШ ТИЗИМИНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ ИККИ БОСҚИЧЛИ
БУҒЛАТИБ СОВИТГИЧ АСОСИДА ОШИРИШ**

05.05.04 – Саноат иссиқлик энергетикаси

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

Тошкент – 2021

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

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

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

Мухтаров Фаррух Хандамович

Хўжалик ва ишлаб чиқариш биналарида ҳавони совитиш тизимининг самарадорлигини икки босқичли бўғлатиб совитгич асосида ошириш..... 3

Мухтаров Фаррух Хандамович

Повышение эффективности систем охлаждения воздуха бытовых и производственных помещений на основе двухступенчатого испарительного охладителя 23

Mukhtarov Farrukh Khandamovich

Improving the efficiency of air cooling systems for domestic and industrial premises based on a two-stage evaporative cooler 43

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 47

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

МУХТАРОВ ФАРРУХ ХАНДАМОВИЧ

**ХЎЖАЛИК ВА ИШЛАБ ЧИҚАРИШ БИНОЛАРИДА ҲАВОНИ
СОВИТИШ ТИЗИМИНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ ИККИ БОСҚИЧЛИ
БУҒЛАТИБ СОВИТГИЧ АСОСИДА ОШИРИШ**

05.05.04 – Саноат иссиқлик энергетикаси

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

Тошкент – 2021

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда хўжалик ва ишлаб чиқариш бинолари ҳавосини мўтадиллашда (совитиш, иситиш, шамоллатиш ва намлантириш) учун буғлатиб совитиш қурилмаларидан фойдаланиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда «... энергия истеъмолининг доимий ортиши ва рақобат туфайли аста-секин кам энергия сарфлайдиган энергия самарадор ускуналардан фойдаланиш зарурияти юзага келган. Буғланма совитгичлардан фойдаланиш ва ўрнатиш харажатлари одатий музлатгич ёки кондиционерларга қараганда 50% ёки ундан камроқни ташкил этган»¹. Бу борада, жумладан, жаҳонда барча илмий ва муҳандислик фаолияти табиий ва энергетик ресурс захираларидан оқилона фойдаланиш йўлини излашга ва инсон ҳаёти фаолиятини таъминлайдиган экологик тоза ва энергия тежамкор қурилмаларни яратиш, жаҳон амалиётида ҳавони мўтадиллаш тизимлари энергия самарадорлигини ошириш учун буғланма совитгичларидан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда хўжалик ва ишлаб чиқариш бинолари ҳавосини мўтадиллаш тизимларида буғлатиб совитиш усулларида фойдаланиш, тизимга таъсир этувчи омилларни аниқлаш ва моделлаштириш, икки босқичли буғлатиб совитиш қурилмаларини такомиллаштириш ва ишончлилигини ошириш, шунингдек, ҳавони мўтадиллаш тизимларида энергия истеъмолини камайтирадиган замонавий технологияларни ишлаб чиқиш масалаларига қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу соҳада, жумладан, турар – жой ва жамоат бинолари, хўжалик ва ишлаб чиқариш бинолари ҳавосини мўтадиллаш тизимлари учун совикликнинг асосий манбаи сифатида буғ компрессорли машиналар қўлланилади, бироқ, улар энергия ва ресурс тежамкорлигини таъминлаш бўйича тадқиқотлар устувор ҳисобланади. Шу билан бирга, ҳавони мўтадиллаш тизимларида буғланма совитгичлардан фойдаланиш долзарб масалалардан ҳисобланади.

Мамлакатимизда иқтисодиётнинг муҳим тармоғи бўлган энергетика соҳасини ривожлантириш соҳанинг технологик даражасини янгилаш, жумладан, бино ва иншоотларда ҳавони мўтадиллаш тизимларида конструктив ва иш режим кўрсаткичларини моделлаштириш, қурилманинг геометрик ўлчамларини ва унга сарфланадиган захираларни, энергия истеъмолини камайтириш ишлари амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар Стратегиясида, жумладан, «...иқтисодиётнинг энергия ва ресурс сифимларини камайтириш, ишлаб чиқаришда энергия тежовчи технологияларни жорий этиш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш...»² каби вазифалари белгиланган. Мазкур вазифани амалга оширишда ҳавони мўтадиллаш тизимларини (совитиш, иситиш, шамоллатиш ва намлантириш) икки босқичли буғланма совитгичлардан фойдаланиб такомиллаштириш муҳим масалалардан ҳисобланади.

¹https://www.researchgate.net/publication/267762698_Review_of_research_and_application_of_evaporative_cooling_in_preservation_of_fresh_agricultural_produce

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947 сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2015 йил 5 майдаги ПҚ-2343-сон «2015-2019 йилларда иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия сарфи ҳажмини қисқартириш, энергияни тежайдиган технологияларни жорий этиш чора-тадбирлари дастури тўғрисида» ги, 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 дастури тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъерий – 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 технологияларни ривожлантиришнинг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилиш даражаси. Ҳавони мўътадиллаш тизимларида содир бўладиган иссиқлик ва масса алмашинув жараёнлари режимини ҳисоблаш, ҳавони мўътадиллаш тизимлари бўйича йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, Sakarya University (Туркия), Stauttgard University, Dresden University of technology (Германия), Polytechnic University of Milan (Италия), Волгоград давлат архитектура қурилиш университети, Новосибирск давлат техника университети, Миллий тадқиқот университети «МЭИ» (Россия), Тошкент архитектура қурилиш институти, Тошкент давлат техника университети, ЎзР ФА Энергетика муаммолари институтида кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Бино ва иншоотларда ҳавони мўътадиллаш буғланма совитгичлар асосида ҳамда иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларининг илмий асосларини ечишга қаратилган назарий ва илмий муаммоларни ҳал қилишда машҳур олимлар Какорин О.Я., Нестеренко А.В., Пономаренко В.С., Берман Л.Д., Гоголин А.А., Ладиженский Р.М., Карпис Е.Е., Михеев М.А., Эккерт Э.Р., Баркалов Б.В., Богословский В.Н., Мигай В.К., Назаренко В.С., Грановский В.Л., Поз М.Я., Пеклов А.А., Степанова Т.А., Соколик А.Н., Холмберг Р.Б., Sparrow Е.М., Besant R. W., Watt J.R., Hess A.J., Bacon R.A. ва бошқа олимлар катта ҳисса қўшишган.

Республикамизда ҳавони мўътадиллаш тизимида иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини жадаллаштириш ҳамда уларнинг самарадорлигини ошириш борасида қуйидаги ўзбек олимлари Захидов Р.А., Авезов Р.Р., Мухиддинов Д.Н., Рашидов Ю.К., Исманхужаева М.Р., Исаходжаев Х.С. ва бошқа олимлар томонидан илмий изланишлар олиб борилган ва олиб борилмоқда. Таҳлиллар натижасида, буғлатиб совитиш тамойилига асосланган ҳавони мўътадиллаш тизимларида энергияни тежаш мақсадида замонавий технологияларни қўллаган ҳолда совитгичларни такомиллаштириш имкониятлари мавжудлиги аниқланди. Сезиларли муваффақиятларга қарамай ҳар бир босқичда айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргични қўллаган ҳолда тизимнинг энергетик тежамкорлигини ошириш етарли даражада

ўрганилмаган. Мазкур ишда, содир бўлувчи иссиқлик ва гидродинамик жараёнларни таҳлил қилиш ва ҳавони мўтадиллаштириш тизими учун қурилманинг мақбул технологик ва геометрик кўрсаткичларини танлаш, совитилган сув ва ҳаво кўрсаткичларини аниқлаш ечимлари тақдим этилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институти тадқиқот режасининг №ЁО-А3-008 «Намунавий лойиҳалар асосида қишлоқ жойларида қурилган уйлар ҳавосини совитиш тизимини икки босқичли айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичли буғлатиб совитгич асосида ишлаб чиқиш» амалий лойиҳаси доирасида бажарилган (2017-2018).

Тадқиқотнинг мақсади ишлаб чиқариш биноларида буғланма совитгич қурилмаларидан фойдаланиб, ҳавони мўтадиллаш тизими самарадорлигини ошириш ва энергия тежамкор икки босқичли буғланма совитгич қурилмаси схемасини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ҳавони буғланма совитиш усуллари ва қурилмалари, уларда амалга ошириладиган термодинамик, иссиқлик масса алмашинув жараёнлари ва қонуниятларини таҳлил қилиш;

бино ва иншоотлар учун ҳавони мўтадиллаштирувчи айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргич билан такомиллаштирилган икки босқичли буғланма қурилманинг физик моделини ишлаб чиқиш;

форсункали камерада содир бўладиган ҳавога сув билан ишлов бериш жараёнларини математик моделини ишлаб чиқиш;

яратилган ҳаво мўтадиллаштирувчи қурилма учун ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш ва сонли тақиқотлар ўтказиш;

ҳавони мўтадиллаштирувчи икки босқичли қурилмани такомиллаштириш бўйича тадқиқотлар ўтказиш ҳамда олинган натижаларни назарий натижалар билан таққослаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ҳавони икки босқичли буғлатиб мўтадиллаштирувчи қурилма олинган.

Тадқиқотнинг предметини икки босқичли буғланма ҳаво совитгичларининг энергетик ва иссиқлик техникавий кўрсаткичлари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот даврида ҳавони мўтадиллашда термодинамик, иссиқлик ва масса алмашинув жараёнлари қонуниятларини тажриба қурилмасида ва назарий ҳисоблашдан олинган натижаларни солиштириш ҳамда қурилма ва жараёнларнинг рационал параметрларини ҳисоблаш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргич асосида энергия тежамкор икки босқичли буғлатиб совитиш қурилмасининг схемаси ишлаб чиқилган;

ўтиш бирликлар сони асосида ҳавога сув билан ишлов бериш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган;

айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргични мақбул геометрик кўрсаткичлари тажриба синов асосида аниқланган;

буғланма совитгичларни ҳавони мўътадиллаш тизимларида фойдаланиш муддатлари, техник-иқтисодий ва экологик кўрсаткичлари аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси куйидагилардан иборат:

ҳавони мўътадиллаш ва совитиш учун икки босқичли буғланма қурилмаси яратилган;

энергия самарадор ҳавони мўътадиллаштирувчи икки босқичли буғланма қурилмаси айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргич билан такомиллаштирилган ва муҳандислик ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган;

қурилма самарадорлигини оширувчи айланма регенератив иссиқлик алмаштиргич насадқасининг геометрик кўрсаткичларини ҳисоблаш бўйича кўрсатмалар ишлаб чиқилган;

бино микроиклим талабини инобатга олган ҳолда буғлатиш камерасининг конструктив кўрсаткичлари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги буғлатиб совитиш камерасида иссиқлик ва масса ўтиш жараёни қонуниятлари асосида назарий ва тажриба изланишлари олиб борилган, олинган натижалар таққосланган ҳамда уларнинг қийматлари муҳандислик нуқтайи-назаридан бир–бирига мос келиши билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти икки босқичли буғланма ҳавони мўътадиллаш қурилмасида ҳавони талаб қилинган ҳароратгача совитиш, ҳамда иссиқлик ва масса ўтиш жараёларини моделлаштириш, шунингдек, айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичнинг геометрик кўрсаткичларининг рационал қийматларини аниқлаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти энергия самарадор схема асосида бино ва иншоотлар ҳавосига иссиқлик ва намлик билан ишлов беришда жорий қилинган. Олинган натижаларнинг амалий аҳамияти икки босқичли буғланма совитиш қурилмасида айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичлар қўллаш орқали энергия истеъмолининг қисқариши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Хўжалик бино ва иншоотларида айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргич билан такомиллаштирилган икки босқичли буғлатиб совитиш қурилмаси:

айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргич билан такомиллаштирилган икки босқичли буғлатиб совитиш қурилмаси «ROYAL FAMILY» МЧЖ да жорий қилинган (Ўзбекистон Савдо-саноат палатасининг 2021 йил 18 январдаги 6/04-15-484-сон маълумотномаси). Натижада ҳавони мўътадиллаш тизимида сарфланадиган электр энергия сарфини 2,4 марта камайтириш имконини берган;

нам ҳавонинг кўрсаткичларини аниқлаш усули ва алгоритми «ROYAL FAMILY» МЧЖда жорий қилинган (Ўзбекистон Савдо-саноат палатасининг 2021 йил 18 январдаги 6/04-15-484-сон маълумотномаси). Натижада, ишлаб чиқариш жиҳозларини таъмирлашсиз хизмат муддатини 17 ойгача ошириш имконини берган;

бино-иншоотларда микроиклим шароитини яратишда икки босқичли ҳавони буғлатиб совитиш ҳисоб-график усули «ROYAL FAMILY» МЧЖ биноси ҳавони мўътадиллаш тизими учун жорий қилинган (Ўзбекистон Савдо-саноат палатасининг 2021 йил 18 январдаги 6/04-15-484-сон маълумотномаси). Натижада бино-иншоотларнинг ҳарорати 23-25 °C ва нисбий намлигини 46 % бўлишини таъминлашга эришилган;

буғлатиб совитиш қурилмасида кечадиган иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини моделлаштириш асосида натижаларни қайта ишлаш усули «ROYAL FAMILY» МЧЖ биноси ҳавони мўътадиллаш тизими учун жорий қилинган (Ўзбекистон Савдо-саноат палатасининг 2021 йил 18 январдаги 6/04-15-484-сон маълумотномаси). Натижада бир йилда 77 млн. сўм иқтисодий самарадорликка эришиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 8 та илмий-амалий анжуманларда, шу жумладан, 5 та халқаро ва 3 та республика анжуманларда апробациядан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 13 та илмий иш чоп этилган, шу жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестацияси Комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий журналларда 5 та мақола, жумладан, 4 та республика ва 1 та хорижий журналда, 1 та ЭҲМ дастури учун гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 110 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Ишнинг кириш қисмида ишнинг долзарблиги ва зарурлиги асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологияларини ривожлантиришнинг устувор йўналишиларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгиликлари ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг илмий – амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

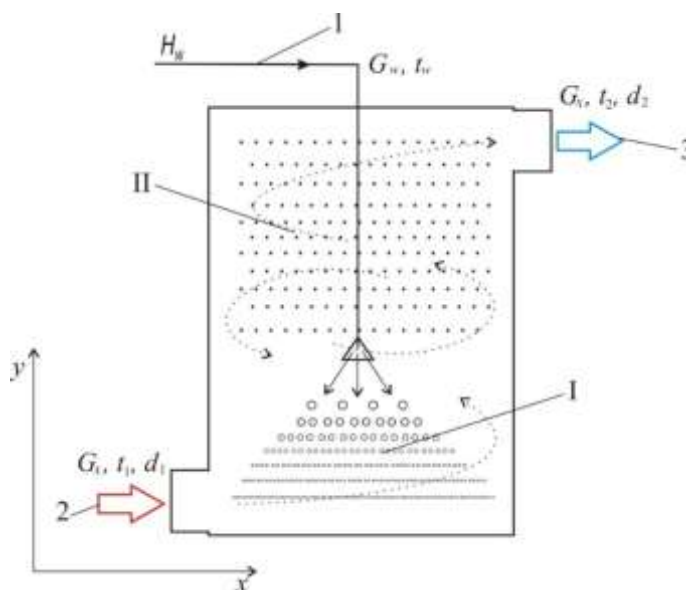
Диссертациянинг «**Ҳавони мўътадиллаш учун буғланма совитгичлардан фойдаланиш ҳолати**» деб номланган биринчи бобида тадқиқот масалаларининг замонавий ҳолати ва таҳлили асосида тадқиқотлар муаммоси шакллантирилган. Ушбу боб биноларнинг микроиклим шароитларига қўйиладиган талаблар, бино ҳавоси ҳарорат – намлик кўрсаткичларини яхшилашнинг замонавий усуллари ва қурилмаларини таҳлил қилишдан бошланган. Таҳлиллар шуни кўрсатадики, таклиф қилинган икки босқичли буғлатиб совитиш тамойилида ишлайдиган ҳавони мўътадиллаш тизимларида берилган сувнинг тўлиқ буғланишига асосланган форсункали камераларнинг илмий муаммоси етарли даражада ўрганилмаган. Шу сабабли, табиий берилган сувнинг тўлиқ буғланишига асосланган ҳолда тизимнинг энергия тежамкорлигини ошириш бўйича

тадқиқотлар олиб бориш зарурияти вужудга келган. Буғлатиб совитиш қурилмаларининг гидродинамик ва иссиқлик жараёнларини ўрганиш, ҳамда конструкцияларини такомиллаштириш асосида уларнинг энергия самарадорлигини ошириш ва ҳисоблаш услубларининг етарли даражада ишлаб чиқилмаганлиги ифодаланган.

Диссертациянинг «**Форсункали буғлатиш камерасида иссиқлик масса алмашинуви тадқиқоти**» деб, номланган иккинчи бобида форсункали буғлатиш камерасида иссиқлик масса ўтиш жараёнларининг физик модели, ҳавога сув билан ишлов бериш жараёнининг математик модели, ҳавога сув билан ишлов беришда иссиқлик ва масса ўтиш жараёнлари параметрларини ҳисоблаш усули ҳамда буғлатиш камерасининг иссиқлик техник ҳисоби келтирилган.

Форсункали буғлатиш камерасида содир бўлаётган иссиқлик-масса алмашинув жараёнлари бир хил бўлмаган полидисперс суюқлик фазасидан иборат бўлган дискрет юзада содир бўлиши билан мураккаблашади, бу камерага ва унинг атрофига томчилар тушиши туфайли камера узунлиги бўйлаб ўзгариб туради, шунингдек, камерада нотекис томчилар ҳаракати мавжуд бўлади. Натижада, камеранинг иш ҳажмида бир вақтнинг ўзида турли йўналишдаги иссиқлик ва масса оқимини келтириб чиқаради.

Форсункали камера учун суюқлик ҳаракати тўғридан – тўғри оқим билан тавсифланади ва бу ҳолатда камерани ҳисоблаш бир ўлчовли бўлади.



1–расм. Буғлатиш камерасида сув буғланишининг математик моделлаштириш чизмаси. 1-сувни форсунка орқали сачратиш, 2-камерага ҳавонинг кириши, 3-камерадан ҳавонинг чиқиши; I - сув томчилари ва уларнинг буғланиш зонаси, II – ишлов берилган ҳаво зонаси.

Контакт қурилмаларда, яъни форсункали камерада барқарор иссиқлик ва масса ўтиш жараёнларини тавсифловчи бир ўлчамли математик модель учун қабул қилинган эҳтимолларни ҳисобга олиб, қуйидаги тенгламалар билан ифодалаш мумкин:

- ҳавони энтальпия майдонини ифодаловчи тенглама:

$$\frac{dI}{dy} = \int_0^{\delta_{\max}} F_1(y, \delta) \cdot (I_{\delta} - I) d\delta, \quad (1)$$

- ҳавонинг ҳарорат майдонини ифодаловчи тенглама:

$$\frac{dt}{dy} = \int_0^{\delta_{\max}} F_1(y, \delta) \cdot (t_{\delta} - t) d\delta, \quad (2)$$

- турли ўлчамдаги томчилар учун суюқликнинг ҳарорат майдонини ифодаловчи тенглама:

$$\frac{dt_{\delta}}{dy} = \int_0^{\delta_{\max}} F_2(y, \delta) \cdot (I - I_{\delta}), \quad (3)$$

бу ерда $F_1(y, \delta)$ ва $F_2(y, \delta)$ у кесимида δ диаметрли томчиларнинг умумий юзасига, томчилар тезлигига ва уларнинг иссиқлик бериш коэффициентларига боғлиқ функциялар.

Камеранинг ишчи ҳажм элементи $F_{\text{фр}} dy$ ни тўғри бурчакли координаталар тизими x, y, z да кўриб чиқамиз (2.1 - расм).

Вақт бирлигида координата бошидан y масофага камера кесими орқали ўтадиган диаметри δ бўлган томчилар сони қуйидагича бўлади:

$$dn = N_0 \cdot B(y) \cdot f(\delta) \cdot d\delta, \quad (4)$$

бу ерда $B(y)$ – камера узунлиги бўйлаб ўзгариб боровчи, тагликка ва камера деворига тушадиган томчиларни ҳисобга олувчи коэффициент. N_0 – вақт бирлиги ичида фурсункадан сепилган умумий томчилар сони.

Суюқлик пуркалганда томчиларнинг диаметрлари σ бўйича тақсимланиш функцияси билан характерланадиган полидисперс томчилар мажмуи ҳосил бўлади. Умуман олганда, томчиларнинг диаметри бўйича тақсимланиши зичлиги кўринишда бўлади:

$$f(\delta) = \frac{1}{N_0} \frac{dn}{d\delta}, \quad (5)$$

Бу ҳолатда, вақт бирлигида диаметрлари δ бўлган томчиларнинг массавий сарфи ва сирт юзалари қуйидаги формулалардан ҳисобланади:

$$G_w = \rho_w N_0 \int_0^{\infty} \frac{\pi \delta^3}{6} f(\delta) \cdot d\delta, \quad (6)$$

$$dF_{\delta} = \pi \delta^2 dn = N_0 \cdot \pi \cdot \delta^2 \cdot B(y) \cdot f(\delta) \cdot d\delta, \quad (7)$$

$F_{\text{фр}} dy$ ҳажмда ўтиб турадиган шу диаметрдаги томчининг сирти,

$$N_0 \cdot \pi \cdot \delta^2 \cdot B(y) \cdot f(\delta) \cdot d\delta \cdot d\tau, \quad (8)$$

бу ерда $d\tau = \frac{dy}{V_y(\delta)}$ - $F_{\text{фр}} dy$ ҳажмда томчининг бўлиш вақти; $V_y(\delta)$ - у йўналишда диаметри δ бўлган томчиларининг мутлақ тезлиги.

$F_{\text{фр}} dy$ ҳажмда диаметри δ бўлган томчилардан ҳавога берилган аниқ (ошкор) иссиқлик миқдори қуйидаги кўринишда бўлади:

$$dQ_{\text{я}} = N_0 \cdot \alpha \cdot B(y) \cdot \pi \cdot f(\delta) \cdot (t_{\delta} - t) \cdot \delta \cdot d\delta \cdot y, \quad (9)$$

бу ерда α – томчи юзасининг иссиқлик бериш коэффициенти $\left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right)$.

Нуссельт сони учун маълум бўлган тенгликдан фойдаланиб ва уни (9) га қўйсақ:

$$dQ_{\text{я}} = N_0 \cdot \frac{Nu \cdot \lambda}{V_y(\delta)} \cdot B(y) \cdot \pi \cdot f(\delta) \cdot (t_{\delta} - t) \cdot \delta \cdot d\delta \cdot y, \quad (10)$$

Тенгликдан

$$\mu G_{\text{в}} = \rho_{\omega} \cdot N_0 \cdot \int_0^{\delta_{\max}} \frac{\pi \delta^3}{6} f(\delta) d\delta, \quad (11)$$

ва қуйидагига эга бўламиз

$$N_0 = \frac{6G_{\text{в}} \cdot \mu}{\pi \cdot \rho_{\omega} \cdot M_3} V_y(\delta), \quad (12)$$

$M_n = \int_0^{\delta_{\max}} \delta^n f(\delta) d\delta$ тенгликни эътиборга олсак, у ҳолда $M_3 = \int_0^{\delta_{\max}} \delta^3 f(\delta) d\delta$ бўлади.

Олинган N_0 ифодани (9) ифодага қўйиб ва уни барча спектр бўйича интегралласак, қуйидагига эга бўламиз:

$$dQ_{\text{я}} = \frac{6G_{\text{в}} \cdot \lambda}{\rho_{\omega} \cdot M_3} dy \cdot \int_0^{\delta_{\max}} \frac{Nu \cdot B(y)}{V_y(\delta)} \cdot \delta \cdot f(\delta) \cdot (t_{\delta} - t) \cdot d\delta, \quad (13)$$

Бошқа томондан

$$dQ_{\text{я}} = c_{\text{в}} G_{\text{д}} dt. \quad (14)$$

(13) ва (14) ифодаларни тенглаштириб қуйидагини оламиз:

$$\frac{dt}{dy} = \frac{6\mu\lambda}{c\rho_{\omega}M_3} \cdot \int_0^{\delta_{\max}} \frac{Nu \cdot B(y)}{V_y(\delta)} \cdot \delta \cdot f(\delta) \cdot (t_{\delta} - t) \cdot d\delta. \quad (15)$$

Янада тўлиқроқ математик модель олиш учун суғориш камерасида сувни пуркашдаги дисперсиявийлик хусусиятларни аниқлаш лозим.

Нормал-логарифмик қонунга кўра тарқалиш (ажралиш) функцияси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$f(\delta) = \frac{1}{N_0} \frac{dn}{d(\lg \delta)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lg \delta - \lg D_{\xi})^2}{2\sigma^2}\right). \quad (16)$$

Бу ҳолатда M_3 моментининг қиймати қуйидагича бўлади:

$$M_3 = \int_0^{\infty} f(\delta) \delta^3 d\delta = \xi^3 \cdot \exp\left(\frac{9}{4}\right) c^2, \quad (17)$$

бу ерда

$$c = \sigma\sqrt{2 \cdot \ln 10}. \quad (18)$$

$D_{\text{кам}} / D_{\text{вх}} = 0,2 \dots 1$ бўлганда

$$\mu = \left[1 + 1,5 \left(\frac{D_{\text{кам}}}{D_{\text{вх}}} \right)^{0,475} \left(\frac{D_{\text{сп}}}{D_{\text{вх}}} \right)^{0,475} \right]^{-1}. \quad (19)$$

Бу боғлиқлик форсунка орқали сувнинг сарфланишини, кг/сек, ҳисоблашда ишлатилади:

$$G_w = 347,7 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot \mu \cdot \sqrt{\Delta H_w \cdot \rho} \quad (20)$$

бу ерда $D_{\text{сп}}$ м да, ΔH эса 10^5 Па да.

(16) формула ёрдамида сепилган сувнинг дисперсия таркибини ҳисоблаш амалга оширилади, бунинг учун форсунканинг геометрик хусусиялари ва унгача сувнинг босимидан томчининг минимал диаметри D^{\min} , максимал диаметри D^{\max} ва максимал эҳтимолий ξ (мода) томчининг диаметри D_{ξ}^{\max} боғланишларини билиш керак. Биринчилардан бўлиб, Е.В. Стефанов и В.Д. Коркин дисперсия таркиби бўйича назарий ва экспериментал тадқиқотларни олиб боришган. $\mu = 0,05 \dots 0,8$ бўлганда сув қатламининг қалинлигини ҳисоблаш учун нисбатан яқин боғланишдан фойдаланамиз

$$\delta_{\text{пл}} = D_{\text{сп}} (0,035 + 0,375\mu) \quad (25)$$

Нормал-логарифмик қонундан қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{dt}{dy} = A_1 \cdot \int_0^{\delta_{\max}} N_{\delta} \cdot \delta \cdot f(\delta) \cdot (t_{\delta} - t) d\delta, \quad (26)$$

бу ерда

$$A_1 = \frac{6 \cdot \mu \cdot \lambda}{c_b \cdot \rho_w \ln 10 \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi} \cdot M_3}; \quad N_{\delta} = \frac{Nu \cdot B(y)}{V_y(\delta)}. \quad (27)$$

Юқоридагиларга мувофиқ, ҳавонинг намлик сақламини ва энтальпиясини аниқлаш учун Льюис боғланишларини ҳисобга олиб, қуйидаги тенгламаларни келтириб чиқариш мумкин:

$$\frac{dd}{dy} = A_1 \cdot \int_0^{\delta_{\max}} N_{\delta} \cdot \delta \cdot f(\delta) \cdot (d_{\delta} - d) d\delta; \quad (28)$$

$$\frac{dI}{dy} = A_1 \cdot \int_0^{\delta_{\max}} N_{\delta} \cdot \delta \cdot f(\delta) \cdot (I_{\delta} - I) d\delta. \quad (29)$$

бу ерда N_{δ} – диаметри δ бўлган томчилар сони, δ – томчининг диаметри.

$dt_{\delta}(y)$ катталикини аниқлаш учун тенгламани иссиқлик мувозанатидан оламиз:

$$\frac{dt_{\delta}}{dy} = A_2 (I - I_{\delta}), \quad (30)$$

бу ерда

$$A_2 = \frac{6 \cdot Nu \cdot \lambda}{c_b \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot \delta^2 \cdot V_3(\delta)}. \quad (31)$$

Адиабатик суғориш камераси учун ечимларни олиш иссиқлик ва масса ўтиши тенгламалари ва NTU_A ни топишга олиб келади, бу эса суғориш камерасида содир бўлаётган иссиқлик ва масса ўтиши жараёнларининг хусусиятларини ҳисобга олишга имкон беради.

Қайта ишланаётган ҳавонинг энтальпияси ўзгармас ҳолатда ҳавога адиабатик ишлов бериш режими учун рециркуляцион сувнинг ҳарорати доимий ва у $I = I_{\delta} = const$ да ҳавонинг ҳўл термометр бўйича ҳароратига тенг. Бу ҳолатда (28) ва (29) тенгламалар уч томонлама ечимга эга: $I = I_{\delta} = const$ ва $t_{\delta} = t_M = const$. (26) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\frac{1}{(t - t_M)} \frac{dt}{d\tau} = \frac{6\mu\lambda}{c\rho_w M_3} \cdot \int_0^{\infty} Nu(\tau) B(\tau) f(\delta) d\delta, \quad (32)$$

бу ерда $B(\tau)$ – камера узунлиги бўйлаб суғориш коэффициентини ўзгаришини ҳисобга олувчи коэффициент.

(32) ифодани τ бўйича интеграллаймиз:

$$NTU_A = \frac{6\mu\lambda}{c\rho_w M_3} \cdot \int_0^\infty \delta f(\delta) d\delta \int_0^\tau Nu(\tau) B(\tau) d\tau, \quad (33)$$

τ ва δ бўйича интегралланган (33) ифодани ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$NTU_A = \frac{6\mu\lambda}{c\rho_w M_3} \overline{Nu}_{\dot{y}p} \overline{B}_{\dot{y}p} \overline{\tau}_{\dot{y}p}. \quad (34)$$

Диаметри $\delta = D_\xi$ бўлган томчининг ҳаракати ва иссиқлик-масса ўтиши тенгламаларини ечиш орқали ўртача катталиклар $\overline{Nu}_{cp}, \overline{B}_{cp}, \overline{\tau}_{cp}$ қийматлари аниқланади. Форсункалари ёнда жойлашган камера фақат ҳаво оқими йўлига ($i=1$) қўйилган биринчи типдаги томчилар ҳаракатида қўлланилади.

Топилган NTU_A қийматига мос иссиқлик алмашинув аппарати геометрик ўлчамларини топиш керак. Бунинг учун форсункали камеранинг геометрик ўлчамларини аниқлаш учун қуйидаги ифодалардан фойдаланилади:

$$NTU_A = \frac{F_i N_1}{(H_{кам} + 2f_i)(B_{кам} + 2f_i)} + 0,15; \quad (35)$$

$$F_i = \frac{4 + \sqrt{\sqrt{(\tau v_B - (-1)^{i+1} L_i)^2 + s_{yi}^2 D_\xi^2}}}{D_\xi^2} F_i N_1 \tau_i \left(\frac{q_\phi}{\sqrt{H_w}} \right) \frac{14,7 \cdot 10^{-5}}{3,6 \cdot 2,4} \frac{\sqrt{H_w}}{V_B} \exp(-2c^2); \quad (36)$$

$H_{кам}, B_{кам}$ – камера кўндаланг кесими баландлиги ва кенглиги, м; f_i – камеранинг ички юзасига томчиларнинг тушишини ҳисобга олиш коэффициенти; NTU_A – биринчи типдаги томчи учун ўтиш бирлиги сони; N_1 – қатордаги форсункалар сони; A_r – форсунканинг геометрик хусусияти; A_i, F_i, Z_i – ёрдамчи коэффициентлар.

Иссиқлик мувозанати. Ҳавони намлантиришда изоэнтальпия жараёнини иссиқлик – намлик жиҳатидан тавсифлаш учун қуйидаги тенгламалардан фойдаланамиз:

- ҳавони адиабатик намлантириш учун иссиқлик мувозанати

$$Q_y = Q_m + \Delta Q, \text{ Вт}; \quad (44)$$

- ҳаво билан берилаётган ва сув қабул қилаётган иссиқлик миқдори

$$Q_y = c_p G_B (t_1 - t_2), \text{ Вт}; \quad (45)$$

- оқим массасига тўғри келадиган иссиқлик оқимининг яширин миқдори

$$Q_m = r G_B (d_1 - d_2), \text{ Вт}; \quad (46)$$

бу ерда: Q_y – ҳаво билан берилаётган ва сув қабул қилаётган иссиқлик миқдори (Вт), Q_m – оқим массасига тўғри келадиган иссиқлик оқимининг яширин миқдори (Вт), ΔQ – атроф муҳитга йўқотилаётган иссиқлик (Вт), G_B – берилаётган ҳавонинг массавий сарфи (кг/соат), t_1, t_2 – мос равишда суғориш камерасига кираётган ва ундан чиқаётган ҳавонинг ҳароратлари ($^{\circ}\text{C}$), c_p – ҳавонинг

солиштирма массавий иссиқлик сифими (кЖ/кг), $r - t_w$ ҳароратдаги буғ кўринишидаги яширин иссиқлик (кЖ/кг).

Бошқа томондан, тўлиқ иссиқлик миқдорини соатига t_w ҳароратдаги сувга берилаётган t ҳароратдаги ҳаво оқими билан боғланиш юза бирлиги dF орасидаги муносабатини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$dQ = \alpha_B(t - t_w)dF, \text{ Вт}; \quad (47)$$

Массанинг конвектив ўтиши учун қуйидагига эгамиз:

$$dG_m = \beta_d(d - d_w)dF, \text{ кг/с}; \quad (48)$$

бу ерда α_B – ҳаво томонидан иссиқлик бериш коэффиценти, Вт/(м²·К); β_d – масса бериш коэффиценти, намлик сақлами фарқига олиб келиши, Вт/(м²·с); d – намлантириладиган ҳавонинг намлик сақлами, г/кг; d_w – сувнинг ҳарорати t_w бўлганда тўйинган нам ҳавонинг намлик сақлами, г/кг;

Синов ўтказиш вақтида йўқотилаётган иссиқлик миқдори ΔQ ни камайтириш мақсадида камеранинг тўлиқ юзаси самарадор иссиқлик изоляция қатлами билан қопланиши мақсадга мувофиқ бўлади. Ҳавони изоэнтальпия жараёнида намлантириш натижасида, камерага кирган ҳаво тўйинган нам ҳавога ўзгаради ва унинг охириги ҳарорати t_2 сувнинг ҳарорати t_w билан таққослаш керак бўлади. Суғориш камерасида ҳавога адиабатик жараёнда ишлов беришда сувнинг ҳарорати t_w нам термометр ҳарорати t_m га тенг бўлади, яъни $t_w = t_m = const$.

Адиабатик суғориш камераси олдида қўйилган масалаларга ечим олиш ўтиш сонли бирлиги NTU_A га олиб келади.

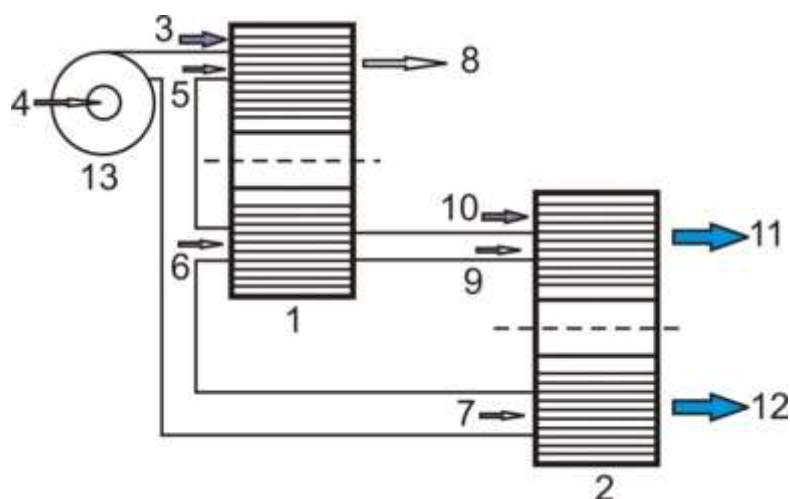
$$NTU_A = \frac{\alpha F}{G_B c_p} = \frac{t_1 - t_2}{\Delta t_p} \quad (49)$$

бу ерда Δt_p – ишлов бериладиган ҳаво ва сув юзаси билан алоқада бўлган ҳаво ҳароратларининг ўртача ҳисобланган фарқи.

Диссертациянинг «**Икки босқичли буғланма совитиш қурилмаси ва ундаги жараёнларнинг экспериментал тадқиқоти**» деб, номланган учинчи бобида тажриба қурилмасининг баёни, буғланма совитгичлардан айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргични қўллаш, тадқиқот ўтказиш методикаси, айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичда босимнинг йўқолишини ҳисоблаш, шунингдек, икки босқичли буғлатиб совитиш камераси ва айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргични қўллаш имкониятини ўрганиш бўйича тадқиқот ишлари баёни келтирилган.

Ҳавони мўътадиллаш учун таклиф этилган буғланма совитгичнинг схемасида ҳавога сув билан ишлов бериш, ҳавони ададиабатик намлантириш сифатида буғлатиб совитиш усулидан фойдаланилди. Тажриба қурилмасининг тузилиши 2 – расмда келтирилган.

Тадқиқот олиб боришда олинadиган натижа сифатида қурилманинг ихчамлигига, массаси ва уни тайёрлашда ишлатиладиган материаллар нархини пасайтиришга, хўжалик биноларида уни қўллашда самарадорликни ошириш мақсадида айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичлардан фойдаланишга эътибор қаратилган.



2 – расм. Айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичли (АРИА) икки босқичли буғланма ҳаво совитгичи. 1, 2 – мос ҳола АРИА1 ва АРИА2, 3, 10 – буғлатиш камералари, 4 – атмосферадан совитиш учун олинган ҳаво, 5, 6, 7 – совитиладиган ҳаво оқимлари, мос ҳолда АРИА1 ҳўл қисмига, АРИА1 қуруқ қисмига ва АРИА2 қуруқ қисмига бериладиган, 8 ва 11 – атмосферага ташлаб юбориладиган ҳаво оқими, 9 – АРИА1 қуруқ қисмидан олинган ҳаво оқими, 12 – бинога бериладиган совитилган ҳаво оқими, 13 – вентилятор – нагнетатель. Стрелкалар орқали ҳаво ва сув оқимлари кўрсатилган. Сув бериш насоси кўрсатилмаган.

Атмосферадан вентилятор 13 ёрдамида олинган ва ўз маълум босимига эга бўлган ҳаво оқими 4 алоҳида учта секцияга 5, 6, 7 бўлиниб, иккита буғлатиш камераси 3, 10 га ва айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичлар 1, 2 га (АРИА1,2) юборилади. Биринчи ҳаво оқими 5 буғлатиш камераси 3 да сув билан қайта ишланиб АРИА1дан ўтади (регенератив иссиқлик алмаштиргичнинг юқори қисмидан) ва бу ҳаво оқими 8 атмосферага чиқариб юборилади. Иккинчи ҳаво оқими 6 АРИА1 дан ўтиб иккинчи буғлатиш камараси 10 га киради ва сув билан унга ишлов берилади, сўнгра у АРИА2 дан ўтади ва атмосферага ташлаб юборилади. Учинчи ҳаво оқими 7 АРИА2 нинг қуруқ қисмидан ўтиб бинога берилади.

Икки босқичлик буғланма совитгичда иккита айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичдан фойдаланиш совитгичнинг энергетик самарадорилигини оширишга хизмат қилади. Бино ҳавосининг нисбий намлиги ошиб кетмаслиги учун биринчи 5 ва иккинчи 6 ҳаво оқимлари нисбий намлиги 100%га яқин бўлганлиги сабабли атмосферага ташлаб юборилади. Аммо, улар АРИА 1, 2 дан ўтганда иссиқлик алмашинуви жараёни натижасида учинчи ҳаво оқими 7 зарур бўлган ҳароратга эришади.

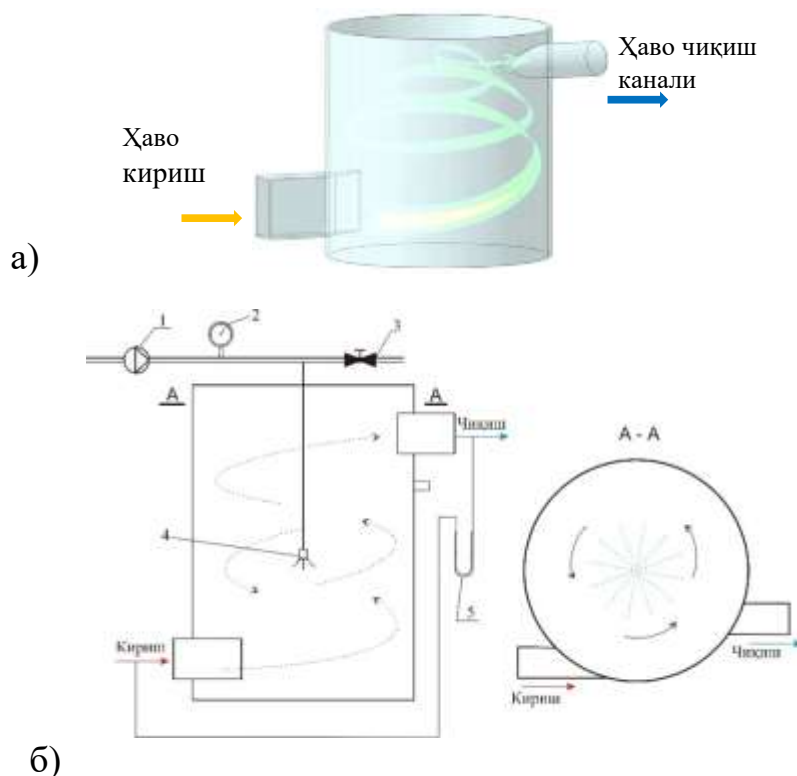
Буғлатиш камерасига $8 \div 10$ МПа босимда туман ҳосил қилувчи замонавий форсункадан сув пуркалади ва сув томчиларининг барчаси ҳаво билан алоқага кириб, буғланиб кетади. Натижада, айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичдан ҳарорати пасайган, нисбий намлиги 95% дан кам бўлмаган кўрсаткичларга эга ҳаво ўтиши таъминланади.

Буғланма ҳаво совитгичининг илмий - тажрибавий қурилмасининг уч ўлчамли лойиҳаси 3 – расмда келтирилган.



3 - расм. Буғланма ҳаво совитгичининг илмий – тажрибавий қурилмаси.

Форсукали камеранинг ишлаши ҳавонинг уюрмали ҳаракатига асосланганлиги сабабли, унинг шакли ва геометрик ўлчамлари ҳавонинг ҳаракат йўлини шакллантириши керак.



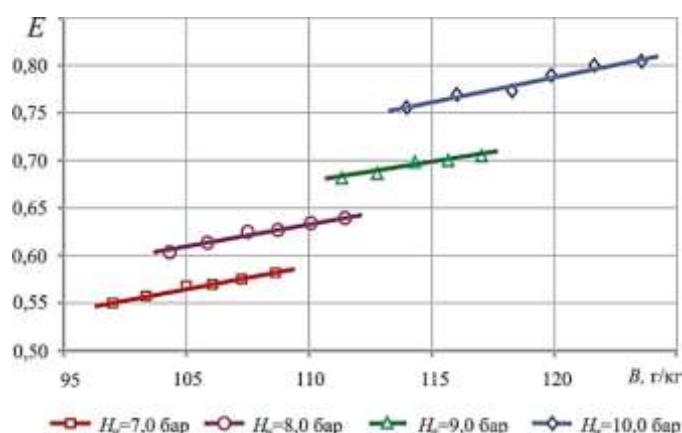
4 - расм. Форсукали камера кўриниши. а) уч ўлчамли лойиҳаланиши; б) ишлаш принципи.

Форсукали камерага ташқи ҳаво кириш канали орқали кириб, камерада уюрмавий айланма ҳаракат қилади. Бу ҳаракатни юзага келтириш учун ҳаво кириш канали камера деворига уринма бўлиб жойлаштирилган. Камерага кирган ҳаво дастлаб камеранинг девор юзаси бўйлаб айланма чиқиш канали томон

ҳаракатланади. Форсунка факели айнан ҳаво йўлини кесиб ўтади ва у билан алоқага киришади. Ҳаво билан суюқликнинг алоқа масофаси қанчалик узун бўлса, суюқликнинг тўлиқ буғланиши ҳисобга олиб, ҳавонинг ҳаракат траекториясининг узунлигини таъминлаш мақсадида йўналтирувчи кўндаланг ёрдамчи тўсиқлар ўрнатилган.

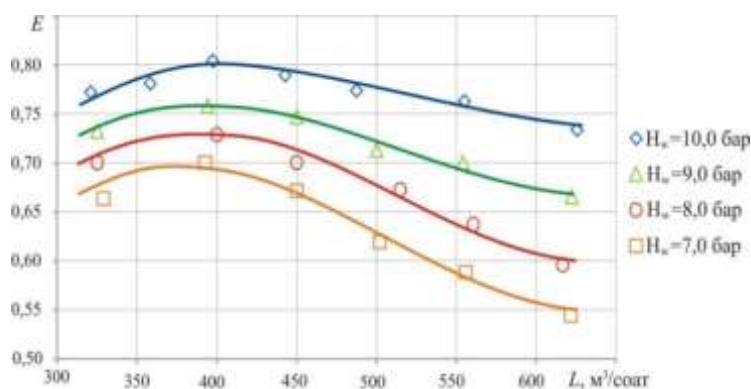
4 – расмда буғлатиш камерасида кирувчи ҳавонинг ҳаракат йўли кўрсатилган. Форсунка камеранинг юқорисидан трубка орқали марказга қадар тушириб, жойлаштирилади. Кирувчи ҳаво сув томчилари тўлиқ буғланиб кетгунга қадар камерадан чиқиб кетмаслиги учун унинг айланма ҳаракати давомийлигини имкон қадар узайтириш керак.

Форсункали камерага берилаётган сув миқдори унинг термик самарадорлигига тўғри пропорционал бўлиши олинган синов натижалари асосида қурилган графикдан кўриш мумкин (5 – расм).

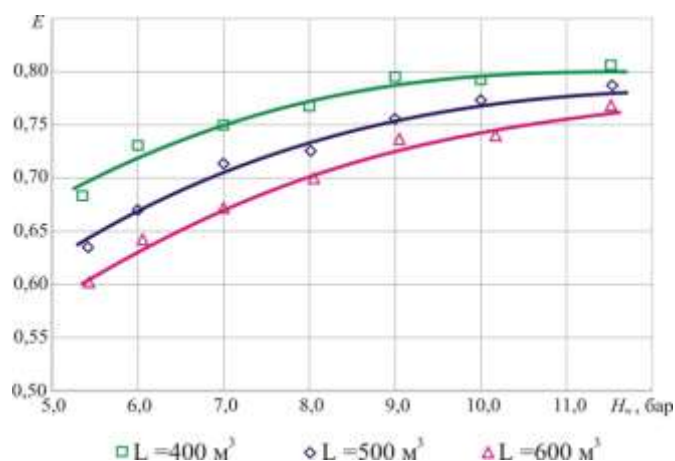


5– расм. Форсункали камера самарадорлик коэффициентини (E_a) суғориш коэффициентига (B , г/кг) боғлиқлиги.

Форсункали камеранинг термик самарадорлигини баҳолашда унга кирувчи ҳаво миқдори ва сув босимига боғлиқлигини (6 – расм) синов натижалари таҳлил қилиш учун қурилган графикдан кўриш мумкин. Унга кўра $350 \div 450$ м³/соат миқдордаги ҳаво оқими камерага берилганда сувнинг босими 10 бар бўлиши термик самарадорлиги юқори кўрсаткичларга эришишга олиб келади.



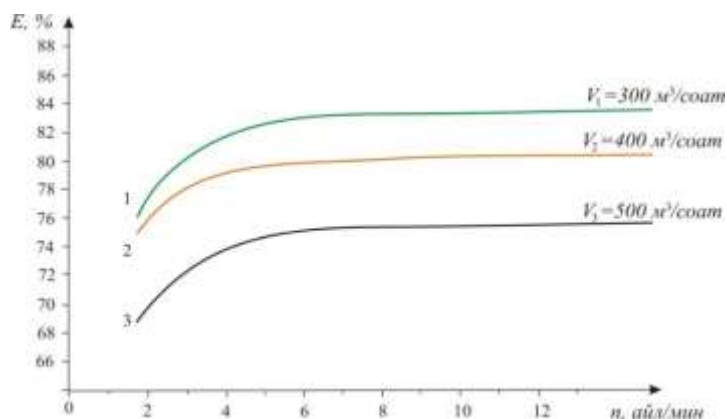
6 – расм. Форсункали камерада ҳавога ишлов бериш самарадорлиги (E_a) ўзгаришининг ҳаво сарфига (L , м³/соат) боғлиқлиги.



7 – расм. Форсункали камера самарадорлик коэффициенти (E) ўзгаришининг сув босимига (H_w , бар) боғлиқлиги

Камерага берилётган турли ҳаво миқдорларига сув босимининг термик самарадорликка боғлиқлиги синов натижалари асосида олинган. 7 – расмда келтирилган. Бу графикдан сув босими ҳаво миқдорига мутаносиб бўлганда, камеранинг самарадорлиги юқори бўлишини кўриш мумкин.

8– расмда тадқиқ қилинаётган айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичнинг иссиқлик самарадорлигини турли хил ҳаво оқимларига W_1 , W_2 насадканинг айланиш частотасига боғлиқлиги келтирилган. Олинган маълумотлардан кўришиб турибдики, насадкани айланиш частотаси 9 дан 13 *айл/мин* гача оптимал деб, ҳисоблаш мумкин.



8 – расм. Айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргич иссиқлик самарадорлигини насадка айланишлар частотасига боғлиқлик графиги.

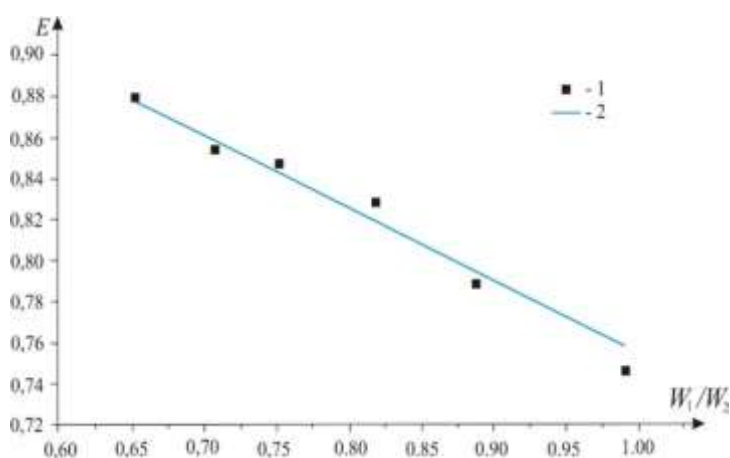
$$1. W_1 = 192 \text{ Bm}/K, W_2 = 197 \text{ Bm}/K, W_1/W_2 = 0,97$$

$$2. W_1 = 192 \text{ Bm}/K, W_2 = 213 \text{ Bm}/K, W_1/W_2 = 0,91$$

$$3. W_1 = 192 \text{ Bm}/K, W_2 = 226 \text{ Bm}/K, W_1/W_2 = 0,84$$

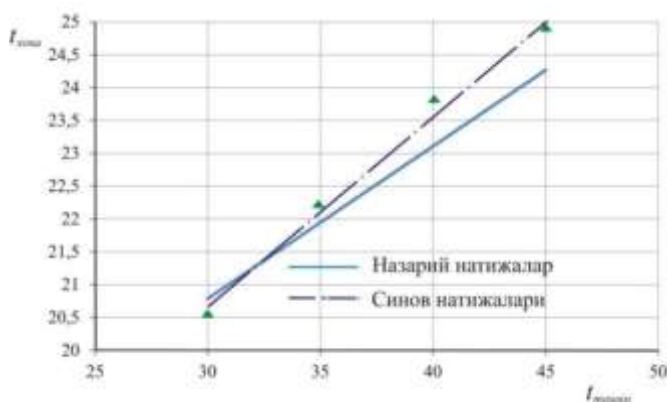
Иссиқлик ҳаво оқимидан насадкага ўртача иссиқлик бериш коэффициентини аниқлаш учун тажриба ўтказилди. Насадкага кирадиган ҳаво оқимини ўртача ҳарорати вақт ўтиши билан доимий равишда сақланиб қолади. Қурилмадан чиқадиган ҳаво оқимининг ўртача ҳарорати ўрнатилган иш режимида бўлади. Совуқ ҳаво оқими сарфи беқарор сақланиб, иссиқ ҳаво оқимининг сарфи қиймати 100 дан 600 $m^3/соат$ гача ўзгартириб борилди. Насадканинг айланиш частотаси эса 13 $айл/мин$ га тенг. Тажриба маълумотлари қайта ишлашга қабул қилинганда иссиқлик мувозанатидаги фарқ 10% дан ошмади.

9– расмда айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргич термик самарадорлигини ҳаво оқимларининг сув эквиваленти нисбатига $E = f\left(\frac{W_1}{W_2}\right)$ боғлиқлик кўриниши келтирилган.



9 – расм. Айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргич термик самарадорлигининг ҳисобланган ва тажриба асосида олинган қийматлар таққосланган. 1-тажриба натижасида олинган маълумотлар; 2-назарий ҳисобланган маълумотлар.

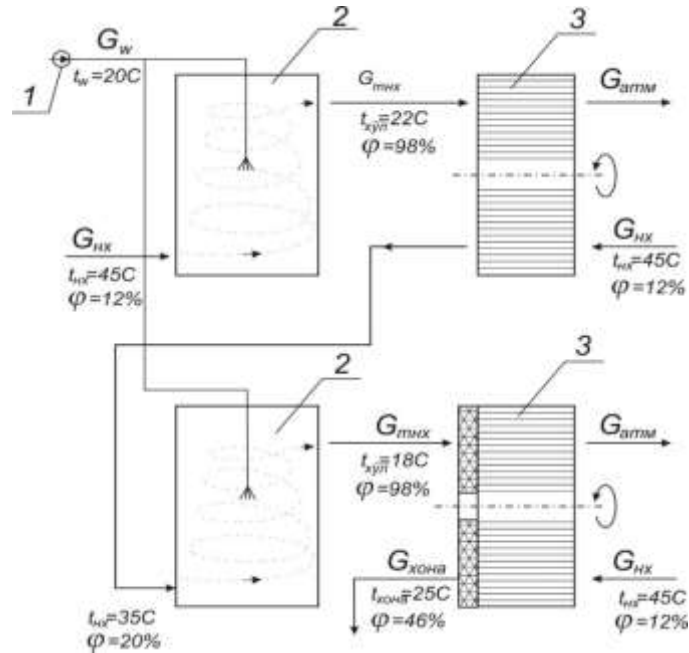
Ҳавони мўтадиллаш тизими иккита буғлатиш камераси ва иккита айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичдан ташкил топган. Қуйида қурилмадан чиқётган нам ҳаво параметрларини аниқлаш бўйича ҳисоблаш ва синов натижалари кўрсатилган.



10 – расм. Айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргичдан хонага берилаётган ҳавонинг ҳарорати бўйича олинган назарий ва синов натижалар фарқи.

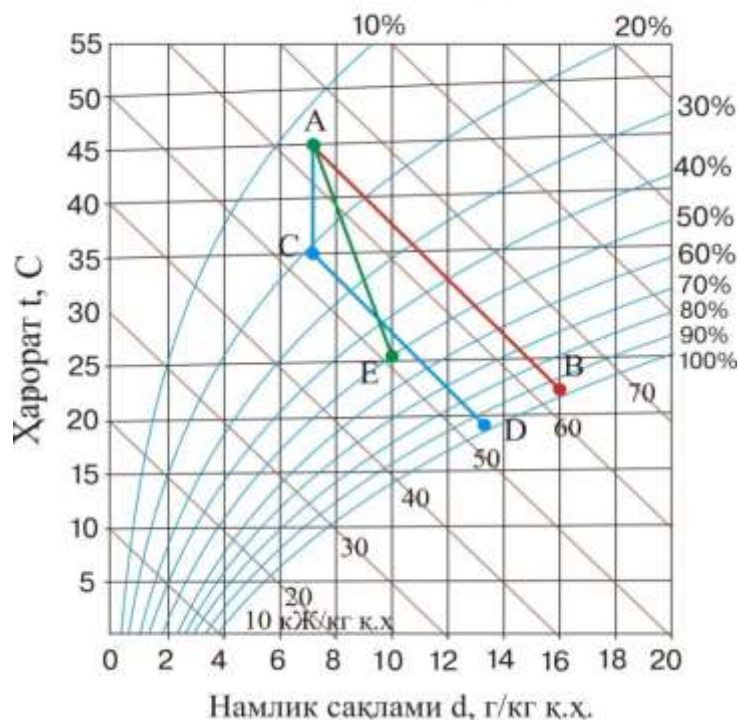
Айланувчи регенератив иссиқлик алмаштиргични синовдан ўтказиш жараёнида назарий олинган натижалар билан фарқ борлиги аниқланди (10-расм).

11 – расмда кўриб чиқилаётган ҳавони мўътадиллаш буғланма совитиш тизимининг принципитал схемаси келтирилган.



11 – расм. Ҳавони мўътадиллаш икки босқичли буғланма совитиш қурилмасининг принципитал схемаси.

Нам ҳавонинг i-d диаграммаси



12 – расм. Икки босқичли буғланма совитиш қурилмасида ҳавони мўътадиллаш жараёнининг I-d диаграммада тасвирланиши.

2020 йилнинг ёз ойларида “ROYAL FAMILY” масъулияти чекланган жамиятнинг қоғозлар билан ишлайдиган нашр этиш биносининг ҳавони мўътадиллаш тизимида икки босқичли буғлатиб совитиш усули жорий қилинди. Сутканинг соат 8-00 дан 19-00 гача бўлган вақт оралиғида ташқи ҳавонинг ҳарорати 35-42 °C атрофида, синов қурилмаси ишга тушгандан ва бир хил меъёрда ишлай бошлагандан сўнг хонанинг ҳарорати 24-25 °C гача, нисбий намлиги эса 45-46% атрофида бўлишига эришилди.

ХУЛОСА

Техника фанлари фалсафа доктори (PhD) диссертация мавзуси «Хўжалик ва ишлаб чиқариш биноларида ҳавони совитиш тизимининг самарадорлигини икки босқичли буғлатиб совитгич асосида ошириш» илмий иш натижалари асосида куйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Ҳавони буғлатиб совитиш усулидан фойдаланиб, ҳавони мўътадиллаш тизимларида иссиқлик ва электр энергия сарфини камайтиришга имкон берувчи янги энергия самарадор схема ва тажриба-синов қурилмаси яратилган.

2. Тажриба орқали буғлатиб совитиш қурилмасидаги ҳавонинг аэродинамик қаршилиги ҳаво оқимининг тезлигига ва форсункали камерадан чиқаётган нам ҳавонинг ҳўл термометр бўйича ҳарорати сарф коэффициентига мос равишда ўзгариши аниқланди. **3**

Натижада форсункали камеранинг термик самарадорлик коэффициенти $6 \div 8$ % га ошишига эришилди.

3. Форсункали камерада иссиқлик ва масса ўтиш жараёнининг математик модели яратилди. Натижада юқори термик самарадорликка эга бўлган форсункали камеранинг термодинамик кўрсаткичларини аниқлаш имконияти вужудга келди.

4. Иссиқлик алмашинув насадкаларининг геометрик ўлчамлари қиймати иссиқлик самарадорлигига, ҳаво оқими сарфига (кг/с), босимнинг исроф бўлишига ва иссиқлик алмашинув сиртларига ўзаро боғлиқ равишда ўзгариши аниқланди. Натижада иссиқлик алмаштиргич насадка узунлиги $l = 250 \dots 300$ мм ва диаметри $d = 2,6 \dots 3,4$ мм бўлганда термик самарадорлик $78 \div 84\%$ бўлишига эришилди.

5. Икки босқичли буғлатиб совитиш қурилмасидан чиқувчи ҳаво ($t''_{\text{ҳаво}}$) кўрсаткичларини ЭҲМда ҳисоблаш учун алгоритм ишлаб чиқилди ва дастур яратилди.

6. Ўзбекистон иқлимий шароитида икки босқичли буғлатиб совитиш тамойилида ишлайдиган ҳавони мўътадиллаш тизимларидан фойдаланиш нисбатан самарали эканлиги аниқланди ҳамда янги энергия тежамкор икки босқичли буғланма совитгич қурилмаси яратилди. Ушбу қурилмани «ROYAL FAMILY» МЧЖнинг барча биноларига жорий этиш натижасида ҳавони мўътадиллаш тизимида кутилаётган йиллик иқтисодий самара 77129236 сўмни ташкил этади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК DSc 03/10.122019.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

МУХТАРОВ ФАРРУХ ХАНДАМОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ
ВОЗДУХА БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА
ОСНОВЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАДИТЕЛЯ**

05.05.04 - Промышленная теплоэнергетика

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

Ташкент–2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистана за № В2017.1.PhD/Г97

Диссертация выполнена в Институте проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан.

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

Научный руководитель:

Захидов Ромэн Абдуллаевич
доктор технических наук, академик

Официальные оппоненты:

Бабаходжаев Рахимжон Пачеханович
доктор технических наук, доцент

Узоков Гуломжон Норбоевич
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

АО «Теплоэлектропроект»

Защита диссертации состоится «30» 10 2021 года в 11³⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/10.12.2019.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент ул. Университетская 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32 e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер 221). Адрес 100095, Ташкент, ул. Университетская 2 Тел. (99871)246-03-41

Автореферат диссертации разослан «13» 10 2021 года.
(реестр протокола рассылки № 10 от «6» 11 2021 года).



К.Р. Алтаев

Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор, академик

О.Х. Ишнараров

Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

Р.П. Бабаходжаев

Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире использование испарительных охлаждающих устройств для кондиционирования воздуха (охлаждение, обогрев, вентиляция и увлажнение) сельскохозяйственных и промышленных зданий приобретает все большее значение. В связи с этим в развитых странах «... из-за постоянного роста энергопотребления и конкуренции, возникает необходимость постепенно использовать энергоэффективное оборудование, потребляющее меньше энергии. Стоимость использования и установки испарительных холодильников составляла 50% или меньше, чем у обычных холодильников или кондиционеров»¹. При этом вся научная и инженерная деятельность в мире направлена на поиск путей рационального использования природных и энергетических ресурсов и создание экологически чистых и энергосберегающих устройств, обеспечивающих жизнь человека. В связи с этим, в том числе в мировой практике, особое внимание уделяется использованию испарительных охладителей для повышения энергоэффективности систем кондиционирования воздуха.

В мире проводятся исследования по вопросам использования методов испарения и охлаждения в системах кондиционирования воздуха сельскохозяйственных и производственных зданий, выявления и моделирования факторов, влияющих на систему, совершенствования и повышения надежности двухступенчатых устройств испарительного охлаждения, а также разработки современных технологий, снижающих энергопотребление в системах кондиционирования воздуха. В этой области парокompрессорные машины используются в качестве основного источника охлаждения для систем кондиционирования воздуха, в том числе жилых, общественных, сельскохозяйственных и промышленных зданий, но они имеют ряд недостатков, с точки зрения экономии энергии и ресурсов. Поэтому использование испарительных охладителей в системах кондиционирования воздуха является актуальной проблемой.

Развитие энергетического сектора, являющегося важной отраслью экономики республики, осуществляется с целью обновления технологического уровня отрасли, включая моделирование конструктивных и режимных показателей в системах кондиционирования воздуха в зданиях и сооружениях, геометрические измерения устройства и затраченные на него ресурсы, снижение энергопотребления. В постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-4422 от 22.08.2019 г. отмечены задачи: «... повышение энергоэффективности в экономике и социальной сфере, повсеместное внедрение энергосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии должно оставаться одним из текущих направлений государственной политики»². Реализация этой задачи, в том числе усовершенствование систем кондиционирования (охлаждения,

¹https://www.researchgate.net/publication/267762698_Review_of_research_and_application_of_evaporative_cooling_in_preservation_of_fresh_agricultural_produce

² Постановление Президента Республики Узбекистан от 22.08.2019 г. «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии»

обогрева, вентиляции и увлажнения) с использованием двухступенчатых испарительных холодильников, является важным вопросом.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит для выполнения задач, намеченных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП – 4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», в № ПК – 2343 от 5 мая 2015 года «О программах сокращения использования энергии и внедрения энергосберегающей технологии в отраслях экономики и социальной сфере на 2015 – 2019 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 перспективным направлениям развития науки и технологии республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики: II «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изучения проблемы. В настоящее время проводятся научно-исследовательские работы по расчету режимов тепло- и массообменных процессов, происходящих в системе кондиционирования воздуха, и научные исследования по системам кондиционирования воздуха в ведущих научных центрах и ВУЗах, в том числе: SaKarua University (Турция), Stuttgart University, Dresden University of Technology (Германия), Polytechnic University of Milan (Италия), Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Новосибирский государственный технический университет, Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Россия), Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкентский государственный технический университет, Институт проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан (Узбекистан).

В решении теоретических и научных проблем по научным основам процессов тепло- и массообмена и кондиционирования воздуха зданий и сооружений, основанных на испарительных охладителях, большой вклад, внесли такие ученые, как: Кокорин О.Я., Нестеренко А.В., Пономаренко В.С., Берман Л.Д., Гоголин А.А., Ладыженский Р.М., Карпис Е.Е., Михеев М.А., Эккерт Э.Р., Баркалов Б.В., Богословский В.Н., Мигай В.К., Назаренко В.С., Грановский В.Л., Поз М.Я., Пеклов А.А., Степанова Т.А., Соколик А.Н., Холмберг Р.Б., Sparrow Е.М., Besant R.W., Watt J.R., Hess A.J., Bacon R.A. и др. Вопросами интенсификации процессов тепло- и массообмена в системе кондиционирования воздуха и повышения их эффективности занимались узбекские ученые Захидов Р.А., Авезов Р.Р., Мухиддинов Д.Н., Рашидов Ю.К., Исманхужаева М.Р., Исаходжаев Х.С..

В результате анализа было установлено, что в системах кондиционирования воздуха, основанных на принципе испарительного охлаждения, есть возможности для улучшения холодильников с использованием современных технологий. Следовательно, существует необходимость в проведении исследований по повышению энергоэффективности системы с использованием роторного регенеративного теплообменника на каждой ступени. В данной работе

анализ протекающих теплогидродинамических процессов и выбор оптимальных технологических и геометрических параметров устройства системы стабилизации воздуха, разработка и исследование математической модели для определения характеристик охлаждаемой воды и воздуха являются важными задачами.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках темы № ЁО-А3-008 «Разработка системы охлаждения воздуха домов по типовым проектам построения в сельской местности на основе двухступенчатого испарительного охладителя с вращающимся регенеративным теплообменником» Институт проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан (2017-2018).

Целью исследования является повышение эффективности системы кондиционирования воздуха с использованием испарительных холодильных установок на производственных объектах и разработка схемы энергоэффективной двухступенчатой испарительной холодильной установки.

Задачи исследования:

анализ методов и устройств испарительного охлаждения воздуха, термодинамических процессов и закономерностей массопереноса в них;

разработка физической модели усовершенствованного двухступенчатого испарительного охлаждающего устройства с вращающимся регенеративным теплообменником, кондиционирования воздуха для зданий и сооружений;

разработка математической модели протекающих процессов обработки воздуха с водой в форсуночной камере;

разработка вычислительного алгоритма, созданного устройства кондиционирования воздуха и выполнение численных экспериментов;

проведение экспериментальных исследований в двухступенчатом устройстве кондиционирования воздуха и сравнение полученных результатов с теоретическими.

Объектом исследования является двухступенчатое испарительное устройство кондиционирования воздуха.

Предмет исследования: энергетические и тепловые характеристики двухступенчатых испарительных охладителей воздуха.

Методы исследования. В период исследования закономерности термодинамических, тепло- и массообменных процессов в кондиционировании воздуха использовались для сравнения результатов экспериментальных и теоретических расчетов, а также для методов расчета рациональных параметров устройств и процессов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана схема энергоэффективного двухступенчатого испарительного охлаждающего устройства с вращающимся регенеративным теплообменником для кондиционирования воздуха в зданиях и помещениях;

создана математическая модель, которая характеризует диаметр разбросанных капель воды, время их прохождения и пройденное расстояние;

определены оптимальные геометрические параметры роторного регенеративного теплообменника на основании экспериментальных испытаний; определены условия использования, технико-экономические и экологические показатели испарительных холодильников в системах кондиционирования воздуха.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработано двухступенчатое испарительное устройство для кондиционирования и охлаждения воздуха;

усовершенствован энергосберегающий воздухо- кондиционирующий двухступенчатый испаритель с вращающимся регенеративным теплообменником и разработана методика инженерных расчетов;

описаны рекомендации по расчету геометрических параметров форсунки вращающегося регенеративного теплообменника, повышающей КПД устройства.

Достоверность полученных результатов исследования.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования закономерностей тепломассопереноса в камере испарительного охлаждения, проведено сравнение полученных результатов и определены их значения с инженерной точки зрения.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется охлаждением воздуха до необходимой температуры в устройстве двухступенчатого испарителя кондиционирования воздуха, а также моделированием процессов тепломассопереноса, а также определением рациональных значений геометрических параметров вращающегося регенеративного теплообменника.

Результаты практических исследований были представлены при обработке воздуха и влаги в зданиях и сооружениях на основе энергоэффективной схемы. Практическая значимость полученных результатов объясняется снижением энергозатрат за счет использования роторных регенеративных теплообменников в устройстве двухступенчатого испарительного охлаждения.

Внедрение результатов исследования.

Установлено двухступенчатое испарительное охлаждение с вращающимся регенеративным теплообменником для системы кондиционирования в здании ООО «ROYAL FAMILY» (справка Торгово-промышленной палаты Узбекистана № 6/04-15-484 от 18 января, 2021). Внедрение в результате дает возможность сокращения расхода электроэнергии в 2,4 раза на систему кондиционирования;

Внедрены метод и алгоритм определения показателей влажного воздуха для системы кондиционирования в здании ООО «ROYAL FAMILY» (справка Торгово-промышленной палаты Узбекистана № 6/04-15-484 от 18 января, 2021). В результате удалось увеличить срок службы до 17 месяцев без ремонта производственного оборудования;

Для системы кондиционирования здания ООО «ROYAL FAMILY» внедрен расчетно-графический метод двухступенчатого испарительного охлаждения воздуха при создании микроклиматических условий в зданиях и помещениях (справка Торгово-промышленной палаты Узбекистана № 6/04-15-484 от 18

января, 2021). В результате температура в зданиях составляла 23-25°C, а относительная влажность - 46%.

Для системы кондиционирования в здании ООО «ROYAL FAMILY» внедрена методика обработки результатов на основе моделирования процессов теплопереноса в аппарате испарительного охлаждения (справка Торгово-промышленной палаты Узбекистана № 6/04-15-484 от 18 января, 2021). В результате это позволило достичь экономической эффективности 77 млн. сумов в год.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований апробированы на восьми научно-практических конференциях, в том числе 5-х международных и 3-х республиканских.

Публикация результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 5 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 4 статьи в республиканских журналах и 1 - в зарубежном, получено свидетельство на 1 программу для ЭВМ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 3-х глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составляет 110 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение обосновывается актуальность и необходимость работы, дана характеристика целям и задачам объекта и предмета исследования, показаны соответствия работы с перспективными направлениями развития науки и технологии республики, научная новизна и практические результаты, раскрыто научно-практическое значение полученных результатов, приведены данные по внедрению в практику результатов исследования, а также по опубликованным работам и по структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Состояние использования испарительных охладителей для кондиционирования воздуха**» проблема исследования формируется на основе современного состояния и анализа исследовательских проблем. Эта глава начинается с анализа требований к микроклиматическим условиям зданий, современных методов и устройств для улучшения температурно-влажностных характеристик воздуха в помещении. Проведенный анализ показывает, что научная проблема форсуночных камер на основе полного испарения поступающей воды в системах кондиционирования воздуха, работающих по предложенному принципу двухступенчатого испарительного охлаждения, изучена недостаточно. Следовательно, существует необходимость в проведении исследований по повышению энергоэффективности системы на основе полного испарения поступающей естественным путем воды. На основании исследования гидродинамических и тепловых процессов испарительных охлаждающих устройств, а также совершенствования конструкции, так как их энергоэффективность и методы расчета недостаточно разработаны.

Во второй главе диссертации «Исследование тепломассообмена в форсуночный испарительный камере» описана физическая модель процессов тепломассопереноса в форсуночный испарительный камере, математическая модель процесса обработки воздуха с водой, методика расчета параметров тепло- и массопереноса в процессах обработки воздуха с водой, а также приведен теплотехнический расчет испарительной камеры.

Процессы тепломассообмена, происходящие в камере принудительного испарения, осложняются тем, что они протекают на дискретной поверхности, состоящей из неоднородной полидисперсной жидкой фазы, которая изменяется по длине камеры из-за попадания капель внутрь и вокруг камеры. В результате рабочий объем камеры генерирует поток тепла и массы одновременно в разных направлениях.

Для форсированной камеры движение жидкости характеризуется прямоточным потоком, и в этом случае расчет камеры является одномерным.

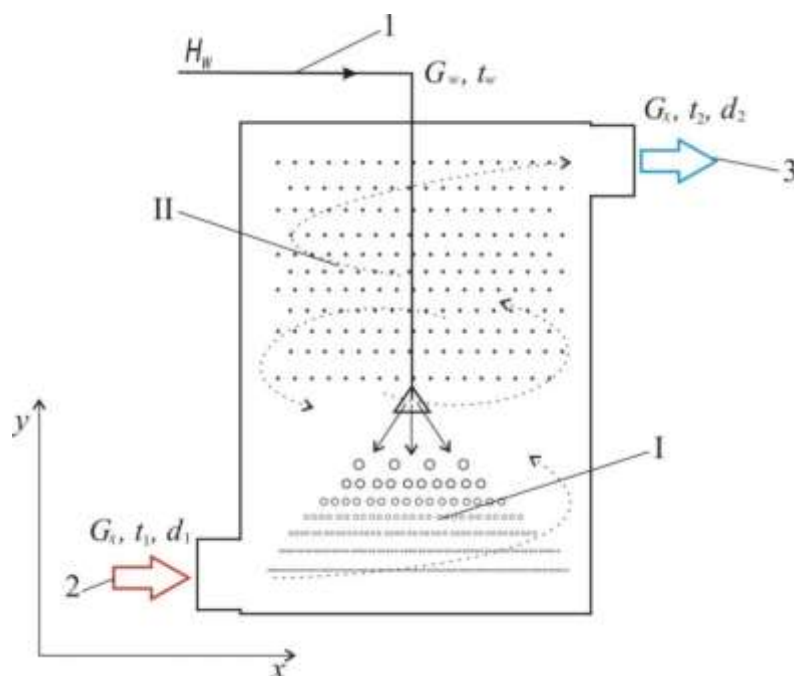


Рис.1. Схема математического моделирования испарения воды в испарительной камере. 1 - распыление воды через форсунку, 2 - приток воздуха в камеру, 3 - выход воздуха из камеры; I - капли воды и зона их испарения, II - зона обработанного воздуха.

С учетом вероятностей, принятых для одномерной математической модели, описывающей процессы стационарного тепломассопереноса в контактных устройствах, т.е. в камере инжектора, ее можно выразить следующими уравнениями:

- уравнение, представляющее энтальпию воздуха:

$$\frac{dI}{dy} = \int_0^{\delta_{\max}} F_1(y, \delta) \cdot (I_\delta - I) d\delta, \quad (1)$$

- уравнение, представляющее температурное поле воздуха:

$$\frac{dt}{dy} = \int_0^{\delta_{\max}} F_1(y, \delta) \cdot (t_\delta - t) d\delta, \quad (2)$$

- уравнение, представляющее температурное поле жидкости для капель разных размеров:

$$\frac{dt_\delta}{dy} = \int_0^{\delta_{\max}} F_2(y, \delta) \cdot (I - I_\delta), \quad (3)$$

где $F_1(y, \delta)$ и $F_2(y, \delta)$ - функции, которые зависят от общей площади поверхности капель диаметром δ , скорости капель и их коэффициентов теплопередачи в сечении y .

Рассмотрим элемент рабочего объема $F_{\text{фр}} dy$ камеры в прямоугольной системе координат x, y, z (рис.1).

Количество капель диаметром δ , проходящих через сечение камеры на таком расстоянии от начала координат до единицы координат во времени, составляет:

$$dn = N_0 \cdot B(y) \cdot f(\delta) \cdot d\delta, \quad (4)$$

где $B(y)$ - коэффициент, изменяющийся по длине камеры с учетом падения капель на основание и стенку камеры.

N_0 - общее количество капель, разбрызгиваемых из инжектора в единицу времени.

При распылении жидкости образуется набор полидисперсных капель, который характеризуется функцией распределения по диаметрам σ капель. В целом, распределение плотности капель по диаметру выглядит следующим образом:

$$f(\delta) = \frac{1}{N_0} \frac{dn}{d\delta}, \quad (5)$$

В этом случае массовый расход и площадь поверхности капель диаметром δ в единицу времени рассчитываются по следующим формулам:

$$G_w = \rho_w N_0 \int_0^{\infty} \frac{\pi \delta^3}{6} f(\delta) \cdot d\delta, \quad (6)$$

$$dF_\delta = \pi \delta^2 dn = N_0 \cdot \pi \cdot \delta^2 \cdot B(y) \cdot f(\delta) \cdot d\delta, \quad (7)$$

поверхность капли того же диаметра, проходящей через объем $F_{\text{фр}} dy$,

$$N_0 \cdot \pi \cdot \delta^2 \cdot B(y) \cdot f(\delta) \cdot d\delta \cdot d\tau, \quad (8)$$

здесь $d\tau = \frac{dy}{V_y(\delta)}$ - $F_{\text{фр}} dy$ время падения громкости; $V_y(\delta)$ - абсолютная скорость

капель диаметром δ в направлении y .

Чистое (явное) количество тепла, передаваемого воздуху от капель диаметром δ в объеме $F_{\text{фр}} dy$, выглядит следующим образом:

$$dQ_\alpha = N_0 \cdot \alpha \cdot B(y) \cdot \pi \cdot f(\delta) \cdot (t_\delta - t) \cdot \delta \cdot d\delta \cdot y, \quad (9)$$

где α - коэффициент теплоотдачи поверхности капли.

Используя известное уравнение для числа Нуссельта и подставив его в (9):

$$dQ_\alpha = N_0 \cdot \frac{Nu \cdot \lambda}{V_y(\delta)} \cdot B(y) \cdot \pi \cdot f(\delta) \cdot (t_\delta - t) \cdot \delta \cdot d\delta \cdot y, \quad (10)$$

из равенства

$$\mu G_B = \rho_\omega \cdot N_0 \cdot \int_0^{\delta_{\max}} \frac{\pi \delta^3}{6} f(\delta) d\delta, \quad (11)$$

получаем следующее

$$N_0 = \frac{6G_B \cdot \mu}{\pi \cdot \rho_\omega \cdot M_3} V_y(\delta), \quad (12)$$

Учитывая равенство $M_n = \int_0^{\delta_{\max}} \delta^n f(\delta) d\delta$, получаем:

$$M_3 = \int_0^{\delta_{\max}} \delta^3 f(\delta) d\delta.$$

Интегрируя (9) по всему спектру, получаем:

$$dQ_{\text{я}} = \frac{6G_B \cdot \lambda}{\rho_\omega \cdot M_3} dy \cdot \int_0^{\delta_{\max}} \frac{Nu \cdot B(y)}{V_y(\delta)} \cdot \delta \cdot f(\delta) \cdot (t_\delta - t) \cdot d\delta, \quad (13)$$

С другой стороны,

$$dQ_{\text{я}} = c G_d dt. \quad (14)$$

Приравняв выражения (13) и (14), получаем следующее

$$\frac{dt}{dy} = \frac{6\mu\lambda}{c\rho_\omega M_3} \cdot \int_0^{\delta_{\max}} \frac{Nu \cdot B(y)}{V_y(\delta)} \cdot \delta \cdot f(\delta) \cdot (t_\delta - t) \cdot d\delta. \quad (15)$$

Для получения более полной математической модели необходимо определить дисперсионные свойства распыляемой воды в поливной камере.

Согласно нормально-логарифмическому закону функция распределения имеет следующий вид:

$$f(\delta) = \frac{1}{N_0} \frac{dn}{d(\lg \delta)} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lg \delta - \lg D_\xi)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (16)$$

В этом случае значение момента M_3 будет следующим:

$$M_3 = \int_0^{\infty} f(\delta) \delta^3 d\delta = \xi^3 \cdot \exp\left(\frac{9}{4}\right) c^2, \quad (17)$$

здесь

$$c = \sigma \sqrt{2 \cdot \ln 10}. \quad (18)$$

Если $D_{\text{кам}} / D_{\text{вх}} = 0,2 \dots 1$

$$\mu = \left[1 + 1,5 \left(\frac{D_{\text{кам}}}{D_{\text{вх}}} \right)^{0,475} \left(\frac{D_{\text{сп}}}{D_{\text{вх}}} \right)^{0,475} \right]^{-1}. \quad (19)$$

Это соотношение используется при расчете расхода воды через форсунку, кг/сек:

$$G_w = 347,7 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot \mu \cdot \sqrt{\Delta H_w \cdot \rho}, \quad (20)$$

здесь $D_{\text{сп}}$ в м, а ΔH в 10^5 Па.

Используя формулу (16), дисперсный состав разбрызгиваемой воды рассчитывается, зная зависимости минимального D^{\min} , максимального диаметра каплей D^{\max} , а также диаметр каплей D_ξ^{\max} имеющий максимальную вероятность ξ (мода) от геометрических характеристик форсунки и давления перед ними.

В числе первых Е.В. Стефанов и В. Коркин провели теоретические и экспериментальные исследования состава дисперсии. Используем относительно близкое соотношение $\mu = 0,05...0,8$ для расчета толщины слоя воды, когда

$$\delta_{\text{пл}} = D_{\text{сп}}(0,035 + 0,375\mu) \quad (25)$$

Из нормально-логарифмического закона получаем:

$$\frac{dt}{dy} = A_1 \cdot \int_0^{\delta_{\text{max}}} N_{\delta} \cdot \delta \cdot f(\delta) \cdot (t_{\delta} - t) d\delta, \quad (26)$$

здесь

$$A_1 = \frac{6 \cdot \mu \cdot \lambda}{c_b \cdot \rho_w \ln 10 \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi} \cdot M_3}; \quad N_{\delta} = \frac{Nu \cdot B(y)}{V_y(\delta)}. \quad (27)$$

В соответствии с вышеизложенным, следующие уравнения могут быть выведены с учетом связей Льюиса для определения удержания влаги и энтальпии воздуха:

$$\frac{dd}{dy} = A_1 \cdot \int_0^{\delta_{\text{max}}} N_{\delta} \cdot \delta \cdot f(\delta) \cdot (d_{\delta} - d) d\delta; \quad (28)$$

$$\frac{dI}{dy} = A_1 \cdot \int_0^{\delta_{\text{max}}} N_{\delta} \cdot \delta \cdot f(\delta) \cdot (I_{\delta} - I) d\delta. \quad (29)$$

где N_{δ} - количество капель диаметром δ , δ - диаметр капли.

Для определения величины $dt_{\delta}(y)$ получаем уравнение теплового равновесия:

$$\frac{dt_{\delta}}{dy} = A_2(I - I_{\delta}), \quad (30)$$

отсюда

$$A_2 = \frac{6 \cdot Nu \cdot \lambda}{c_b \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot \delta^2 \cdot V_3(\delta)}. \quad (31)$$

Получение решений для адиабатической оросительной камеры приводит к нахождению уравнений тепломассопереноса и NTU_A , что позволяет учесть характеристики процессов тепломассопереноса, происходящих в оросительной камере.

Температура оборотной воды постоянна для режима адиабатической обработки воздуха при неизменной энтальпии обрабатываемого воздуха и равна температуре воздуха по влажному термометру при $I = I_{\delta} = const$. В этом случае уравнения (28) и (29) имеют трехмерное решение: $I = I_{\delta} = const$ и $t_{\delta} = t_m = const$. Уравнение (26) можно записать следующим образом:

$$\frac{1}{(t - t_m)} \frac{dt}{d\tau} = \frac{6\mu\lambda}{c\rho_w M_3} \cdot \int_0^{\infty} Nu(\tau) B(\tau) f(\delta) d\delta, \quad (32)$$

где $B(\tau)$ - коэффициент, учитывающий изменение коэффициента орошения по длине камеры.

Проинтегрируем выражение (32) по τ :

$$NTU_A = \frac{6\mu\lambda}{c\rho_w M_3} \cdot \int_0^{\infty} \delta f(\delta) d\delta \int_0^{\tau} Nu(\tau) B(\tau) d\tau. \quad (33)$$

Среднее значение выражения (33), проинтегрированного по τ и δ , определяется следующим образом:

$$NTU_A = \frac{6\mu\lambda}{c\rho_w M_3} \overline{Nu}_{\dot{y}p} \overline{B}_{\dot{y}p} \overline{\tau}_{\dot{y}p} . \quad (34)$$

Значения средних величин $\overline{Nu}_{\dot{y}p}$, $\overline{B}_{\dot{y}p}$, $\overline{\tau}_{\dot{y}p}$ устанавливаются путем решения уравнений движения и тепломассопереноса капли диаметром $\delta = D_\xi$. Камера рядом с соплами используется только для движения капель первого типа, помещенных в воздушный тракт ($i = 1$).

Необходимо найти геометрические размеры теплообменника, соответствующие найденному значению NTU_A . Для этого используются следующие выражения для определения геометрических размеров камеры форсунки:

$$NTU_A = \frac{F_i N_1}{(H_{\text{кам}} + 2f_i)(B_{\text{кам}} + 2f_i)} + 0,15 ; \quad (35)$$

$$F_i = \frac{4 + \sqrt{\frac{(\tau v_B - (-1)^{i+1} L_i)^2 + s_{yi}^2 D_\xi^2}{v_B \tau_i}} F_1 N_1}{D_\xi^2} \tau_i \left(\frac{q_\Phi}{\sqrt{H_w}} \right) \frac{14,7 \cdot 10^{-5}}{3,6 \cdot 2,4} \frac{\sqrt{H_w}}{V_B} \exp(-2c^2) ; \quad (36)$$

$H_{\text{кам}}$, $B_{\text{кам}}$ - высота и ширина поперечного сечения камеры, м; f_i - коэффициент учета падения капель на внутреннюю поверхность камеры; NTU_A - количество переходных единиц для первого типа сброса; N_1 - количество форсунок в ряду. A_i , F_i , Z_i - вспомогательные коэффициенты.

Тепловой баланс. Мы используем следующие уравнения для описания процесса изоэнтальпии в терминах тепла и влажности при увлажнении:

- тепловой баланс для адиабатического увлажнения воздуха

$$Q_y = Q_m + \Delta Q, \text{ Вт}; \quad (44)$$

- количество тепла, передаваемого воздухом и получаемого водой

$$Q_y = c_p G_B (t_1 - t_2), \text{ Вт}; \quad (45)$$

- скрытая величина теплового потока, соответствующая массе потока

$$Q_m = r G_B (d_1 - d_2), \text{ Вт}; \quad (46)$$

здесь Q_y - количество тепла, передаваемого воздухом и получаемого водой (Вт), Q_m - скрытая величина теплового потока, соответствующая текущей массе (Вт), ΔQ - теплоотдача в окружающую среду (Вт), G_B - массовый расход приточного воздуха (кг/час), t_1 , t_2 - температуры воздуха на входе и выходе из поливной камеры, соответственно ($^{\circ}\text{C}$), c_p - удельная массовая теплоемкость воздуха (кДж / кг), r - скрытая теплота пара при температуре t_w (кДж / кг).

С другой стороны, соотношение между общей скоростью теплопередачи на единицу dF воздушного потока при температуре t , подаваемого в воду при температуре t_w в час, можно выразить следующим образом:

$$dQ = \alpha_B (t - t_w) dF, \text{ Вт}. \quad (47)$$

Для конвективного прохождения массы имеем:

$$dG_m = \beta_d (d - d_w) dF, \text{ кг/с}; \quad (48)$$

здесь α_B – коэффициент теплоотдачи воздухом, Вт/(м²·К); β_d – коэффициент массообмена, приводящий к разнице удержания влаги, Вт/(м²·с); d – влажность увлажненного воздуха, г/кг; d_w – влагоудержание насыщенного влажного воздуха при температуре воды t_w , г/кг.

Чтобы уменьшить количество тепла, теряемого во время испытания, рекомендуется покрыть всю поверхность камеры эффективным теплоизоляционным слоем, чтобы уменьшить ΔQ . В результате увлажнения воздуха во время процесса изохэнтальпии воздух, поступающий в камеру, меняется на насыщенный влажный воздух, и его конечная температура t_2 должна сравниваться с температурой воды t_w .

При адиабатической обработке воздуха в оросительной камере температура воды t_w равна температуре по влажному термометру t_6 , то есть $t_w = t_6 = const$.

Решение проблем, связанных с адиабатической оросительной камерой, приводит к переходу числовой единицы NTU_A :

$$NTU_A = \frac{\alpha F}{G_B c_p} = \frac{t_1 - t_2}{\Delta t_p}, \quad (49)$$

здесь Δt_p – средняя разница температур воздуха, контактирующего с обрабатываемым воздухом и водной поверхностью.

Третья глава диссертации, озаглавленная «**Экспериментальное исследование устройства двухступенчатого испарительного охлаждения и его процессов**», описывает экспериментальное устройство, использование вращающихся регенеративных теплообменников от испарителей, методы исследования, расчет потери давления во вращающемся регенеративном тепле, а также в камере двухступенчатого испарительного охлаждения; приводится изложение исследований о возможности использования регенеративного теплообменника.

В схеме предлагаемого испарительного охладителя для кондиционирования воздуха использован метод обработки воздуха с водой испарительным охлаждением, как адаптивное увлажнение воздуха. Схема экспериментального устройства показана на рис. 2.

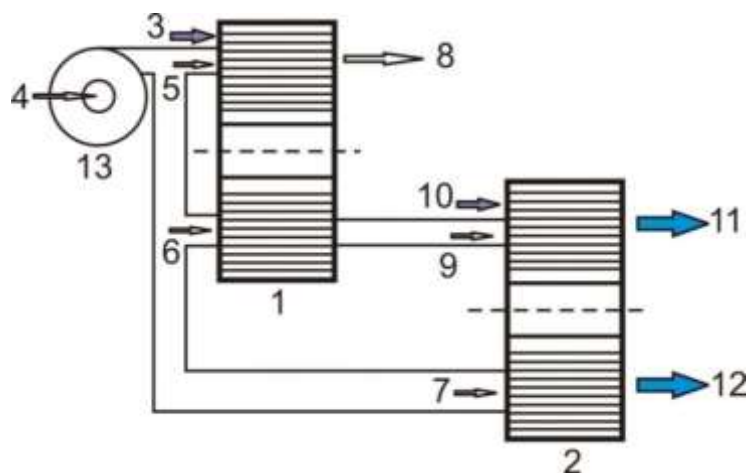


Рис. 2 Двухступенчатый испарительный охладитель с вращающимися регенеративными теплообменниками (ВРТ). 1, 2 - ВРТ 1 и ВРТ 2 соответственно, 3, 10 – распыляемая вода, 4 – охлаждаемый воздух из

атмосферы, 5, 6, 7 – потоки охлаждаемого воздуха, поступающие в мокрую часть ВРТ 1, сухую часть ВРТ 1 и в сухую часть ВРТ 2, соответственно, 8 – выбрасываемый в атмосферу поток воздуха, 9 – поток воздуха из сухой части ВРТ 1, 11 и 12 – подаваемый в помещение охлажденные потоки воздуха, 13 – вентилятор-нагнетатель. Стрелками показаны потоки воздуха и воды. Насос подачи воды не показан.

Целью настоящего изобретения является снижение габаритов, массы и материалоемкости двухступенчатого (прямого и косвенного) испарительного охладителя с ВРТ для бытовых применений при повышении его эффективности, степени охлаждения и расширении пределов регулирования влажности охлажденного воздуха. Эта цель достигается тем, что в испарительном охладителе два ВРТ 1 и 2, а испарительная камера совмещается с ВРТ и испаряемая вода 3 распыляется непосредственно на промежуточный теплоноситель в ВРТ 1 и ВРТ 2 (в их мокрые секции) вдоль потока охлаждаемого воздуха 4, разделяемого на три части 5, 6 и 7. Одна часть 5 общего потока воздуха 4, поступающего в охладитель, проходит через мокрую секцию ВРТ 1 и выбрасывается 8 в атмосферу, а другая часть 6 проходит через сухую секцию ВРТ 1 и поступает 9 в мокрую секцию ВРТ 2, куда разбрызгивается вода 10, и после мокрой секции ВРТ 2 поступает 11 в охлаждаемое помещение. Третья часть общего потока воздуха 7 проходит через сухую часть ВРТ 2 и подается также в охлаждаемое помещение 12.

Вода распыляется в камере испарителя под давлением $8 \div 10$ МПа из современной туманообразующей форсунки, при этом все капли воды соприкасаются с воздухом и испаряются. В результате обеспечивается проход воздуха от вращающегося регенеративного теплообменника с пониженной температурой и относительной влажностью не менее 95%.

Трехмерный дизайн испарительного воздухоохладителя показан на рис. 3.



Рис.3. Экспериментальная установка испарительного воздухоохладителя.

Поскольку работа камеры принудительного действия основана на вращательном движении воздуха, ее форма и геометрические размеры должны определять путь движения воздуха.

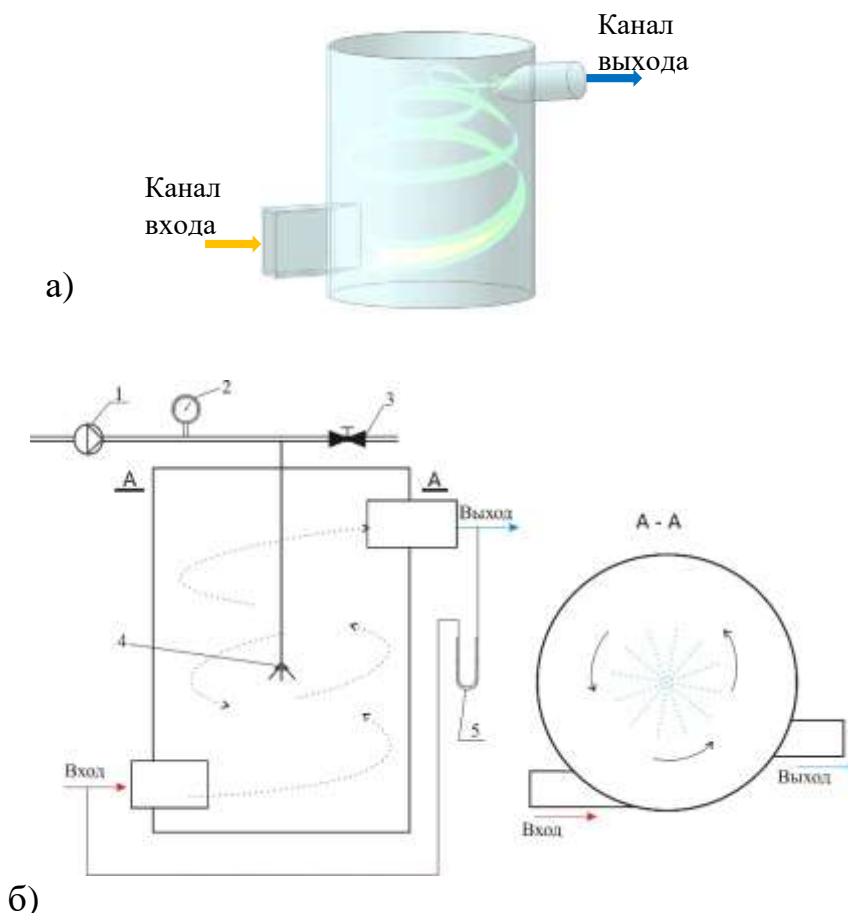


Рис. 4. Схема форсуночных камер: а) трехмерный дизайн; б) принцип работы.

Атмосферный воздух поступает в форсуночную камеру через внешний воздухозаборник и движется в камеру с вихревым движением. Чтобы создать это движение, воздухозаборник помещается на стенке камеры. Воздух, поступающий в камеру, сначала движется по поверхности стенки камеры в сторону кругового выходного канала. Форсунка факела точно пересекает дыхательные пути и входит вместе с ним в нишу. Чем больше расстояние контакта жидкости с воздухом, тем больше происходит испарение жидкости, и для обеспечения длины воздушной траектории устанавливаются направленные поперечные вспомогательные барьеры.

На рис. 4 показан путь поступающего воздуха в испарительную камеру. Насадка опускается из верхней части камеры по трубке к центру и там размещается. Продолжительность его циркуляционного движения должна быть максимально увеличена, чтобы поступающий воздух не покидал камеру до полного испарения капель воды.

Из графика, построенного на основе полученных результатов испытаний, видно, что количество воды, подаваемой в форсуночную камеру, прямо пропорционально ее тепловому КЭ (рис. 5).

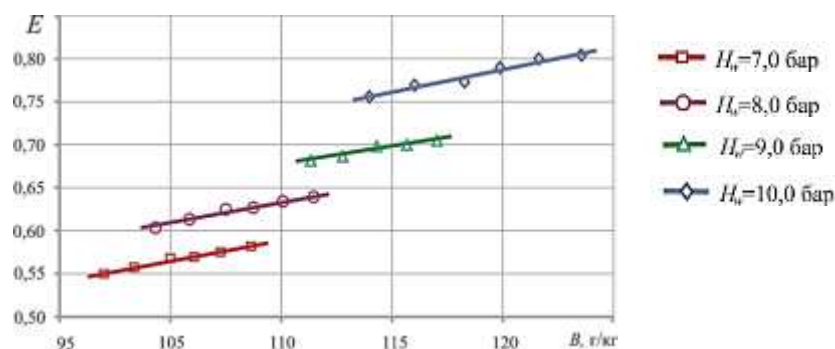


Рис. 5. Зависимость коэффициента эффективности форсуночной камеры (E) от коэффициента орошения (B , г / кг).

При оценке термического коэффициента эффективности форсуночной камеры зависимость количества поступающего в нее воздуха и давления воды (рис. 6) можно увидеть из графика, построенного для анализа результатов испытаний. При подаче в камеру потока воздуха $350 \div 450 \text{ м}^3 / \text{ч}$ давление воды 10 бар обеспечивает высокую термическую эффективность.

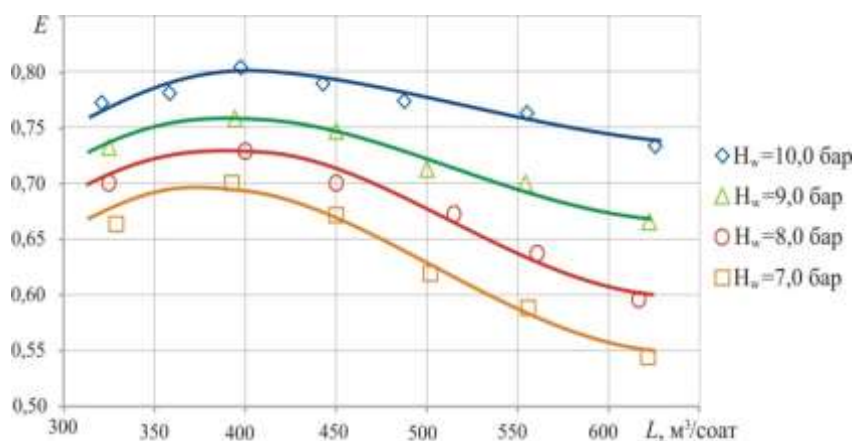


Рис. 6. Зависимость изменения эффективности обработки воздуха (E) от расхода воздуха в форсуночной камере (L , $\text{м}^3 / \text{ч}$).

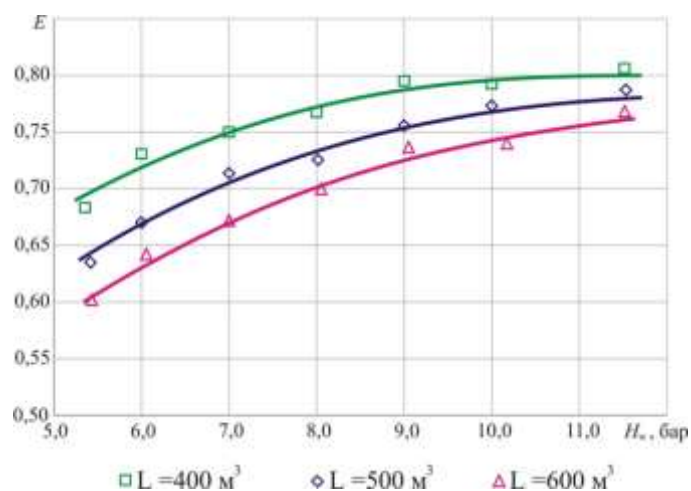


Рис. 7. Зависимость изменения коэффициента эффективности камеры (E) от давления воды (H_w , бар).

Зависимость давления воды от термической эффективности различного количества воздуха, подаваемого в камеру, показана на рис. 7., основанного на результатах испытаний. Из этого графика видно, что эффективность камеры выше, когда давление воды пропорционально количеству воздуха.

На рис. 8. представлена зависимость термической эффективности исследуемого вращающегося регенеративного теплообменника от частоты вращения насадки W_1 , W_2 для различных потоков воздуха. Из полученных данных можно рассчитать, что частота вращения насадки оптимальна от 9 до 13 об/мин.

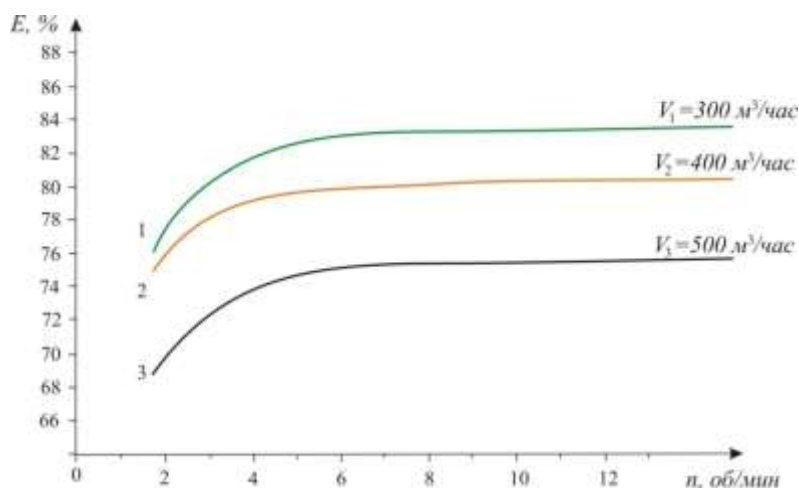


Рис. 8. График зависимости термической эффективности вращающегося регенеративного теплообменника от частоты вращения в насадке.

$$1. W_1 = 192 \text{ Bm/K}, W_2 = 197 \text{ Bm/K}, W_1/W_2 = 0,97$$

$$2. W_1 = 192 \text{ Bm/K}, W_2 = 213 \text{ Bm/K}, W_1/W_2 = 0,91$$

$$3. W_1 = 192 \text{ Bm/K}, W_2 = 226 \text{ Bm/K}, W_1/W_2 = 0,84$$

Проведен эксперимент по определению среднего коэффициента теплоотдачи от потока теплового воздуха к насадке. Средняя температура воздушного потока, поступающего в насадку, поддерживается постоянной с течением времени. Средняя температура выходящего из устройства воздушного потока находится в заданном рабочем режиме. Скорость потока холодного воздуха поддерживалась нестабильной, а скорость потока горячего воздуха была изменена от 100 до 600 м³/ч. Частота вращения насадки 13 об / мин. При принятии экспериментальных данных к обработке разница в тепловом балансе не превышала 10%.

На рис.9. показана зависимость термического коэффициента вращающегося регенеративного теплообменника от коэффициента водного эквивалента

$$E = f\left(\frac{W_1}{W_2}\right) \text{ воздушных потоков.}$$

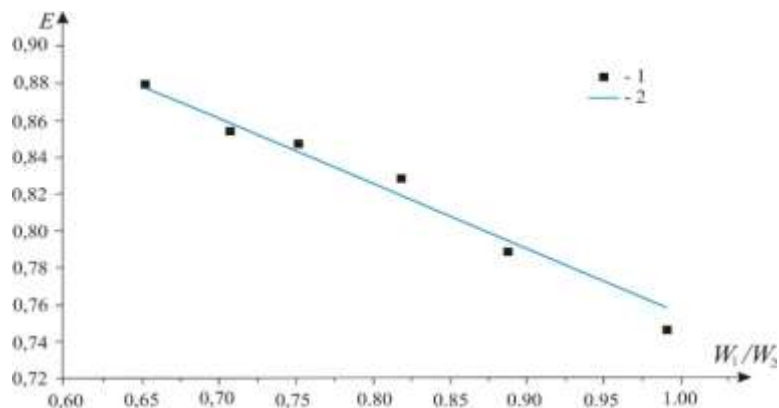


Рис. 9. Сравнение расчетных и экспериментальных значений термической эффективности вращающегося регенеративного теплообменника: 1. Данные, полученные в результате эксперимента; 2. Теоретические расчетные данные.

Система кондиционирования воздуха состоит из двух испарительных камер и двух вращающихся регенеративных теплообменников. Ниже представлены результаты расчетов и испытаний по определению параметров влажного воздуха, выходящего из устройства.

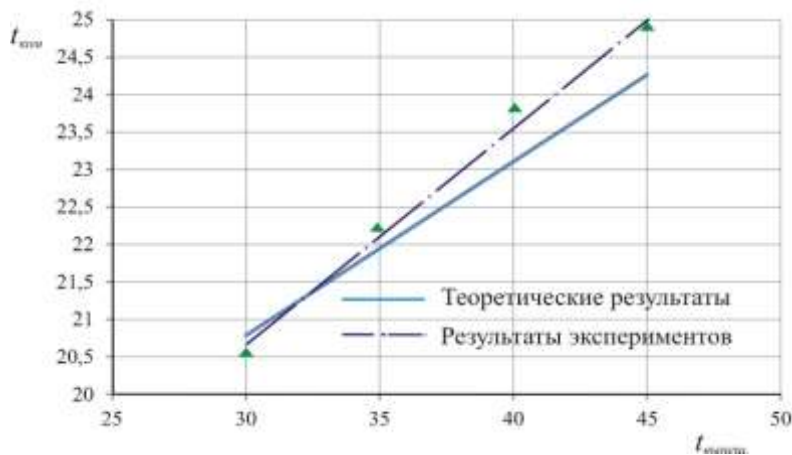


Рис. 10. Разница между теоретическими результатами и результатами испытаний по температуре воздуха, подаваемого в помещение от вращающегося регенеративного теплообменника.

Во время испытаний вращающегося регенеративного теплообменника было обнаружено расхождение с теоретическими результатами (рис. 10).

На рис. 11. показана принципиальная схема рассматриваемой системы испарительного охлаждения кондиционирования воздуха.

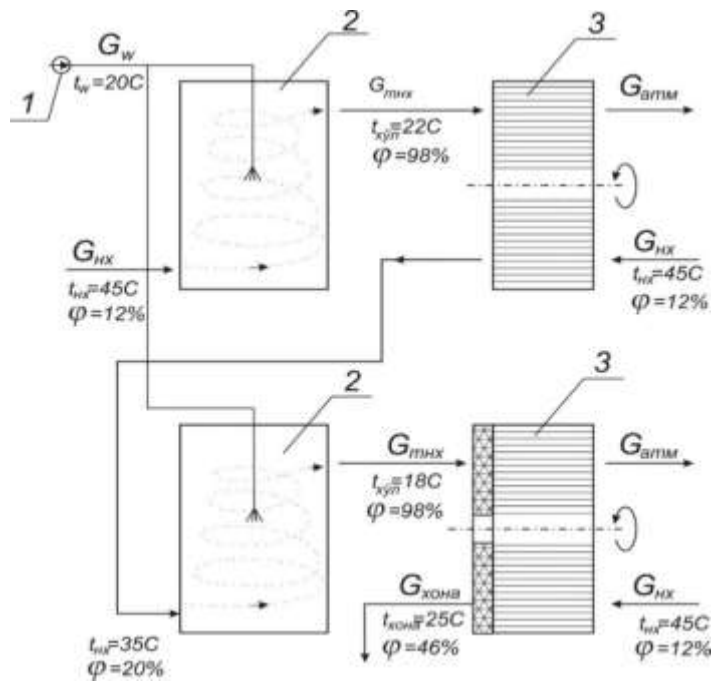


Рис. 11. Принципиальная схема двухступенчатого испарительного охлаждающего устройства для кондиционирования воздуха.

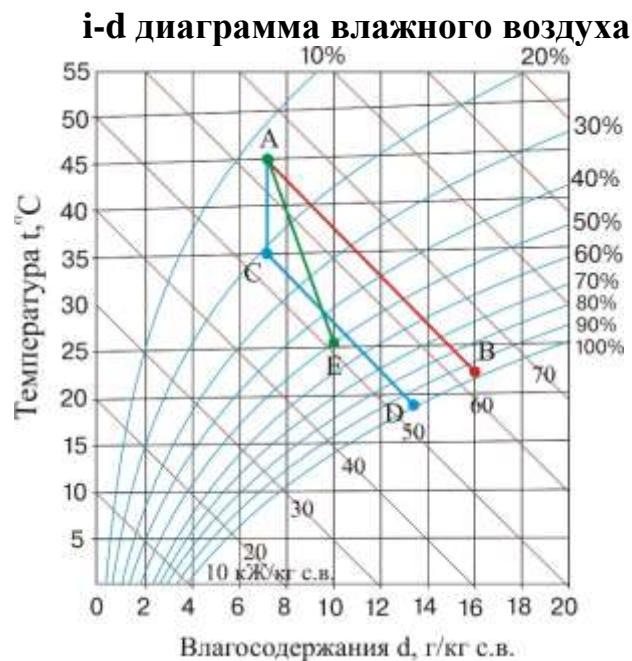


Рис. 12. I-d диаграмма процесса кондиционирования воздуха в устройстве двухступенчатого испарительного охлаждения.

Летом 2020 года в системе кондиционирования бумажного издательства ООО «ROYAL FAMILY» был внедрен двухступенчатый метод испарительного охлаждения. В период с 8:00 до 19:00 температура наружного воздуха была около 35-42°C, после того, как испытательный прибор был запущен и начал работать на том же уровне, температура в помещении была около 24-25°C, а относительная влажность была в районе 45-46%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов исследований, проведенных по теме «Повышение эффективности систем охлаждения воздуха бытовых и производственных помещений на основе двухступенчатого испарительного охладителя» представлены следующие выводы:

1. С использованием метода воздушного испарительного охлаждения разработана новая энергоэффективная схема и экспериментальное устройство, позволяющие снизить потребление тепла и электроэнергии в системах кондиционирования воздуха.
2. Эксперименты показали, что аэродинамическое сопротивление воздуха в устройстве испарительного охлаждения изменяется в зависимости от скорости воздушного потока и температуры влажного воздуха, выходящего из форсуночной камеры с мокрым термометром. В результате термический коэффициент форсуночной камеры был увеличен на 6-8%.
3. Создана математическая модель процесса тепломассопереноса в форсуночной камере. В результате появилась возможность определять термодинамические параметры форсуночной камеры с высокой термической эффективностью.
4. Установлено, что величина геометрических размеров теплообменных насадок варьируется в зависимости от термической эффективности, расхода воздуха (кг/с), рассеивания давления и поверхностей теплообмена. В результате термическая эффективность составила 78-84% при длине сопла теплообменника $l = 250 \dots 300$ мм и диаметре $d = 2,6 \dots 3,4$ мм.
5. Разработан алгоритм и создана программа на ЭВМ для расчета параметров отработанного воздуха ($t''_{\text{воздух}}$) с двухступенчатого испарительного охладителя.
6. В климатических условиях Узбекистана использование систем кондиционирования, основанных на принципе двухступенчатого испарительного охлаждения, оказалось относительно эффективным, и была создана новая энергоэффективная двухступенчатая испарительная охладительная установка. В результате внедрения данного устройства во всех зданиях ООО «ROYAL FAMILY» ожидаемая годовая экономическая эффективность системы кондиционирования составила 77129236 сумов.

UNIVERSITY

ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN
INSTITUTE OF ENERGYPROBLEMS

MUKHTAROV FARRUKH KHANDAMOVICH

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF AIR COOLING SYSTEMS FOR
DOMESTIC AND INDUSTRIAL PREMISES BASED ON A TWO-STAGE
EVAPORATIVE COOLER**

05.05.04 – Industrial Thermal Power

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

Tashkent – 2021

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2017.1.PhD/T97

Dissertation has been prepared at Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan Institute of energy problems.

The abstract of the dissertation is posted in the three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tdsu.uz) and on the website "ZiyoNet" Information and education portal (www.ziynet.uz).

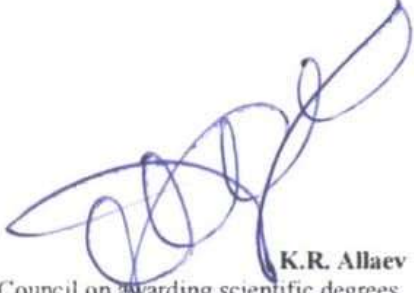
Scientific consultant:	Zakhidov Roman Abdullaevich doctor of Technical Sciences, academician
Official opponents:	Babakhodjaev Rakhimjon Pachekhanovich doctor of Technical Sciences, Associate professor Uzakov Gulamjon Norboevich doctor of Technical Sciences, professor
Leading organization:	JSC « Teploelectroproectb»

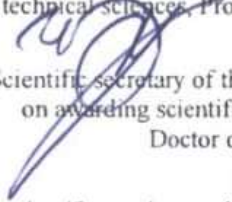
The defense of dissertation will be take place «30» 10 2021 at 11³⁰ o'clock at meeting of Scientific Council at the Scientific Council DSc.03/10.2019.T.03.03 Tashkent State Technical University. (Address: 2, University str., Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone: (99871) 227-03-41, fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tsu_info@tdtu.uz).

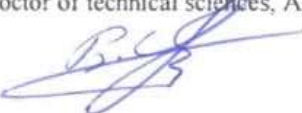
The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information – resource Center of the Tashkent State Technical University (Registered number -221). (Address: 2, University str., Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone: (99871) 227-03-41)

Abstract of dissertation was distributed on «13» 10 2021 year.
(mailing report № 6 on «11» 10 2021 year).




K.R. Allaev
Chairman of Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor, Academician


O.Kh. Ishnazarov
Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees, Professor
Doctor of technical sciences,


R.P. Babakhodjaev
Chairman of the scientific seminar under Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Associate professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is to create an energy efficient two-stage evaporative cooling device for air conditioning in industrial buildings.

Tasks of the research:

analysis of methods and devices for evaporative air cooling, thermodynamic processes and regularities of mass transfer in them;

development of a physical model of an improved two-stage evaporative cooling device with a rotating regenerative heat exchanger, air conditioning for buildings and structures;

development of a mathematical model of the ongoing processes of air handling with water in the nozzle chamber;

development of a computational algorithm, created an air conditioning device and performing numerical experiments;

carrying out experimental studies in a two-stage air conditioning device and comparing the results with theoretical ones. **The object of the research work** is a two-stage evaporative air conditioning device.

The scientific novelty of the research work is as follows:

a scheme of an energy-efficient two-stage evaporative cooling device with a rotating regenerative heat exchanger for air conditioning in buildings and premises has been developed;

a mathematical model has been created that characterizes the diameter of the scattered water droplets, the time of their passage and the distance traveled;

the optimal geometric parameters of the rotary regenerative heat exchanger were determined, based on experimental tests;

the conditions of use, technical, economic and environmental indicators of evaporative refrigerators in air conditioning systems are determined.

Implementation of research results.

A two-stage evaporative cooling with a rotating regenerative heat exchanger was installed for the air conditioning system in the building of ROYAL FAMILY LLC (certificate of the Chamber of Commerce and Industry of Uzbekistan No. 6 / 04-15-484 dated January 18, 2021). Implementation, as a result, makes it possible to reduce energy consumption by 2.4 times for the air conditioning system;

A method and algorithm for determining the indicators of humid air for the air conditioning system in the building of ROYAL FAMILY LLC have been introduced (certificate of the Chamber of Commerce and Industry of Uzbekistan No. 6 / 04-15-484 dated January 18, 2021). When using the proposed algorithm, engineering problems in the air conditioning system are solved;

For the air conditioning system in the building of ROYAL FAMILY LLC, a method for processing results based on modeling heat and mass transfer processes in an evaporative cooling apparatus has been introduced (certificate of the Chamber of Commerce and Industry of Uzbekistan No. 6 / 04-15-484 dated January 18, 2021). As a result, a new technological scheme was developed for the design of air conditioning systems.

For the air conditioning system of the building of ROYAL FAMILY LLC, a computational and graphic method of two-stage evaporative air cooling was introduced when creating microclimatic conditions in buildings and premises (certificate of the Chamber of Commerce and Industry of Uzbekistan No. 6 / 04-15-484 dated January 18, 2021). As a result, the temperature in the buildings was 23-25°C, and the relative humidity was 46%.

Structure and scope of the thesis. The structure of the thesis consists of an introduction, three chapters, conclusion, a list of used literature and applications. The scope of the thesis 110 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим; (I часть; I part)

1. Абдурахманов Г., Захидов Р.А., Мухтаров Ф.Х., Исаходжаев Х.С. / Современные энергосберегающие системы охлаждения воздуха (кондиционеры) // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. ТГТУ, 2012, №3-4. С. 58-66 (05.00.00 №21).
2. Мухтаров Ф.Х. Экспериментальное исследование двухступенчатого испарительного охладителя воздуха // Проблемы информатики и энергетики. №3-4, 2014. С. 103-107 (05.00.00 №5).
3. Захидов Р.А., Анарбаев А.И., Мухтаров Ф.Х. / Расчет температурно – влажностного режима в теплице и определение эффективности установки системы испарительного охлаждения воздуха // Журнал «Проблемы информатики и энергетики», №6, 2017. С.59-65 (05.00.00 №5).
4. Мухтаров Ф.Х. / Энергоэффективные системы испарительного охлаждения птицефермы // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. ТГТУ. 2019, №1-2. С. 107-114 (05.00.00 №21).
5. Mukhtarov F.Kh., Akhmedov A.M. / Development of a New Evaporative Cooler for Air Conditioning Systems // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – Volume 8, issue 8, 2021 (05.00.00 №8).

II бўлим; (II часть; II part)

6. Захидов Р.А., Анарбаев А.И., Мухтаров Ф.Х. / Совершенствование разработок в области конденсационных систем испарительного охлаждения с учётом климатических условий Узбекистана // Журнал «Энергетик», №2, 2016г. С. 55-57.
7. Anarbaev A., Zakhidov R., Mukhtarov F./ Scheme of conditioning in room based on evaporative air cooling system using solar energy // Materials Science and Engineering, 2020, Vol.52.pp. 192-197. doi:10.1088/1757-899X/883/1/0120184
8. Абдурахманов Г., Мухтаров Ф.Х. / Современные системы испарительного охлаждения воздуха // Материалы Республиканской научно-практической конференции молодых ученых «Научный прогресс и инновационное развитие экономики». г. Ташкент, 5 декабря 2012 г. С. 50-51
9. Анарбаев А.И., Захидов Р.А., Мухтаров Ф.Х., Исаходжаев Х.С. / Двухступенчатый испарительный охладитель оборотной воды для систем кондиционирования воздуха // Конференция молодых ученых Узбекистана, Ташкент, 2013. (Труды), стр. 225-226.
10. Захидов Р.А., Анарбаев А.И., Исаходжаев Х.С., Мухтаров Ф.Х. / Новые подходы к расчету параметров испарительного охлаждения в системах кондиционирования воздуха // Сборник докладов международной научно-

технической конференции. «Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере». г. Челябинск (Россия) 23-26 апреля 2013 г., С.115-119.

11. Захидов Р.А., Анарбаев А.И., Мухтаров Ф.Х. / Возможности применения эффективной системы испарительного-лучистого охлаждения воды для кондиционирования воздуха в условиях жаркого климата // Материалы Международной научной конференции «Наука, техника и инновационные технологии в эпоху могущества и счастья».г. Ашгабат, Туркменистан, 12-14 июня 2014г. С.161-163.

12. Абдурахманов Г., Захидов Р.А., Мухтаров Ф.Х. / Испарительный кондиционер с питанием от солнечного фотоэлектрического преобразователя // Материалы международной конференции, посвященной 70-летию Физико-технического института «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». 2015г. С. 305-306.

13. Захидов Р.А., Анарбаев А.И., Исаходжаев Х.С., Мухтаров Ф.Х./ Расчет температуры оборотной воды, охлаждаемой в орошаемых слоях для систем кондиционирования воздуха на основе двухступенчатого испарительного охлаждения // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». 27-29 мая 2015 г., АМ ГУ. Благовещенск (Россия). С. 317-321.

14. Захидов Р.А., Анарбаев А.И., Мухтаров Ф.Х. / Расчет параметров состояния кондиционируемого воздуха в двухступенчатых системах испарительного охлаждения воздуха // DGU 20150308, 19.08.2015

Автореферат ТошДТУ «Техника фанлари ва инновация» журнали таҳририятида
таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро
мувофиқлаштирилди (___ . __ 2021 йил)

Босишга рухсат этилди: 14.10.2021 йил.
Бичими 70x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 185.
Тел (99) 832 99 79; (97) 815 44 54.
Гувоҳнома reestr № 10-3279
“IMPRESS MEDIA” МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.
100031, Тошкент ш., Яккасарой тумани, Қушбеги кўчаси, 6-уй