

**“ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ” МИЛЛИЙ  
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР  
БЕРУВЧИ DSc.30/03.12.2019. Т.10.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**“ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ”  
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ВАХИДОВ УМИД ФАХРИДДИНОВИЧ**

**ИССИҚХОНАЛАРДА ҲАВОНИ БУҒЛАТИБ СОВУТИШ  
ҚУРИЛМАСИНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

**05.05.07 – “Қишлоқ хўжалигида электр технологиялар ва электр ускуналар”**

**Техника фанлар бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент - 2026**

**Фалсафа доктори (PhD)  
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора  
философии (PhD)**

**Content of dissertation abstract of doctor  
philosophy (PhD)**

**Вахидов Умиджон Фахриддинович**

Иссиқхоналарда ҳавони буғлатиб совутиш курилмасининг самарадорлигини ошириш.....5

**Вахидов Умиджон Фахриддинович**

Повышение эффективности установки испарительного охлаждения воздуха в тепличных хозяйствах .....23

**Vakhidov Umidjon Fahriddinovich**

Increasing efficiency the installation of evaporative cooling air in greenhouses.....45

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

**Список опубликованных работ**

**List of published works.....48**

**“ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ” МИЛЛИЙ  
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР  
БЕРУВЧИ ДСс.30/03.12.2019.Т.10.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**“ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ”  
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ВАХИДОВ УМИД ФАХРИДДИНОВИЧ**

**ИССИҚХОНАЛАРДА ҲАВОНИ БУҒЛАТИБ СОВУТИШ  
ҚУРИЛМАСИНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

**05.05.07 – “Қишлоқ хўжалигида электр технологиялар ва электр ускуналар”**

**Техника фанлар бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги хузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2024.3.PhD/Т4909 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация “Тошкент ирригация ва кишлок хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университетидида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz)) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Илмий раҳбари:</b>      | <b>Анарбаев Анвар Изатуллаевич</b><br>DSc, катта илмий ходим  |
| <b>Расмий оппонентлар:</b> | <b>Мухаммадиев Ашираф Мухаммадиевич</b><br>техника фанлари доктори, профессор<br><b>Мухторов Фаррух Хандамович</b><br>PhD, доцент |
| <b>Етакчи ташкилот:</b>    | <b>Қарши давлат техника университети</b>  |

Диссертация химояси “Тошкент ирригация ва кишлок хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университети хузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.10.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2026 йил «25» ИЮН соат 14<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтди. (Манзил: 100000, Тошкент, Қори Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тел.: (+99871)237-09-45; факс: (+99871)237-38-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

Диссертация билан “Тошкент ирригация ва кишлок хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (414-рақами билан рўйхатга олинган) (100000, Тошкент, Қори Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тел.: (+99871)237-09-45; факс: (+99871)237-38-79, э-майл: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

Диссертация автореферати 2026 йил «15» ИЮН кунни тарқатилди.  
(2026 йил «15» ИЮН даги 111 рақамли реестр баённомаси).



**Б.С.Мирзаев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

**У.Т.Кузиев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий  
котиби, PhD, доцент.

**Д.Б.Қодиров**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш  
кошидаги илмий семинар раиси, DSc, профессор

## КИРИШ (докторлик (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда қишлоқ хўжалиги корхоналарда электр энергия самарадорлиги юқори технологияларидан фойдаланишни кенгайтириш, ёқилғи-энергетик ресурсларни тежаш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда "... замонавий лойиҳалар асосида қурилган иссиқхоналарда энергия сарфини умумий харажатларнинг 20÷40 фоизини ташкил этишишини ҳисобга олсак"<sup>1</sup>, иссиқхоналарни совутишда электр энергия самарадорлиги юқори бўлган технологияларни амалиётга жорий этишни тақозо этади. Бу борада, жумладан табиий технология асосида иссиқхоналарни совутишда такомиллашган буғлатиб совутиш тизимларни ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда гулларни етиштиришдан олдин, унинг ўсишига салбий таъсир этувчи омиллар учун ресурстежамкор технологиялар ва техника воситаларининг янги илмий-техникавий ечимларини ишлаб чиқишга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, ишлаб чиқарилаётган энергиянинг иссиқхоналарда 2,8 фоизи буғлатиб совутиш тизимлари улушига тўғри келаётганлиги, атроф-муҳитга нисбатан намликни 40÷60 % гача ва ҳавонинг оптимал ҳарорати 6÷10 °С бўлиши зарурлиги ҳамда такомиллашган буғлатиб совутиш қурилмаларини бўйича тадқиқотлар устувор ҳисобланмоқда. Шу билан бирга, амалиётга жорий этилиши натижасида сув тежамкорлигига, совуtuvчи модда сув бўлган буғлатувчи турдаги совуткичлардан фойдаланган ҳолда, ҳавони совутиш мақсадларига сарфланадиган электр энергия сарфини 8÷10 баробарга камайтириш учун ишлаб чиқиш долзарб вазифалардан ҳисобланмоқда.

Республикамизда энергиядан фойдаланиш самарадорлигини ошириш, қишлоқ хўжалиги тармоғида энергия тежовчи ишланмаларга боғлиқ иқтисодий ривожлантириш, энергия самардорлигини оширадиган техник ечимларни ишлаб чиқиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда.

Ўзбекистон Республикасини 2022-2026 йилларга қадар янада ривожлантириш бўйича тараққиёт стратегиясида "... яқин келажакда иқтисодийда энергия ва захиралар истеъмоли ҳажмларини қисқартириш, энергия ишлаб чиқишда энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ҳамда қайта тикланадиган энергия манбаларидан кенг фойдаланиш биринчи навбатдаги вазифа сифатида қўйилиши..."<sup>2</sup> бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларини амалга оширишда, жумладан, ўстирилаётган гулларга таъсир этувчи зарарли омилларни олдини олган ҳолда, сифатли ўстириш билан бирга, техник ва технологик жиҳатдан модернизациялашган энергия тежовчи муҳитни яратиш қаратилган илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 10 июлдаги ПҚ-4779-сонли "Иқтисодийнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш... тўғрисида"ги фармон ва қарорлари ҳамда мазкур

<sup>1</sup> <https://www.insongreen.com/ru>

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги "2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида"ги ПФ-60-сонли Фарм они

фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги.** Ушбу диссертация тадқиқоти республика фан ва технологияларини ривожланишнинг II “Энергетика, энерго тежамкорлик ва муқобил энергия манбалари” истиқболли йўналишларига мос тарзда амалга оширилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи<sup>3</sup>.**

Илмий ишлар таҳлили иссиқхона хўжаликларида ҳавони буғлатиб совутиш тизимлари технологияларнинг ривожланиши энг муҳим иқлим омиллари, буғлатиб совутиш тизимлари унсурларининг техник-иқтисодий кўрсаткичларига ва уларнинг ишлаш тартибининг микроиқлимни яратиш самарадорлигига кўрсатадиган таъсирини аниқлаш йўналишини кўрсатмоқда. Лекин сезиларли илмий ютуқларга қарамадан иссиқхона хўжаликларида бундай ҳавони совутиш тизимларнинг энергия истеъмолини оптималлаш масалалари жиҳатдан шамоллатиш ускунанинг иссиқхонада жойлаштиришни ҳисобга олиб, унинг параметрларини ва намланувчи қатламга сув етказиш тезлигини белгилаш ҳали етарли даражада ўрганилмаган. Буғлатиб совутиш технологияси афзалликларининг очиқлиги, масалан ҳарорат-намлиги параметрлари бошқарув имконияти, кичик ўлчамлари ва ишончлиги ёзда буларнинг кенг фойдаланишига йўл бермоқда.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Ҳозирги вақтда жаҳонда ишлаб чиқариш биноларида ҳавони буғлатиб совутишнинг кам сарфли тизимларини жорий этиш соҳасидаги қаратилган илмий тадқиқотлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари, жумладан МИТИ (Россия), Султон Қобус университети (Уммон), Тошкент давлат техника университети ва Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг Энергетика муаммолари институтида фаол тадқиқотлар ва бошқаларда амалга оширилмоқда.

Биоларни совутиш тизимларида буғлатиб совутишни каби масалаларни ҳал қилишда бир қатор таниқли хорижий олимлар катта ҳисса қўшганлар, жумладан О.Я.Кокорин, Б.Н.Юрманов, А.Г.Анчихин, В.С.Майсоценко, А.Ал-Исмоилий, Э.Даян, Е.Преснов, Д.Жайн, Г.Н.Тивари ва бошқалар.

Бу борадаги иссиқхоналарда иқлим яратиш илмий соҳада энергия истеъмолини ростлаш ва бошқариш воситалари, усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш каби илмий муаммоларни ҳал қилишга Ўзбекистоннинг таниқли олимларини илмий ишлари бағишланган. Булардан: Р.А.Захидов, А.Б.Вардиашвили, Г.Н.Узаков, Б.Э.Хайриддинов ва бошқалар томонидан ҳам тадқиқотлар олиб борилган.

Сезиларли муваффақиятларга қарамай, ишлар таҳлили иссиқхона хўжаликларида энг муҳим иқлим омиллари ва буғлатиб совутиш тизимлари унсурларининг техник-иқтисодий кўрсаткичларига, уларнинг ишлаш тартибининг микроиқлимни яратиш самарадорлигига кўрсатадиган таъсири билан боғлиқ илмий муаммолар етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур диссертация ишида ҳавони буғлатиб совутиш тизимда энергия тежовчи техник ечимларни ишлаб чиқиш, бунда энергия истеъмоли ва ҳаво тақсимотининг иссиқхонадаги вентиляторлар

---

<sup>3</sup> Dayioğlu, M. A., and H. H. Silleli. 2015. Performance Analysis of a Greenhouse Fan-Pad Cooling System: Gradients of Horizontal Temperature and Relative Humidity. *Journal of Agricultural Sciences*, 21(1). P. 132–143.

конфигурацияси ва параметрларини аниқлаш ва “намланувчи қатламларнинг” параметрларни оптималлаштириш усули ва алгоритми таклиф этилган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти “ТИҚХММИ” Миллий тадқиқот университетининг тадқиқотлар режасига мувофиқ: 7.3-сонли “Ўсимликларни, қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини, табиий ва чиқинди сувларни тозалаш электротехнологиясини ривожлантиришнинг илмий методологияси асослари”. Ўзбекистондаги қишлоқ хўжалигини электрлаштириш ишлари асосан қишлоқ хўжалик экинларини авжлантириш, касаллик ва зараркунандалардан ҳимоя қилиш етиштириладиган ҳосилнинг сифат кўрсаткичларини яхшилашга қаратилган.

Иссиқхоналардаги тадқиқотлар асосан қўлланиладиган энергетик ускуналарни ишлаб чиқиш, иссиқхоналарда етиштириладиган ўсимликлар учун мақбул ҳаво ва совутиш режимларини мақбуллаштиришга йўналтирилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** атир гулларини сифатли етиштиришда иссиқхоналарда талаб қилинадиган микроиқлим параметрлари учун ҳавони буғлатиб совутиш тизимининг энергия самарадорлиги ошириш.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

ҳавони буғлатиб совутиш тизимлари учун иссиқхонада микроиқлимни яратиш самарадорлигига таъсир этувчи омилларни аниқлаш;

ҳавони буғлатиб совутиш тизимда энергия тежовчи техник ечимларни ишлаб чиқиш, бунда энергия истеъмоли ва ҳаво тақсимотининг иссиқхонадаги вентиляторлар конфигурациясига боғлиқлигини аниқлаш ва параметрларни оптималлаштириш;

иссиқхоналарда ҳавони буғлатиб совутиш тизимининг математик моделини яратиш;

иссиқхоналарда экспериментал тадқиқот натижалар асосида ҳавони буғлатиб совутиш тизимининг рационал параметрларини аниқлаш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида атиргул етиштиришга мўлжалланган иссиқхоналарда микроиқлим самарадорлигини ошириш ва энергия истеъмолини камайтириш учун иссиқхона ҳавосини буғлатиб совутиш тизими олинган.

**Тадқиқотнинг предмети.** Иссиқхоналарда микроиқлим самарадорлигини ошириш ва энергия истеъмолини камайтириш учун ҳавони буғлатиб совутиш тизимининг амалдаги илмий-техник схемалари ва параметрларини асослаш моделлари ва алгоритмлари ташкил қилади

**Тадқиқотнинг усуллари.** Ёзги даврда иссиқхоналардаги микроиқлим самарадорлигини оширишда намланувчи қатлам совутиш панелларининг, буғлатиб совутиш тизимларидаги ҳавони совутиш жараёнларининг иссиқлик-техник тавсифларини ҳисоблашнинг Ньютон-Рафсон итератив сонли усулларида фойдаланилган. Симуляция моделлари MATLAB дастурида (SIMULINK) тизимнинг энергетик характеристикаларини таҳлил қилиш учун ишлатилган. Таҷриба натижаларини статистик қайта ишлаш усулларида фойдаланган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

ҳавони буғлатиб совутиш тизимлари самарадорлигига таъсир этувчи аниқланган омиллар ҳисобга олган ҳолда энергия тежовчи техник ечимлари ишлаб чиқилган;

иссиқхоналарда микроиклим катталикларининг ҳавони буғлатиб совутиш тизими параметрларига боғлиқлигини ифодаловчи дифференциал-сонли усуллар асосида иссиқлик ва масса алмашилиш жараёнларининг математик модели ишлаб чиқилган;

иссиқхоналарда ҳавони буғлатиб совутиш тизимларининг самарадорлиги юқори бўлган вентиляцияон электр ускуналарининг энергетик параметрларини ҳисоблашнинг математик модели ишлаб чиқилган;

иссиқхоналарда экспериментал тадқиқот натижалар асосида ҳавони буғлатиб совутиш тизимининг рационал параметрлари аниқланди.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

ишлаб чиқилган математик модел ва уни ҳисоблаш усули иссиқхонанинг узунлиги бўйлаб ҳаво ҳароратини тақсимлаш имконини беради;

экспериментал тадқиқотлар натижада иссиқхонадаги ҳавони буғлатиб совутиш тизимида шамоллатиш мосламасининг тавсия қилинган техник ечимда вентиляторнинг солиштирма қуввати 0,52 дан 0,2 kW/(m<sup>3</sup>/s) га камайган;

ҳавони буғлатиб совутиш иссиқлик самарадорлиги қиймати 0,79 га тенглиги белгиланди. Натижада шу аснода ҳавони буғлатиб совутиш тизими иш жараёнида иссиқхонада атиргулларни етиштиришда оптимал бўлган ҳарорат (27 °С гача) ва нисбий намлик (тақрибан 70 %) қийматларига эришишга муяссар бўлинди.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Олинган натижалар сонли ҳисоблаш ушбу муаммонинг бошқа тадқиқотчилари маълумотлари билан таққослашга ҳамда ишлаб чиқаришга жорий этиш орқали асосланганлиги, шунингдек, замонавий моделлаштириш усулларида, ҳисоблаш техникаси ва ўлчов воситаларидан фойдаланилганлиги ҳамда ҳисобий ва тажрибавий натижаларнинг ўзаро мос келиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти республиканинг фермер хўжаликлари учун иссиқхоналардан фойдаланишдаги буғлатиб совутиш тизимларининг конструктив ва режим параметрлари аниқ ҳисоблаш билан белгиланади. Иссиқхоналардаги микроиклим самарадорлигини оширишда буғлатиб совутиш тизимларидан фойдаланиш учун ҳам самарали усул ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган усул ёз мавсумида иссиқхоналардаги совутиш тизимлари самарадорлигини ошириш ҳамда ёнилги сарфини камайтиришга имкон беради. Олинган натижаларнинг илмий аҳамияти иссиқхоналардаги микроиклим самарадорлигини оширишда буғлатиб совутиш тизимларини қўллаш схемаси яратилганлигидан иборат.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти республиканинг фермер хўжаликлари учун иссиқхоналардан фойдаланишдаги ҳавони буғлатиб совутиш тизимларининг самарадорлигини оширишда самарали усул ишлаб чиқилган. Жорий қилинган иссиқхонада тизими йилига 19 430,4 kW·h электр энергияси тежалиши аниқланди. “Sherobod sabzavot” МЧЖ фермер хўжалиги иссиқхонада буғлатиб совутиш тизимининг самарадорлиги тажриба натижалари асосида кўра аниқланди. Олинган натижалар иссиқхонада “намланувчи қатлам” мосламаси ички ҳаво ҳароратини табиий шамоллатишга қараганда 11,6 °С га камайиши белгиланди.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти “Намланувчи қатламлар”дан фойдаланган ҳолда ишлаб чиқилган бевосита ҳаво буғлатиб совуткичга эга бўлган тортувчи вентиляция тизимининг назарий тадқиқотлари ҳамда тажрибалари натижалари келтирилган. Ҳавонинг иссиқликни ютиш салоҳияти унинг ҳарорати ва

нисбий намлигига бевосита боғлиқлиги аниқланди. Ишлаб чиқилган ҳавони буғлатиб совутиш тизимининг жорий этилиши фотосинтезнинг зарур жадаллигини таъминлаш орқали одатдаги иссиқхонада ҳосилни 6 фоизга ошириши аниқланди.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши:** Иссиқхонада ҳавони буғлатиб совутиш тизимининг параметрлари ва иш режимларини асослаш учун олинган тадқиқот натижаларига кўра:

иссиқхонада микроклим самарадорлиги ошириш учун буғлатиб совутиш ўрнатишда олинган илмий натижалар асосида Шеробод тумани “Sherobod sabzavot” МЧЖ да жорий этилган (Сурхондарё вилояти қишлоқ хўжалиги бошқармасининг 2024 йил 09 апрелдаги №01-05/07-351 сонли маълумотномаси). Натижада бир йилда (“Ўзбекистон Республикаси қишлоқ хўжалиги” вазирлигининг 2024 йил 19 апрелдаги № 05/01-05/02-05/04-04-150-сонли маълумотномаси) 117956000 сўм иқтисодий самарадорликка эришилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари бўйича жами 6 та, жумладан 4 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг нашр этиш.** Диссертация мавзуси бўйича жами 13 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий журналларда 3 та, хорижий журналда 1 та, халқаро илмий-амалий анжуманларида 4 таси ва Scopus базасига кирувчи 2 та, республика конференцияларда 2 таси нашр этилган, дастурий маҳсулотига 1 та ЭХМ учун дастурга гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат бўлиб, ишнинг ҳажми 112 бет.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, мақсад ва вазифалар, тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, тадқиқотнинг республика фан-техникасини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мувофиқлиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари келтирилган, олинган натижаларнинг ишончилиги асослаб берилган, илмий тадқиқотнинг назарий ва амалий аҳамияти кўрсатилган. Тадқиқот натижаларини амалиётга татбиқ этиш, чоп этилган илмий ишлар ва диссертация тузилиши ҳақида маълумот берилган.

Диссертациянинг **“Иссиқхоналар микроклимини таъминлаш тизимларининг ҳолати ва муаммолари”** номли биринчи бобида Ўзбекистон Республикасида иссиқхонадаги хўжаликлар ривожланиши таҳлил қилинган. Очiq тупроққа нисбатан, муайян ҳароратга эга бўлиш, ҳарорат, намлик ва ёруғликни бошқариш имконияти ҳимояланган тупроқда экин етиштиришнинг муҳим ижобий ўзига хослигидир. Экин етиштириладиган биноларда оптимал шароитларни яратиш очiq тупроқдаги ҳосилдорликдан 5÷20 баробар кўпроқ ҳосилдорликка эришишни таъминлайди. Атиргулларни ўстириш технологиясининг асосий параметрлар:

*Ҳарорат:* Кундузи: ёзда иссиқхонани тез-тез вентиляция қилиш керак, бу ҳарорат 27 °С дан паст бўлмаслиги керак. Кечаси: +15 °С.

*Намлик:* Тахминан 60-70 %. Қўзиқорин инфекциясини олдини олиш учун унинг 75% дан ошмаслигига ишонч ҳосил қилинади.

*Ёритиш:* Кунига камида 12-14 соат ёруғлик. Ёзда қуёш ёрқин бўлади, лекин ҳаддан ташқари иссиқликни кузатиш ва сояни таъминлаш муҳимдир.

*Вентиляция:* Кунига 2-3 марта, ҳаво айланишини таъминлаш учун ёзда тез-тез ва узоқроқ вақт талаб қилинади.

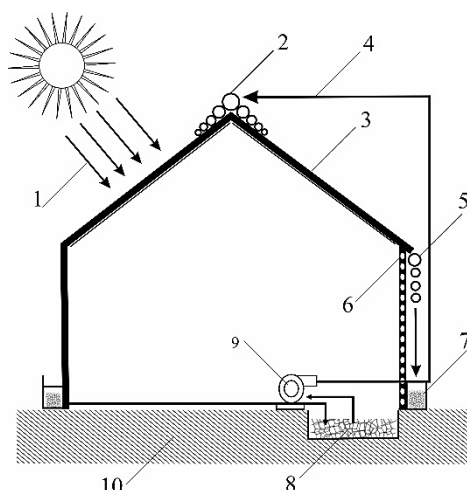
*Суғориш:* Ёзда, шароитга қараб, тахминан ҳар куни суғориш керак бўлади.

Бу бобда Ўзбекистон Республикасида энг кўп ўрнатилган қўриқладиган ер участкалари турлари - плёнкали ва сирланган иссиқхоналар кўриб чиқилади. Ўзбекистонда баҳор ва ёзда кун чиқиб турганда парниклар ва иссиқхоналарни шамоллатиш зарурий оптимумга қадар ҳаво ҳароратини совутишга имкон бермайди. Бундай ҳолатларда шамоллатишдан ташқари иссиқликни кетишга қарши курашнинг бошқа усулларидан фойдаланилади. Масалан, ортиқча иссиқликни бартараф этиш усули. Сув буғланганда иссиқлик ютилади ҳамда тупроқ, ўсимликлар ва ҳаво совийди. Натижада иссиқхонадаги ҳаво ҳарорати 5÷6 °С гача совийди. Сувладиган деворлар усули ва бинога ташқаридаги ҳаво тортиладиган туман яратувчи совутиш камераси усуллари плёнкали иссиқхоналардаги ўсимликлар қизиқ кетишини камайтиришнинг истиқболли усуллари дур. Бинони совуқ вақтда иситадиган, иссиқ кунларда эса совутадиган кондиционерлардан фойдаланиш иссиқ кетишга қарши курашда муайян қизиқиш уйғотмоқда. Ёзда энг юқори ҳарорат мунтазам 35 °С дан юқори бўладиган, иссиқхонанинг ичидаги ҳарорат эса узоқ давр 30 °С дан юқори бўладиган иқлимга эга худудларда тортувчи вентиляция тизимини ҳавони буғлатиб совутиш тизимлари билан биргалиқда қўллаш мақсадга мувофиқдир.

Ўстириладиган атиргуллар учун иссиқхоналардаги ёзда 27 °С гача бўлган ҳаво ҳарорати гулларни сифатли кесиб олишга имкон беради. Ёзда япроқлар ва гунчаларнинг ҳарорати одатда иссиқхоналардаги ҳаво ҳароратидан 2÷7 °С га юқорироқ бўлади.

Келтирган таҳлил буғлатиб совутиш усуллари қўлланилганда иссиқхонадаги ҳаво ҳарорати гарчи қуёш нури жуда қиздираётган бўлса-да, ташқаридаги ҳаво ҳароратидан 8÷12 °С га пастроқ бўлишини кўрсатган. Бўш иссиқхонада намланувчи қатламлар тизими сунъий шамоллатишга қараганда ҳавони 11,6 °С га совутиши, туман тизими эса ҳароратни 10,4 °С га қадар совутиши аниқланган.

Иссиқ худудда намланувчи қатлам-вентиляторли тизимга эга бўлган тижорат иссиқхонаси унумдорлиги тадқиқ қилинган. Совутишнинг талаб қилинадиган миқдори намланувчи қатлам орқали ўтадиган ҳаво оқими тезлигига (яъни бир соатдаги ҳаво алмашувига (АСН) боғлиқ бўлиши аниқланган. Иссиқ ва қуруқ шароитларда мақбул микроиқлимни таъминлаш учун 20 АСН етарли эканлиги белгиланган. Худди ўша ернинг ўзида буғлатиб совутиш тизими учун зарур бўлган сув миқдори ҳам аниқланган. Буғлатиб совутиш тизимига эга бўлган фермаларнинг турли структуралари учун сув буғланиши ва ҳаво сарфи ҳисоблаб чиқилган.

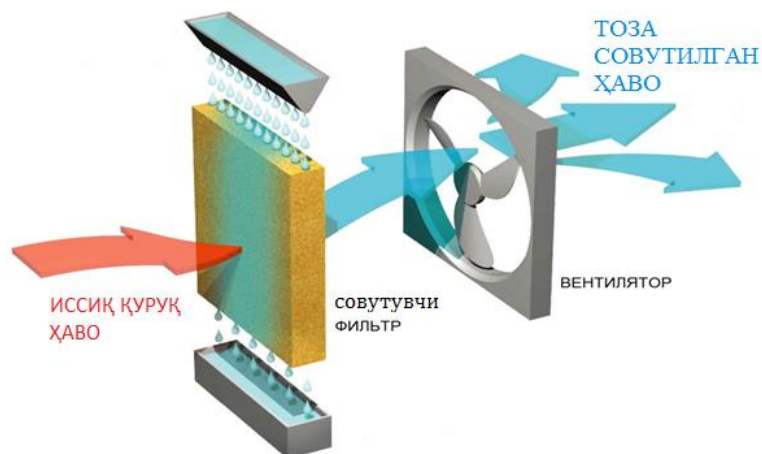


1-күёш нурунинг тушиши; 2-тақсимловчи сув қувири; 3-соя туширувчи мослама (жут); 4-сув айланадиган контур; 5-ортиқча сув оқими; 6-шимолий девор (ғишт); 7-тупроқнинг ўйик жойи; 8-сув йиғиладиган идиш; 9-насос; 10-тупроқ

**1-расм. Томида намланган мато бўлган иссиқхонанинг принципиал чизмаси**

1-расмда кўрсатилган модел иссиқ, қуруқ иқлимда жойлашган кўп оралиқли шамоллатиладиган иссиқхона ёрдамида синовдан ўтказилди. Совутиш самарадорлиги ошиши билан сувнинг буғланиш тезлиги ва ҳаво оқими тезлиги пасайганлиги кузатилди.

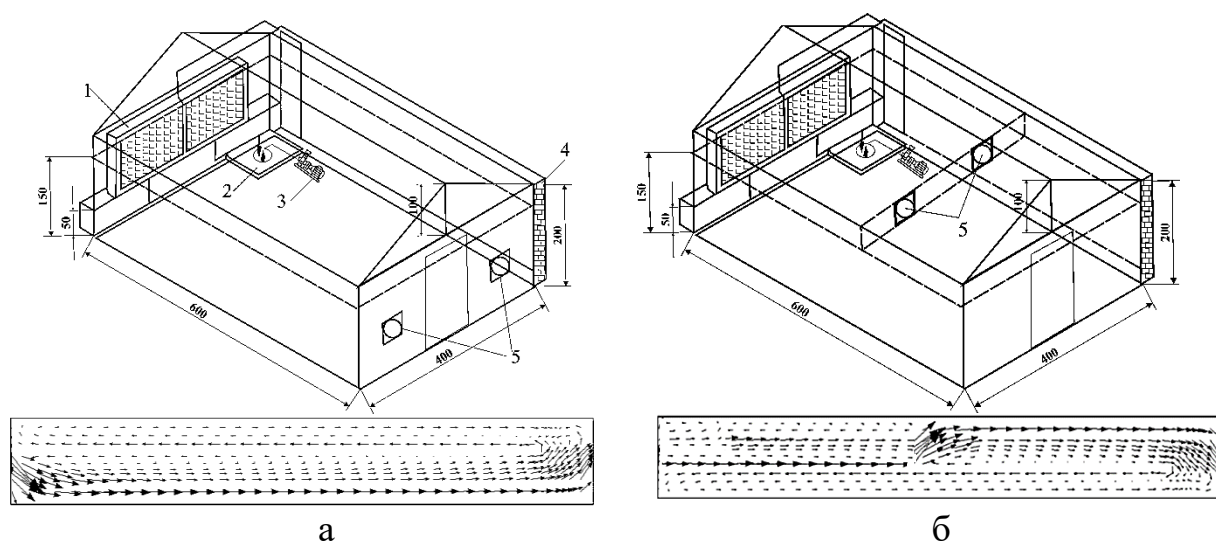
**“Иссиқхоналарда буғлатиб совутиш тизимини такомиллаштириш”** номли диссертациянинг иккинчи бобда ҳавони буғлатиб совутиш тизимларида қўлланилиши таҳлил қилинган. Иссиқхонадаги ҳаво тезлиги  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  дан кам бўлмаганида ўлчанган ва моделлаштирилган натижаларнинг фарқи  $0,9 \text{ }^\circ\text{C}$  дан  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  гача бўлганлиги кузатилди. Шунингдек, ўсимликларни оптимал совутиш самарасига эга бўлиш учун намланувчи қатлам ёки шамолпаррак қандай жойлаштириш кераклиги ҳам аниқланди. Унинг асосий чизмаси 2-расмда келтирилган. Қуруқ, қурғоқчил иқлимда буғлатиб совутиш ўрнатиш ва улардан фойдаланиш учун зарур бўлган воситаларга эҳтиёж мумтоз ҳавони конденсатлашни ўрнатишдан кўра 80 %га камроқдир.



**2-расм. Кассеталарга эга бўлган “намланувчи қатламлар” асосидаги буғлатиб совутиш тизими.**

Шарқий томонда ҳар бири диаметри 0,75 m, нулли статик босимда номинал ишлаб чиқарувчанлиги  $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  бўлган икки тортувчи электр вентиляторлар ўрнатилган эди. Ҳаво алмашувининг номинал тезлиги 27 дан 39  $\text{h}^{-1}$  га қадар ўзгариб турган. Тажриба экин 2 ёшга тўлиб тўла маҳсулдорликка эришган июл ойида амалга оширилди. Япроқ майдони индекси (LAI) ҳосил кунда йиғилгани ва ўсиб боргани сабабли ернинг 85 % ни қоплаган ҳолда ўртача 2,65 ни ташкил этган.

Шамоллатиш самарадорлигини солиштириш учун иккита ҳаво этказиб бериш варианты танланди: иссиқхонанинг баландлиги ва узунлиги бўйича (3-расм). Ташқаридан ҳаво тортиш вентилятордан фойдаланган ҳолда стандарт намланувчи қатламлар орқали этказиб берилади.



а-вентилятор нам қатламнинг рўпарасида (иссиқхона ён томонида) жойлашган б-I ва II зоналар чегарасида иссиқхонанинг ўртасида жойлашган вентиляторлар; 1-намланувчи қатлам; 2-сув идиши; 3-насос; 4-шимолий девор; 5-вентиляторлар

**3-расм. Иссиқхонада “намланувчи қатламлари” буғлатиб совутиш тизими асосида ҳаво оқимларини тақсимлаш**

Иссиқхона участкаларидаги тезлик гидродинамик бошланғич бўлимни ҳисобга олган ҳолда ламинар оқим режими формуласи билан аниқланди:

$$V(x, y) = V_{\text{кир}} \cdot \left[ 1,5 - \frac{1,5y^2}{h^2} - 2 \left( \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left( 1 - \frac{\cos\left(\frac{g_n \cdot y}{h}\right)}{\cos(g_n)} \right) \cdot e\left(-4 \frac{g_n^2 \cdot v \cdot x}{v_{\text{вх}} h^2}\right)}{g_n^2} \right) \right] \quad (1)$$

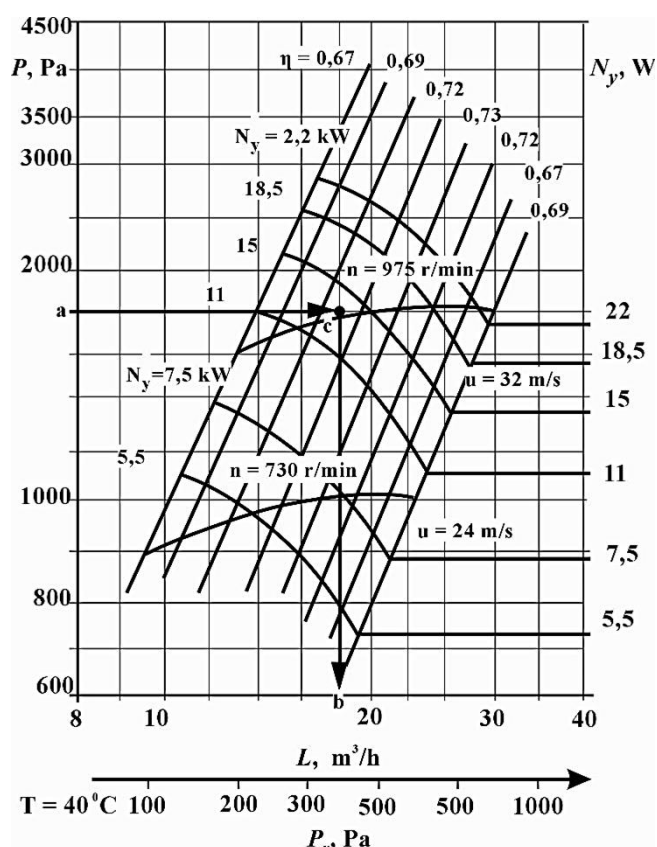
бунда  $g_n$  – тенгламанинг мусбат илдизи  $\text{tg}x = x$ ,  $v$  - ҳавонинг кинематик ёпишқоқлиги,  $\text{m}^2/\text{s}$ ,  $h$  - иссиқхонадаги участкани кесимининг ярми,  $\text{m}$ ,  $V_{\text{кир}}$ - кириш ҳаво оқими тезлиги,  $\text{m}/\text{с}$ .

I-чи вариант бўйича вентиляторлар намланувчи қатламларидан қарама-қарши томонида жойлашганида, ташқаридан тортадиган ҳавонинг горизонтал оқимларининг тақсимланиши 3, а-расмда кўрсатилган. Ушбу вариантда ҳавонинг оқимлари катта масофага тақсимланади. Шундай қилиб, намланувчи қатламдан 30 m масофада оқим тезлиги 0,5  $\text{m}/\text{s}$  ни ташкил қилади. Намланувчи

қатламдан иссиқхонага чиқишда тезлик 5,5 m/s бўлади. Хонанинг қолган қисмида ҳаво ҳаракатчанлиги паст, 0,3 m/s га тенг.

Қачон II вариант бўйича иссиқхонанинг ўртасида намланувчи қатламдан 30 m масофада вентиляторларни жойлаштиришганда (3,б-расм) I ва II зоналар чегарасида, оқим тезлиги 3,7 m/s қийматига тенг бўлади. Намланувчи қатламдан иссиқхонага чиқишда тезлик 8,5 m/s тенг. Ичкарида ҳаво ҳаракатчанлиги 0,45 m/s даражасига кўтарилади.

Бу иссиқхона ичидаги буғлатиб совутиш жараёнларини жадаллаштиришга имкон беради. Шу тарзда, камроқ қуввати вентилятор ўрнатиб электр энергия сарфини камайтириш мумкин.



**4-rasm. T30NC серияли вентиляторларнинг хусусиятлари**

Тегишли моделни танлаш учун максимал ишлаши ҳисобланган қийматдан бир оз юқори бўлган муҳлисларни танлашингиз керак. Шундан сўнг, 4-расмда кўрсатилган шамоллатиш характеристикаси маълум бир тармоқ қаршилигида тизимнинг ишлашини аниқлайди.

Ҳавони совутиш учун кунига ўзига хос энергия сарфи қўйдаги формуладан ҳисобланади:

$$S_{kun} = \Delta T \cdot L \cdot c, \text{ kJ} \quad (2)$$

бунда  $S_{kun}$  - кунлик электр энергияси истеъмоли, kJ/h;  $\Delta T$  - иссиқхонадаги ҳароратнинг ташқи ҳаво ҳароратига нисбатан кунлик ўртача пасайиши, 7 °C;  $L$  - ҳаво алмашинув сони, соатига 25;  $c$  - ҳавонинг солиштирма иссиқлик сифими,  $c = 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ .

Иссиқхона учун вентиляторнинг ишлаб чиқарувчанлиги куйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$Q = V_{is.x.} \times S_{кун}, \text{ kJ} \cdot \text{m}^3/\text{кун} \quad (3)$$

Иссиқхонанинг ҳажми ҳавони буғлатиб совутиш тизимига тўғри келадиган вентиляторни танланади. Иссиқхонанинг ўлчамлари: узунлиги 6400 sm, эни 1600 sm, баландлиги 200 sm.

$$(6,4 \times 1,6 \times 0,2) \times 176 = 360 \text{ m}^3/\text{h}$$

Истеъмол қилинадиган электр энергияси миқдори  $N_{\Sigma}$ , kW·h, белгиланади

$$N_{\Sigma} = \tau_{кун.сони} \cdot \tau_{кун.соат} \cdot \frac{P \cdot L}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta'} \quad (4)$$

Якка тартибдаги  $SFP_E$  вентиляторнинг солиштирма қуввати [W] маҳаллий шароитида ҳаво оқимиغا нисбати [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]:

$$SFP_E = \frac{N_{эл}}{L}, \quad (5)$$

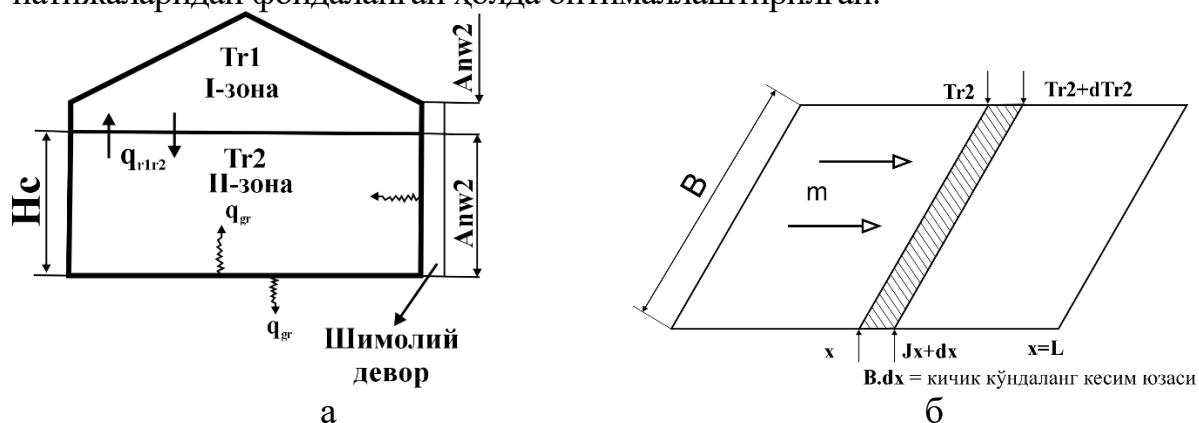
бунда  $SFP_E$  - вентиляторнинг солиштирма қуввати, W/( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $N_{эл}$  - таъминот фанининг истеъмол қилинган электр қуввати, W;  $L$  - ҳаво оқими,  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Вентиляторнинг  $SFP_E$  солиштирма қуввати W/( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ёки kW/( $\text{m}^3/\text{s}$ ) да ифодаланган параметр бўлиб, иссиқхонадаги барча тортиш вентиляторнинг энергия самарадорлигини кўрсатади. Бошқача қилиб айтганда, индикатор ичкарида шамоллатиш тизимида 1  $\text{m}^3/\text{s}$  ҳаракат қилиш учун зарур бўлган максимал электр қувватига мос келади. 1-жадвалда 2-вариантнинг энергия юқори самарадорлигини кўрсатадиган ҳисоблаш натижалари берилган.

1- Жадвал

| Тизим     | Ўрта ҳавони тортиш, $\text{m}^3/\text{s}$ | Вентилятор қуввати, kW | $SFP_E$ , kW/( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
|-----------|---|------------------------|--|
| Вариант 1 | 2.88                                      | 1.5                    | 0,52                                   |
| Вариант 2 | 3.48                                      | 1.1                    | 0.2                                    |

“Иссиқхона хўжалигида ҳаво буғлатиб совутиш тизимларини моделлаштириш” номли диссертациянинг учинчи бобида совутиш параметрлари квазистационар ҳолатда ишлаб чиқилган математик модел натижаларидан фойдаланган ҳолда оптималлаштирилган.



а-иссиқхонанинг I-зона ва II- зонасини ҳамда турли иссиқлик узатишларни кўрсатувчи кўндаланг кесими; б-иссиқхона узунлиги бўйича  $dx$  математик қадами

5-расм. Иссиқхонанинг ғарбий девордан кўриниши

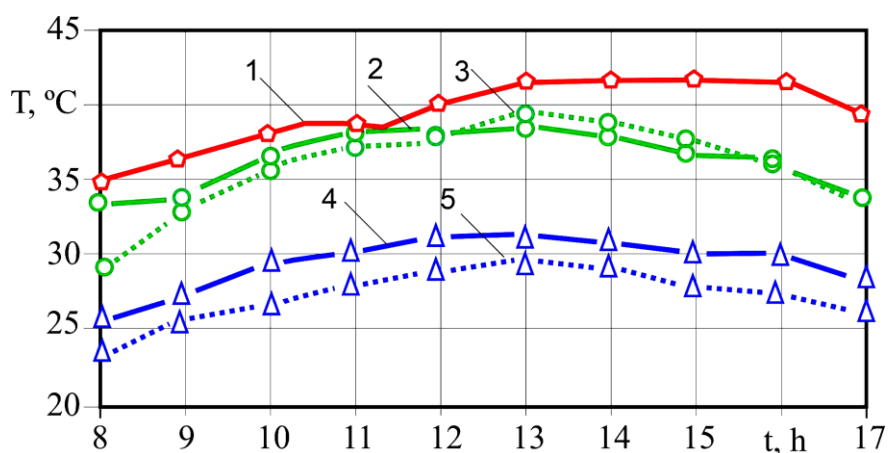
Унда фойдали майдонга эга бўлган тенг оралиқли иссиқхона модели (5-расм) кўриб чиқилган.

Ҳарорат профилини башорат қилиш ва совутиш параметрларини оптималлаштириш учун MatLab программа асосидаги компьютер дастури тайёрланган эди.

$TLL$  – бу иссиқхона ичидаги ҳарорат тебраниши мезонидир. I-зонадаги ҳароратнинг ( $T_{r1}$ ) тебраниши II-зонадаги совутиладиган ҳароратда ( $T_{r2}$ ) муайян рол ўйнайди. Бинобарин, иссиқхона учун  $TLL$  ни қуйидагича белгилаш мумкин:

$$TLL = \frac{T_{r2}^{max} - T_{r2}^{min}}{T_{r1}^{max} - T_{r1}^{min}} \quad (6)$$

Ҳароратларнинг бундай фарқланишида ёзда совутилиш ҳисобига ўсимликлар ўсиши учун маҳраж энг кичик бўлиши ва бинобарин,  $TLL$  ёзги шароитлар учун энг катта ва қишки шароитлар учун энг кичик бўлиши лозим. Шу боис  $TLL$  совутиш параметрларини оптималлаштириш учун энг муҳим кўрсаткичдир.

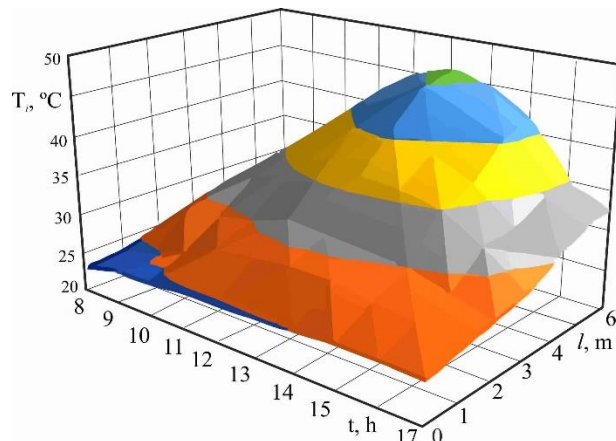


1-ташқи ҳаво ҳарорати; 2-I зонадаги ҳисобланган ўртача ҳарорат;  
3- I зонадаги тажрибали ўртача ҳарорат; 4-II зонадаги ҳисобланган ўртача ҳарорат; 5-II зонадаги тажрибали ўртача ҳарорат

**6-расм. Намлантирувчи қатламнинг баландлиги 1,75 m ҳамда сувнинг ялли сарфи 0,6 l/s бўлганда, ташқи ҳарорат ва совитилган иссиқхона ҳароратнинг соатлик ўзгариб бориши.**

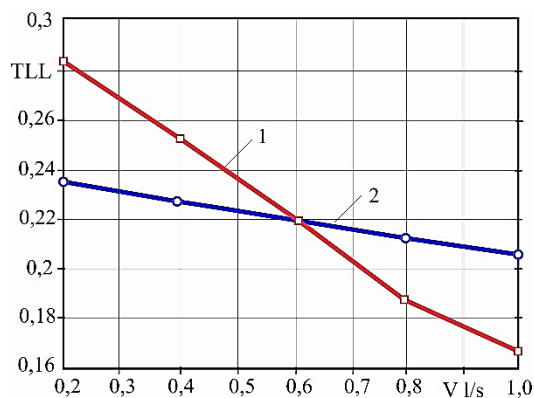
Ҳар соатлик  $\bar{T}_{r2}$  ва  $\bar{T}_{r1}$  нинг экспериментал ва ҳисобланган қийматлари 6-расмда (2023 йилнинг 27 июли) тақдим этилган. Олдиндан айтилган ҳароратлар  $\bar{T}_{r2}$  ва  $\bar{T}_{r1}$  экспериментал кузатувларга яхши мос келмоқда. Шундай қилиб, ишлаб чиқилган математик модель ёрдамида берилган иссиқхона геометрияси учун I ва II-зонадаги ўртача ҳароратни башорат қилиш мумкин.

Ушбу расмларда буғлатиб совутиш туфайли атроф муҳит шароитларига таққослаганда ҳароратнинг пасайиши ҳам кўрсатилган. II-зонадаги ўртача ҳарорат атрофдаги ҳароратдан 4-5 °C га пастрок.



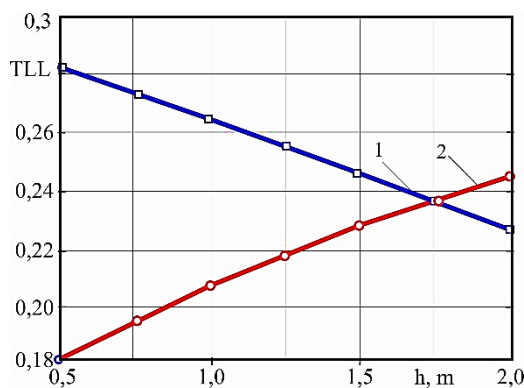
Сана – 27/07/2023, Нам қатлам баландлиги – 1,75 m, Сувнинг ялпи сарфи – 0,6 l/s  
**7-расм. II – зона узунлиги бўйлаб ҳарорат профиллари**

Кунларидаги иссиқхона узунлиги бўйича II – зонадаги ҳарорат профиллари ( $T_{r2}$ ) 7-расмда келтирилган. Бу рақамлар иссиқхона ичидаги ҳароратнинг ўхшаш феъл-атворини намоён этмоқда. Иссиқхона узунлиги ортиши билан ҳарорат ортиб боради. Бу иссиқхона қизиши даврида асосан қуёш энергияси тушиши сабабли юз беради.



1-I зонадаги термал юкни даражаси TLL; 2-II зонадаги термал юкни даражаси TLL

**8-расм. Намланувчи қатламдан ўтказилган сувнинг ялпи сарфини ҳарорат фарқи TLLга таъсири**



1- I зонадаги термал юкни даражаси TLL; 2- II зонадаги термал юкни даражаси TLL

**9-расм. Буглатиб совутиш тизимининг намланувчи қатлам баландлигини ҳарорат фарқи TLLга таъсири**

I ва II-зоналардаги  $TLL$  га ялпи сарфнинг график тасвири, 8-расмда кўрсатилганидек, иссиқхонанинг берилган узунлиги ва совутувчи панелнинг берилган баландлигида ёз даврида I ва II-зоналардаги максимал  $TLL$  учун 0,6 л/с оптимал ялпи сарфни таъминлайди.

Совутувчи мослама баландлиги ортиши билан  $TLL$  I-зонада кичраяди. Аксинча, у 9-расмда кўрсатилганидек II-зонада катталашиб боради. Совутувчи намланувчи қатламнинг тақрибан 1,75 метр баландлиги иккала зонада ҳам  $TLL$  учун оптималдир.

Совутиш параметрларини оптималлаштириш, масалан,  $L$ ,  $H_c$  ва  $\dot{m}_a$  учун, бир параметр ўзгарган, бошқалари эса доимий қолган, масалан, 0 дан 18 м гача ораликдаги узунликни ( $L$ ) оптималлаштириш учун совутувчи намланувчи қатлам баландлиги ( $H_c$ ) ва ялпи сарф мос тарзда 1,75 м ва 0,6 л/с даражасида доимий қолган. Шунга ўхшаш тарзда совутувчи намланувчи қатлам баландлигини ( $H_c$ ) 0,5 дан 2 м гача масофада оптималлаштириш учун  $L$  ва  $\dot{m}_a$  мос тарзда 6 м ва 0,5 л/с доимий қолган, 0,5 дан 1,0 л/с, гача ораликдаги  $L$  ва  $H_c$  доимий бўлган ва мос тарзда 6 ва 1,5 м ни ташкил этган.

Оддий вентиляторнинг чизиқли модели куйидаги механик ва электрик тенгламалардан иборат

$$U_a = E + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (7)$$

$$M_e = M_L + B_m \cdot \omega_m + J \frac{d\omega_m}{dt} \quad (8)$$

$$P_{fan} = N^2 \cdot D^2 \cdot \nu \quad (9)$$

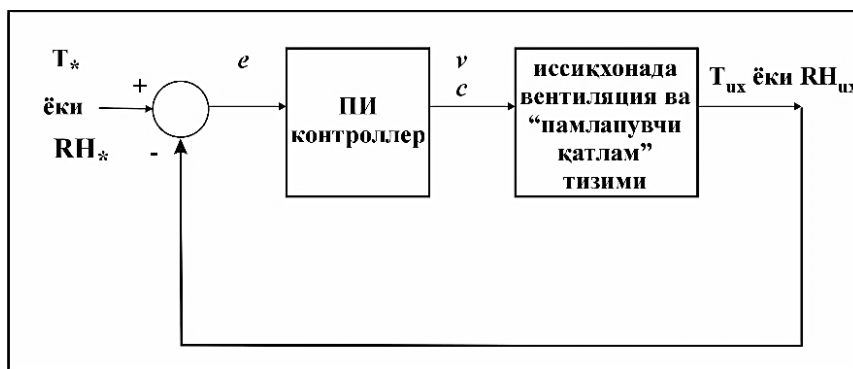
бунда  $N$ -вентиляторнинг чизиқли тезлиги,  $D$ -вентилятор диаметри,  $\nu$ -ҳавонинг нисбий вазни (11,82 N/m<sup>2</sup>),  $R_a$ - якорь қаршилиги ( $\Omega$ ),  $L_a$  - якорь индуктивлиги (H),  $U_a$ -клеммалардаги кучланиш (V),  $J$ -инерция моменти (kg·m<sup>2</sup>),  $B_m$  - механик тизимнинг демпфирланиш коэффициенти (N·m·s).  $I_a$  - якорь токи (A),  $M_L$  - юкланиш моменти (N·m),  $M_e$  - электромагнит момент,  $\omega_m$  - вентиляторнинг айланиш тезлиги (айла/дақ).

Буғлатиб совутиш тизимининг самарадорлиги  $\eta_c$  куйидаги формула билан белгиланади:

$$\eta_c = \frac{T_{db,0} - T}{T_{db,0} - T_{wb,0}} \quad (10)$$

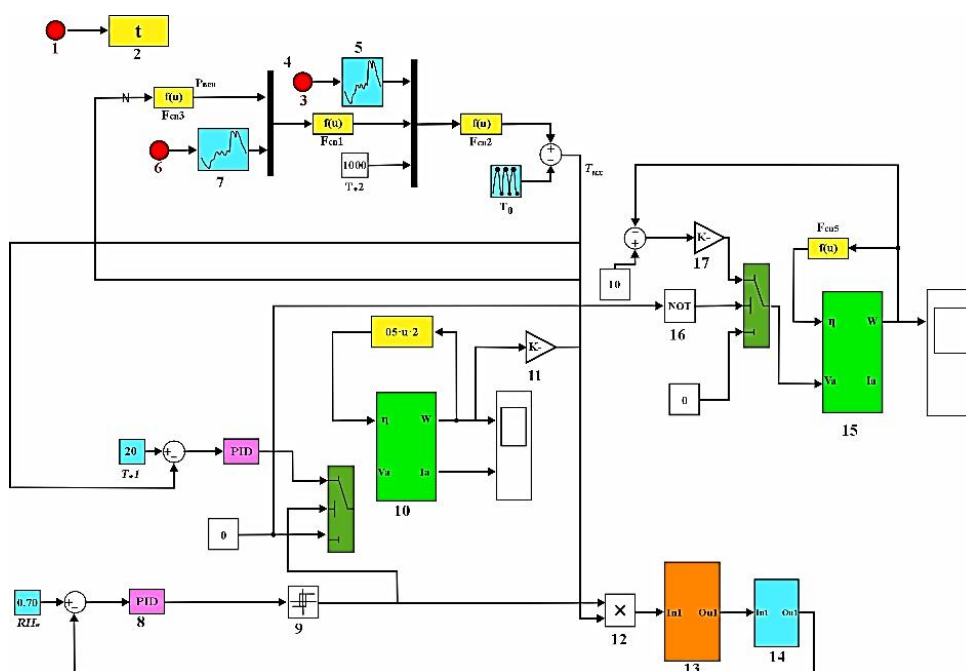
бунда  $T_{db,0}$  ва  $T_{wb,0}$  - қуруқ ва нам термометрлар бўйича иссиқхона ташқарисидаги ҳарорат °C да,  $T$  эса — қуруқ термометр бўйича намланувчи қатламдан ўтаётган совутилган ҳавонинг ҳарорати °C да.

Вентиляторга эга бўлган совутишнинг буғлатувчи тизими оператор иссиқхонадаги микроклимни бошқара олиши, танланган қишлоқ хўжалик экинини етиштириш учун энг яхши шароитларни ва ишчиларга қулай шароитни таъминлаш учун тегишли контроллерга эга бўлиши лозим.



10-расм. ПИ-регулятордан фойдаланган ҳолда

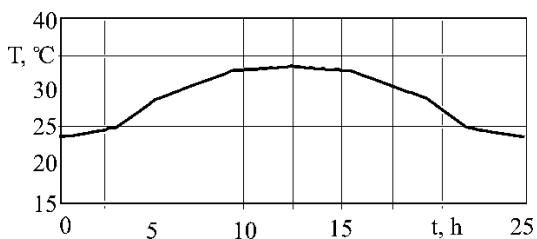
Икки оддий регулятор (ПИ-регуляторлар) ҳар қандай вақтда иссиқхона ичидаги оптимал ҳарорат ва нисбий намликни ( $T_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$  ва  $H_{ref} = 0.0$ ) сақлаб туриш ҳамда ташқаридаги номақбул иқлим шароитларнинг юклама таъсирини бартараф этиш учун қўлланилади. Бошқарув стратегиясини тасвирловчи блок-схема 10-расмда, иссиқхонани соvuтишнинг MATLAB SIMULINK блок-схема 11-расмда келтирилган.



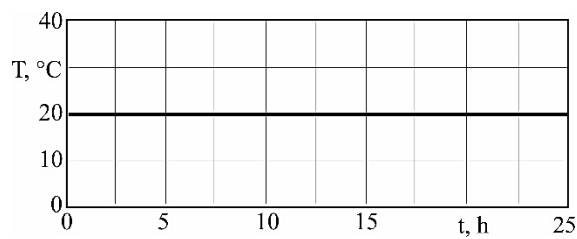
1-иккинчи соат; 2-иккинчи иш жойи; 3-соат; 4-ҳаво ҳажмининг оқим тезлиги; 5-қувват эгри чизиғи; 6-1-соат; 7-биринчи қувват эгри чизиғи; 8-RH контроллер (ростлагич); 9-реле; 10-вентиляторнинг электр юритмаси - ўзгармас ток мотори; 11-биринчи кучайтиргич; 12-атир гуллар; 13-намланувчи қатлам тизими; 14-нисбий намлик; 15-вентиляция ва намланувчи қатлам

11-расм. Иссиқхонани соvuтиш тизими MATLAB SIMULINK иссиқхонани бошқаришнинг блок-схемаси.

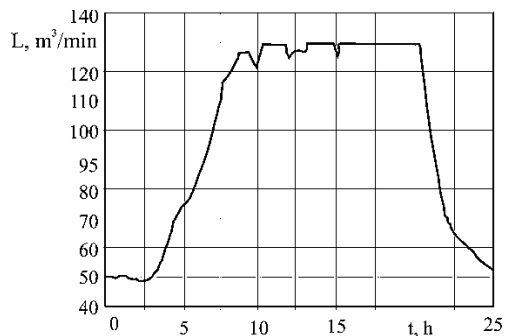
12–15-расмларнинг натижавий графиклари иссиқхона ҳавоси учун буғлатиб соvuтиш тизимларининг бошқарув вақти ва кузатишдаги сифатли ишлаб чиқарувчанлиги кўрсатилган.



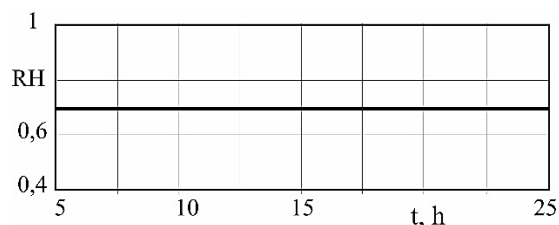
12-расм. Атроф муҳит ҳарорати



13-расм. Бошқарув техникасига эга бўлган иссиқхона биносидаги ҳарорат



14-расм. Вентилятор ҳаво сарфи



15-расм. ПИ-регуляторга эга иссиқхонадаги нисбий намлик

Совутиш тизими иккита контроллерга эга бўлиб, улар иссиқхонада белгиланган ички ҳарорат ва нисбий намликни сақлаб туради. Атиргул етиштириш учун иссиқхона хонасидаги ҳарорат ва нисбий намлик параметрларини оптимал даражада ушлаб туриш учун ПИ-ростлаш усули таклиф этилди.

Иссиқхона ичидаги мавжуд ҳарорат ( $T_{in}$ ) тизимли контроллерга киритилган хато сигнални аниқлаш учун компаратор орқали ҳароратнинг эталон қиймати ( $T_{ref} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) билан таққосланади. Мазкур ҳолатда контроллер иссиқхона шамолпаррагининг бошқарувчи сигнали ва намланувчи қатламлар тизими  $вс$  га мос келувчи бошқарув ишорасини яратиш йўли билан тизим реакциясини яхшилаш учун  $e$  хатонинг кириш сигналидан фойдаланади. Бундан ташқари, иккинчи компаратор ПИ-регулятор учун хато сигнални олишга эталон нисбий намликни ( $R_H = 0,7$ ) амалдаги нисбий намлик билан таққослаш учун қўлланилади.

Атиргул экинларини етиштириш учун иссиқхона биносидаги ҳарорат ва нисбий намликни қайд этиш мақсадида ПИ-йўлга солиш услубияти таклиф этилган. Таклиф этилган контроллер аниқ созланган ва бошқарувчи органлардан яхши жавоб олишга эришиш учун фойдаланилади. Ҳарорат ва нисбий намлик регуляторларининг нозик созлаш параметрлари мос тарзда  $K_p = 10$ ,  $K = 0.0001$ , ва  $K_p = 0.1$ ,  $K = 0.2$  ни ташкил этади.

Иссиқхонанинг 24 соат давомидаги ташқи ҳаво ҳарорати 12-расмда кўрсатилган. Айти вақтда 13-расмда иссиқхона ичидаги ҳарорат муносабати кўрсатилган. Иссиқхона ичидаги ҳарорат эталон ҳароратга жуда яхши мос келиши кузатилган. Бошқа томондан вентилятор ҳаво сарфи 14-расмда келтирилган. Бу расмдан, вентилятор ҳавосининг максимал сарфи атроф муҳитнинг максимал ҳароратига мос келувчи туш вақтига яқин келиши ҳам кўриниб туради, ҳавонинг минимал сарфи эса атроф муҳитнинг минимал ҳароратига мос келувчи тун ярмига тўғри келади.

Бундан ташқари, назорат қилинаётган нисбий намлик 15-расмда кўрсатилган, бу жуда яхши тавсифларни бермоқда, чунки бир оз қайта созлаш, тез вақт ва кузатишнинг яхши унумдорлиги мавжуд.

**“Иссиқхона буғлатиб совутиш тизимида экспериментал тадқиқотлар ва иқтисодий самарадорлик ҳисоби”** номли тўртинчи бобда ягона тизим сифатида автоном экспериментал тадқиқот натижалари келтирилган эди. Кузатувлар 2023 йилнинг июль ойида бўлган даврда олиб борилган. Ушбу бобда тажрибада текшириб кўриш учун маълумотлар атиргуллар ўтказилган кўп оралиқли иссиқхона оралиғидан жамланган эди.

16-расмда “Sherobod sabzavot” гулчилик хўжалиги МЧЖ иссиқхонасидаги буғлатиб совутиш қурилмаси элементлари кўрсатилган.



а



б

### 16-расм “Sherobod sabzavot” гулчилик хўжалиги МЧЖ иссиқхонасидаги буғлатиб совутиш қурилмаси

Совутилган ҳавонинг ҳарорати  $t'_w$  дан  $t''_{wa}$  гача пасаганда нисбий намлигининг ортиб боришини аниқлаш керак.

Совутилган ҳавонинг нисбий намлигининг ўзгаришини аниқлаш учун унинг икки ҳолати учун иборалари ёзилади

$$d'_{wa} = 0,622 \left[ \frac{P\delta}{\frac{745 \cdot t'_{wa}}{\varphi'_{wa} \cdot 4,579 \cdot 10^{235+t'_{wa}}}} - 1 \right]^{-1} \quad (11)$$

$$d''_{wa} = 0,622 \left[ \frac{P\delta}{\frac{745 \cdot t''_{wa}}{\varphi''_{wa} \cdot 4,579 \cdot 10^{235+t''_{wa}}}} - 1 \right]^{-1} \quad (12)$$

17-расмда буғлатиб совутиш тизимида эга иссиқхонада буғлатиш ва конденсациялаш жараёнларида ҳарорат ва намликни ўлчаш натижалари кўрсатилган. Иссиқхонанинг узунлиги 64 m, кенглиги 16 m, баландлиги 4,8 m. Delta-T Temp/RH датчиклари иссиқхона ичида ҳаво ҳарорати ва намлигини кузатиш учун ишлатилган.

Қуруқ ҳаво буғлатиб совутиш тизимида ҳавони совутиш жараёни доимий намлик режимида содир бўлганлиги сабабли, тахминан белгилаш мумкин

$$d'_{wa} = d''_{wa} \quad (13)$$

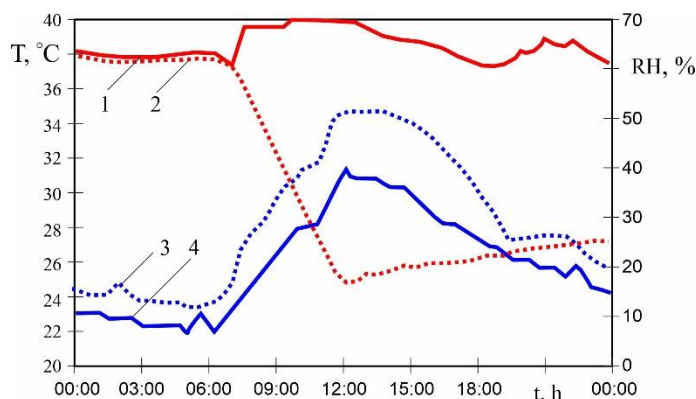
$d'_w$  қийматларини дан иборага киритилганда

$$RH''_{wa} = RH'_{wa} 10^{7,45 \frac{t'_{wa}(235+t''_{wa}) - t''_{wa}(235+t'_{wa})}{(235+t'_{wa})(235+t''_{wa})}} \quad (14)$$

Масалан, совутилган ҳавони  $t'_{wa} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$  қийматидан,  $t''_{wa} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  гача совутганда,  $RH_w$  нинг (14) га кўра ўсиши 0,30 дан

$$RH''_{wa} = 0,3 \cdot 10^{7,45 \frac{28(235+20) - (235+28)}{(235+28)(235+20)}} = 0,485 \text{ гача бўлади}$$

Буғлатиб совутиш тизимларида энергияни тежаш нуқтаи назаридан берилган  $t_o$  ва  $RH_o$  қийматларида шудринг нуқтаси қийматини аниқлаш муҳим аҳамиятга эга бўлади.



1-Т - буғлатиб совутиш қатламларини намлантирмаганда; 2-Т - буғлатиб совутиш қатламларини намлантирганда; 3-РН - Буғлатиб совутиш қатламларини намлантирганда; 4-РН - Буғлатиб совутиш қатламларини намлантирмасдан

### 17-расм. Иссиқхонада ҳарорат ва намликнинг ўзгаришга буғлатиб совутиш тизимини таъсири

Олдинги мисолга ўхшаб, нам ҳавонинг тўйинмаган ( $t_o, RH_o$ ) ва тўйинган ( $t_h$  ва  $RH=1$ ) ҳолатлари учун, яъни ифодалари ёзилади

$$d_o = 0,622 \left[ \frac{P_\delta}{\varphi_o \cdot 4,579 \cdot 10^{\frac{7,45 t_o}{235+t_o}}} - 1 \right] \quad (15)$$

$$d_h = 0,622 \left[ \frac{P_\delta}{1 \cdot 4,579 \cdot 10^{\frac{7,45 t_h}{235+t_h}}} - 1 \right] \quad (16)$$

Совутиш жараёнида нам ҳавони тўлиқ тўйингангача ( $RH_{wa} = 1$ ) содир бўлганлиги сабабли  $d = const$  режимида  $t_{dew}$  тенглиги муносабат билан (13), (15) ва (16) га асосланиб, ёзиш мумкин

$$\varphi_o \cdot 10^{\frac{7,45 t_o}{235+t_o}} = 10^{\frac{7,45 t_p}{235+t_p}} \quad (17)$$

8 дан  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  гача бўлган  $t_h$  ўзгаришлар оралиғида  $\frac{7,45 t_o}{235+t_o} = f(t_h)$  тўғри чизикда боғлиқлигини яқинлаштириб, ҳосил қилинади.

$$\frac{7,45 t_{dew}}{235+t_{dew}} = 1,70 + 0,17 (t_{dew} - 18) \quad (18)$$

$t_{dew}$  ни аниқлашда максимал нисбий хатолик 3,8 % ни ташкил қилади.

(18) иборани (17) га киргизганда

$$RH_o \frac{7,45 t_o}{235+t_o} = 1,70 + 0,17 (t_{dew} - 8) \text{ ёки} \quad (19)$$

$$t_{dew} = 5,88 RH_o 10^{\frac{7,45 t_o}{235+t_o}} - 2, \text{ }^\circ\text{C}$$

$t_o=30\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $RH_o=0,3\text{ }^\circ\text{C}$  қийматлари учун  $t_h$ , аниқланган қиймат  $18,1\text{ }^\circ\text{C}$  тенг, (19) билан аниқланган  $t_{dew}$   $10,3\text{ }^\circ\text{C}$  тенг бўляпти.

Шу тарзда олинган маълумотларни аниқ ҳисоб-китоблар маълумотлари билан таққослаш натижалари кўрсатадики,  $t_{dew}$  ни тахминий формула (19) ёрдамида аниқлашда нисбий хатолик 4 % дан ошмайди.

## ХУЛОСА

1. Тадқиқотлар натижаси иссиқхоналарда буғлатиб совутиш тизимлардан фойдаланишнинг афзалликларини ҳисобга олган ҳолда иссиқхонада буғлатувчи турдаги совутгичлардан фойдаланиш оддий кондиционерларга қараганда тақрибан 10 баробар тежашга ҳамда ёзги вақтда иссиқхона ичидаги ҳароратни  $10\div 15\text{ }^\circ\text{C}$  га камайтиришга эришилди.

2. Иссиқхонада ҳавони буғлатиб совутиш тизимини қурилмаси учун мавжуд схемага таркибий ўзгартиришлар киритиш ишлаб чиқилган, натижада вентиляторлар иссиқхонанинг охиридан ўрта қисмига ўтказилади ҳамда I ва II-зоналар чегарасидани тепароқда ўрнатилади. Натижада иссиқхона томи остидаги юқори қисмида жойлашган кўпроқ иситиладиган I-зонанинг ўсимликларнинг тўғридан-тўғри экиш II-зонасининг ҳароратига таъсирини камайтиради.

3. Ишлаб чиқилган усуллар асосида иссиқхонанинг берилган ҳажмлари ва шакли ҳамда иқлим шароитлари учун совутиш тизимининг ҳисобланган оптимал параметрлари белгиланди. Натижада иссиқхона узунлиги 6 m, ялпи сарф  $0,6\text{ l/s}$  ва (совутовчи намланувчи қатлам баландлиги  $1,75\text{ m}$ ).

4. Тадқиқотлар натижада иссиқхонадаги ҳавони буғлатиб совутиш тизимида шамоллатиш мосламасининг тавсия қилинган техник ечим асосида вентиляторга солиштирма етказиб бериладиган қуввати  $0,52$  дан  $0,2\text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  га пасаяди.

5. Сувнинг буғлатиб совутиш иссиқлик самарадорлиги қиймати  $0,79$  га тенглиги белгиланди. Натижада шу аснода ҳавони буғлатиб совутиш тизими иши жараёнида иссиқхонада атиргулларни етиштиришда оптимал бўлган ҳарорат ( $27\text{ }^\circ\text{C}$  гача) ва нисбий намлик (тақрибан 70 %) қийматларига эришишга муяссар бўлинди.

6. Амалга ошириш Сурхондарё вилояти, “Sherobod sabzavot” МЧЖда жорий қилинди. Натижада электр энергияси самарасига ва микроиқлим параметрларни такомиллаштиришга қараб иқтисодий самарадорлиги 117 миллион 956 минг сўм маблағ ташкил қилинган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.10.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ «ТАШКЕНТСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

---

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И  
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

**ВАХИДОВ УМИД ФАХРИДИНОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ  
ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА В ТЕПЛИЦАХ**

**05.05.07 – “Электротехнологии и электрооборудование в сельском  
хозяйстве”**

**АВТОРЕФЕРАТ  
докторской (PhD) диссертации по философии**

**Ташкент - 2026**

Тема диссертации доктора по философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инновации Республики Узбекистан под номером B2024.3. PhD/T4909

Диссертация выполнена в Национальном исследовательском университете «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства».

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице научного совета по адресу ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

|                        |   |
|------------------------|---|
| Научный руководитель:  | <b>Анарбаев Анвар Изатуллаевич</b><br>DSc, старший научный сотрудник  |
| Официальные оппоненты: | <b>Мухаммадиев Ашираф Мухаммадиевич</b><br>доктор технических наук, профессор<br><b>Мухтаров Фаррух Хандамович</b><br>PhD, доцент |
| Ведущая организация:   | <b>Каршинский государственный технический университет</b>   |

Защита диссертации состоится «25» июня 2026 г. в 16<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.10.01 при Национальном исследовательском университете «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (Адрес: 100000, г.Ташкент, ул. Кары Ниязий, 39. Тел.: (+99871) 237-09-45, факс: (+99871) 237-38-49, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (регистрационный номер 414). Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кары Ниязий, 39. Тел.: (+99871) 237-09-45, факс: (+99871) 237-38-49, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

Автореферат диссертации разослан «15» июня 2026 года.

(протокол рассылки № 111 от «15» июня 2026 г).



**Б.С.Мирзаев**  
Председатель научного совета по  
присуждению учёных степеней, д.т.н.,  
профессор

**У.Т.Кузиев**  
Учёный секретарь Научного совета по  
присуждению ученых степеней, PhD, доцент.

**Д.Б.Кадыров**  
Председатель научного семинара при  
Научном совете по присуждению учёных  
степеней, DSc, профессор

B. S.

## ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (PhD) диссертации)

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире в сельском хозяйстве вопросам расширения применения высокоэффективных по электрической энергии технологиям, экономии топливно-энергетических ресурсов, технологии охлаждения с использованием устройств на основе природных источников уделяется большое внимание. В последние годы в развитых странах «... теплицы, построенные по современным проектам в мире, имеют потенциал для снижения энергопотребления на 20÷40% от общих затрат»<sup>1</sup>, что требует внедрения в системах охлаждения теплиц технологий с высокой энергоэффективностью. В этой связи особое внимание уделяется разработке усовершенствованных испарительных систем охлаждения теплиц на основе естественных технологий.

В мире проводятся научные исследования с целью разработки новых научно-технических решений, направленных на энергосберегающие технологии и технические средства для устранения факторов, негативно влияющих на рост цветов до их созревания. В частности в этом направлении, в теплицах на долю систем испарительного охлаждения приходится 2,8 % производимой мировой энергии, поэтому считаются приоритетными исследования по разработке усовершенствованных устройств испарительного охлаждения при поддержании влажности до 40÷60 % и оптимальной температуры воздуха 6÷10 °С относительно окружающей среды. В то же время, актуальной задачей считается разработка водосберегающих решений, которые в результате их внедрения позволят сократить потребление электроэнергии для охлаждения воздуха в 8÷10 раз при использовании испарительных охладителей с водой в качестве хладагента.

В республике принимаются комплексные меры по повышению эффективности испарительных охлаждающих устройств, расширению возможностей использования природной энергии, внедрению систем охлаждения в теплицах, усовершенствованных на основе энергосберегающих технологий, и достигаются определенные результаты.

В стратегии развития Республики Узбекистан на период 2022-2026 годов определено «...в ближайшем будущем в качестве первоочередной задачи ставится сокращение объёмов потребления энергии и ресурсов в экономике, внедрение энергосберегающих технологий при выработке энергии и широкое использование возобновляемых источников энергии...»<sup>2</sup>. При выполнении этих задач считается важным проведение научно-исследовательских работ, направленных на создание технически и технологически модернизированной, энергосберегающей среды, а также на обеспечение высококачественного выращивания растений при предотвращении вредных факторов.

Данная диссертационная работа в определённой степени служит выполнению задач, поставленных в постановлении Президента Республики

---

<sup>1</sup> <https://www.insongreen.com/ru>

<sup>2</sup> Постановление Президента Республики Узбекистан, от 28.09.2022 г. № ПП-60 «Об утверждении стратегии по переходу республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2022 — 2026 годов»

Узбекистан ПП-4779 от 10 июля 2020 года «Повышение энергоэффективности экономики и привлечение свободных ресурсов» говорится о дополнительных мерах по снижению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетических продуктов, а также в других нормативно-правовых документах, относящихся к данной деятельности.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Настоящее исследование проводилось в рамках приоритетного направления развития науки и технологий:

II. «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

**Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>3</sup>.**

Анализ научных публикаций показывает, что развитие технологий в области испарительного охлаждения воздуха в тепличных хозяйствах происходит в направлении определения влияния наиболее важных климатических факторов, технико-экономических показателей элементов этих систем, режимов их работы на эффективность создания микроклимата в тепличном хозяйстве. Однако несмотря на научные достижения вопросы оптимизации энергопотребления таких охлаждающих систем воздуха в теплицах, позволяющих определить параметры вентиляционных устройств с учётом расположения их в теплице и скорости подачи воды на влажный мат в достаточной степени не изучены. В то же время наличие таких очевидных преимуществ технологии испарительного охлаждения, как возможность управления температурно-влажностными параметрами, компактность и надёжность, способствует её широкому использованию для теплиц в летний период.

**Степень изученности проблемы.** Теоретические и практические исследования по разработке элементов и устройств систем управления для испарительного охлаждения воздуха в зданиях проводятся зарубежными научно-исследовательскими институтами, такими как ЦНИИ ПРОМЗДАНИЙ (Россия), университетом Султана Кабуса (Оман), Ташкентском государственном техническом университете и институтом проблем энергетики Академии наук республики Узбекистан и др.

Среди работ зарубежных авторов, которые рассматривают вопросы энергосберегающих технологий в кондиционировании зданий, необходимо отметить научные труды Кокорина О.Я., Юрманова Б.Н., Анчихина А.Г., Майсоценко В.С., Абдулрахима Ал-Исмаили, Ехуда Даяна, Евгения Преснова, Дилип Жайна, Гопал Наз Тивари и других.

Научная работа видных учёных Узбекистана таких как Захидова Р.А., Вардиашвили А.Б., Узакова Г.Н., Хайриддинова Б.Э. и др. посвящена решению научных проблем в этой области, таких как разработка инструментов, методов и алгоритмов регулирования и контроля энергопотребления в научной сфере создания климата в теплицах.

---

<sup>3</sup> Dayioğlu, M. A., and H. H. Silleli. 2015. Performance Analysis of a Greenhouse Fan-Pad Cooling System: Gradients of Horizontal Temperature and Relative Humidity. *Journal of Agricultural Sciences*, 21(1). P. 132–143.

Несмотря на значительные успехи, анализ работ показал, что, недостаточно изучены научные проблемы, связанные с влиянием важнейших климатических факторов и элементов испарительных систем охлаждения на технико-экономические показатели тепличных хозяйств, а также влияние режима их работы на эффективность создания микроклимата. В данной диссертационной работе предлагается метод и алгоритм разработки энергосберегающих технических решений в испарительных системах воздушного охлаждения, определения конфигурации и параметров вентиляторов в теплице для энергопотребления и распределения воздуха, а также оптимизации параметров «влажных матов».

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ НИУ ТИИИМСХ по теме: № 7.3. «Основы научной методологии разработки электротехнологии очистки растений, сельскохозяйственной продукции, природных и сточных вод». Электрификация сельского хозяйства в Узбекистане в основном направлена на повышение урожайности сельскохозяйственных культур, защиту их от болезней и вредителей, а также улучшение качества урожая. Исследования в области тепличного хозяйства в основном направлены на разработку энергоэффективного оборудования и оптимизацию режимов вентиляции и охлаждения, подходящих для растений, выращиваемых в теплицах.

**Целью исследования** является повышение энергоэффективности системы испарительного воздушного охлаждения для обеспечения необходимых параметров микроклимата в теплицах для качественного выращивания роз.

**Задачи исследования:**

исследование проблем создания микроклимата в теплице на основе систем испарительного охлаждения;

разработка энергосберегающих технических решений в системе испарительного воздушного охлаждения, определение зависимости энергопотребления и распределения воздуха от расположения вентиляторов в теплице и оптимизация параметров;

разработка математической модели системы испарительного охлаждения воздуха;

определение рациональных параметров системы испарительного охлаждения воздуха на основе результатов экспериментальных исследований в теплицах.

**Объектом исследования** являются испарительные системы охлаждения воздуха используемые для повышения эффективности микроклимата в теплицах для выращивания роз при снижении энергопотребления электрооборудования.

**Предмет исследования** состоит в обосновании существующих научно-технических схем и параметров испарительных систем воздушного охлаждения для повышения эффективности микроклимата в теплицах и снижения энергопотребления их электрооборудования.

**Методы исследования.** Используются численные методы Ньютона-Рафсона расчёта теплотехнических характеристик охлаждающих панелей влажных матов, тепломассообменных процессов охлаждения воздуха в системах испарительного охлаждения при повышении эффективности микроклимата теплиц в летний период. Использовались имитационные модели в программе MATLAB (SIMULINK) для анализа энергетических характеристик системы и её эффективности, статистическая обработка результатов эксперимента.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

на основе выявленных факторов, влияющих на эффективность испарительных систем охлаждения воздуха, были разработаны энергосберегающие технические решения;

разработана математическая модель процессов тепло- и массопереноса, основанная на дифференциально-численных методах, которая выражает зависимость от параметров системы испарительного охлаждения воздуха величин микроклимата в теплицах;

разработана математическая модель расчёта энергетических параметров вентиляционного электрооборудования систем испарительного охлаждения воздуха повышенной эффективности в теплицах;

на основе результатов экспериментальных исследований в теплицах были определены рациональные параметры испарительной системы воздушного охлаждения.

**Практические результаты исследования** состоят в следующем:

разработанная математическая модель и метод её расчёта позволяют определить распределение температуры воздуха по длине теплицы;

по результатам экспериментальных исследований удельная мощность вентилятора в рекомендуемом техническом решении вентиляционного устройства в системе испарительного охлаждения теплицы снизилась с 0,52 до 0,2 кВт/(м<sup>3</sup>/с);

определена тепловая эффективность испарительного охлаждения воздуха, равная 0,79. В результате система испарительного охлаждения воздуха смогла обеспечить оптимальную температуру (до 27 °С) и относительную влажность (около 70%) для выращивания роз в теплице.

**Достоверность результатов исследования.** Полученные результаты основываются на сравнении численных расчётов с результатами других исследователей данной проблемы, сопоставления с имеющимися экспериментальными данными.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследований определяется для фермерских хозяйств республики точным расчётом конструктивных и режимных параметров элементов систем испарительного охлаждения воздуха в

теплицах. Разработанный метод позволяет повысить эффективность систем охлаждения в теплицах в летний период при снижении потребления электроэнергии. Разработанный метод позволяет повысить эффективность систем охлаждения воздуха в теплицах в летний период и снизить расход топлива. Научная значимость полученных результатов заключается в том, что создана схема использования испарительных систем охлаждения воздуха для повышения эффективности микроклимата в теплицах.

Практическая значимость полученных результатов состоит в разработке эффективного метода повышения эффективности испарительных систем охлаждения в теплицах фермерских хозяйств республики. Установлено, что внедренная в теплице система позволит сэкономить 19 430,4 кВт·ч электроэнергии в год. Эффективность испарительной системы охлаждения в теплице фермерского хозяйства ООО «Sherobod Sabzavot» была определена на основе экспериментальных результатов. Полученные результаты показали, что устройство «влажные маты» в теплице снижает внутреннюю температуру воздуха на 11,6 °С по сравнению с естественной вентиляцией.

**Научная значимость результатов исследований.** На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана система вентиляции с прямым испарительным охлаждением воздуха с использованием технологии «влажные маты». Установлено, что теплопоглощающий потенциал воздуха напрямую связан с его температурой и относительной влажностью. Внедрение разработанной системы испарительного охлаждения воздуха позволило увеличить урожайность на 6% в типичной теплице при обеспечении необходимой скорости фотосинтеза.

**Внедрение результатов исследования.** На основе результатов исследований по обоснованию параметров и режимов работы системы испарительного охлаждения воздуха в теплице:

на основании полученных научных результатов по установке систем испарительного охлаждения для повышения эффективности микроклимата в теплицах выполнено внедрение в ООО «Sherobod sabzavot» Шерабадского района (справка Управления сельского хозяйства по Сурхандарьинской области №01-05/07-351 от 9 апреля 2024 года). В результате за счёт экономии электроэнергии ожидаемая экономическая эффективность составила 117 956 000 сумов (справка Министерства сельского хозяйства Республики Узбекистан №05/01-05/02-05/04-04-150 от 19 апреля 2024 года).

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждены на 6, в том числе 4 международных и 2 республиканской научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, включая 3 статьи в республиканских и 1 статью в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций. 4 тезиса на зарубежных, из них 2 в базе Scopus, и 2 тезиса на республиканских конференциях, 1 свидетельство на

программный продукт.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений, общий объём работы составляет 112 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность научно-исследовательской работы, сформулированы цель и задачи, указаны объект и предмет исследования, представлено соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложена научная новизна и практические результаты исследований, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость результатов исследования, предоставлена информация о внедрении результатов исследования, публикациях и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Состояние и проблемы систем микроклимата в теплицах»** приводится анализ развития тепличных хозяйств в Республике Узбекистан. Важной положительной особенностью растениеводства защищённого грунта является возможность иметь оптимальную для данного сезона температуру, чем в открытом грунте, регулировать температуру, влажность и освещенность. Создание оптимальных условий в культивационных помещениях обеспечивает получение высокой урожайности, превышающей урожайность в открытом грунте в 5÷20 раз. Основные параметры технологии выращивания роз.

*Температура:* Днём: летом теплицу следует часто проветривать, температура должна быть ниже 27°C. Ночью: +15°C.

*Влажность:* Около 60-70%. Для обеспечения дополнительного заражения рекомендуется 75%.

*Освещение:* Не менее 12-14 часов света в сутки. Летом будет солнце, но следует избегать чрезмерной жары и обеспечивать тень.

*Проветривание:* 2-3 раза в день, летом и дольше для обеспечения циркуляции воздуха.

*Полив:* Летом, в зависимости от условий, полив требуется ежедневно.

В главе рассматриваются наиболее распространённые типы помещений защищённого грунта в Республике Узбекистан - пленочные и остекленные теплицы. В Узбекистане весной и летом в солнечную погоду вентиляция парников и теплиц не обеспечивает снижения температуры воздуха до необходимого оптимума. В этих случаях, кроме вентиляции, применяют другие приёмы борьбы с перегревом. Например, методы удаления избытка тепла посредством разбрызгивания воды внутри теплицы. При испарении воды поглощается тепло и охлаждается почва, растения и воздух. В результате температуры воздуха в теплице снижается на 5÷6°C. Перспективными методами снижения перегрева растений в пленочных теплицах, являются метод орошаемой стенки и метод туманообразующей охлаждающей камеры, через которые наружный воздух втягивается в помещение. В борьбе с

перегревом представляет интерес применение кондиционеров, которые в холодное время обогревают помещение, а в жаркие дни – охлаждают его.

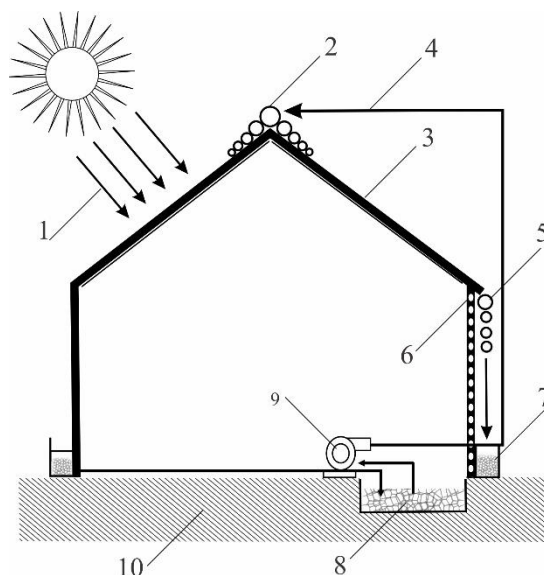
В климатических зонах, где максимальная летняя температура стабильно держится выше  $35^{\circ}\text{C}$ , а внутренняя температура теплицы в течение продолжительного периода превышает отметку  $30^{\circ}\text{C}$  целесообразно сочетание системы вытяжной вентиляции с испарительным охлаждением воздуха.

Для культуры выращиваемых роз температура воздуха в теплицах летом до  $27^{\circ}\text{C}$  позволяет получать качественную срезку цветов. При этом температура листьев и цветков летом обычно на  $2\div 7^{\circ}\text{C}$  выше температуры воздуха в теплицах.

Приведенный анализ показал, что при использовании методов испарительного охлаждения температура воздуха в теплице была на  $8\div 12^{\circ}\text{C}$  ниже температуры наружного воздуха, хотя солнечное излучение было очень высоким. Было установлено, что в пустой теплице система влажных матов снижает температуру внутреннего воздуха на  $11,6^{\circ}\text{C}$  ниже, чем при естественной вентиляции, а система тумана снижает температуру до  $10,4^{\circ}\text{C}$ .

Было определено, что требуемое количество охлаждения зависит от скорости потока воздуха через влажный мат (т.е. воздухообмена в час; АСН). Было установлено, что 20 АСН было достаточно для обеспечения подходящего микроклимата в жарких и сухих условиях. Было определено количество воды, необходимое для системы испарительного охлаждения.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что, необходимо особое внимание уделить ключевым вопросам испарительного охлаждения воздуха и характеристикам микроклимата в теплице.



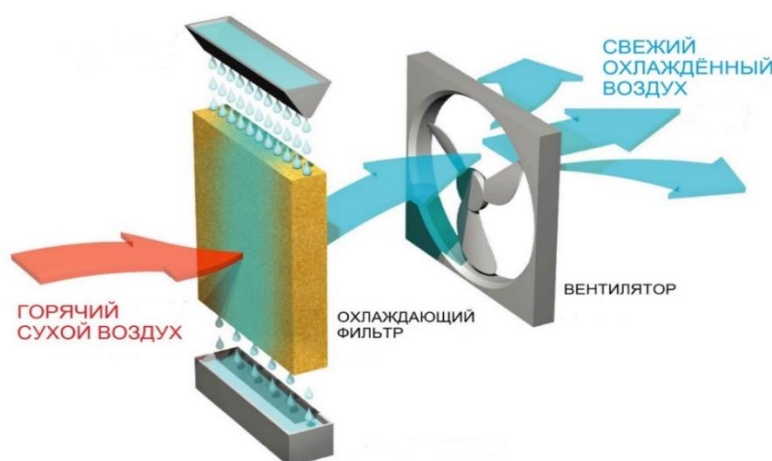
- 1 - падение солнечного света; 2-распределительный водопровод;  
3 - тенеотбрасывающее устройство (жгут); 4-контур циркуляции воды;  
5-избыточный поток воды; 6 - северная стена (кирпичная);  
7 - выемка почвы; 8-ёмкость для сбора воды; 9 - насос; 10 - почва;

**Рис.1. Принципиальная схема теплицы с увлажненной тканью на крыше.**

Исследование показывает, что в теплицах испарительное охлаждение применяется не отдельно, а в сочетании с некоторой вентиляцией и затенением. Выбор подходящей системы охлаждения зависит главным образом от местных условий окружающей среды, а также от конструкции теплицы. Обзор показывает, что системы испарительного охлаждения постоянно модернизируются и совершенствуются в зависимости от климатических условий для повышения эффективности охлаждения воздуха.

Модель, показанная на рис.1 была проверена с использованием многопролетной вентилируемой теплицы, расположенной в условиях жаркого и сухого климата. Установлено, что при повышении эффективности охлаждения скорость испарения воды и скорость потока воздуха уменьшались.

Во второй главе диссертация «Усовершенствование испарительных систем охлаждения воздуха в теплицах» приводится анализ систем испарительного охлаждения воздуха. Основная схема показана на рис.2.

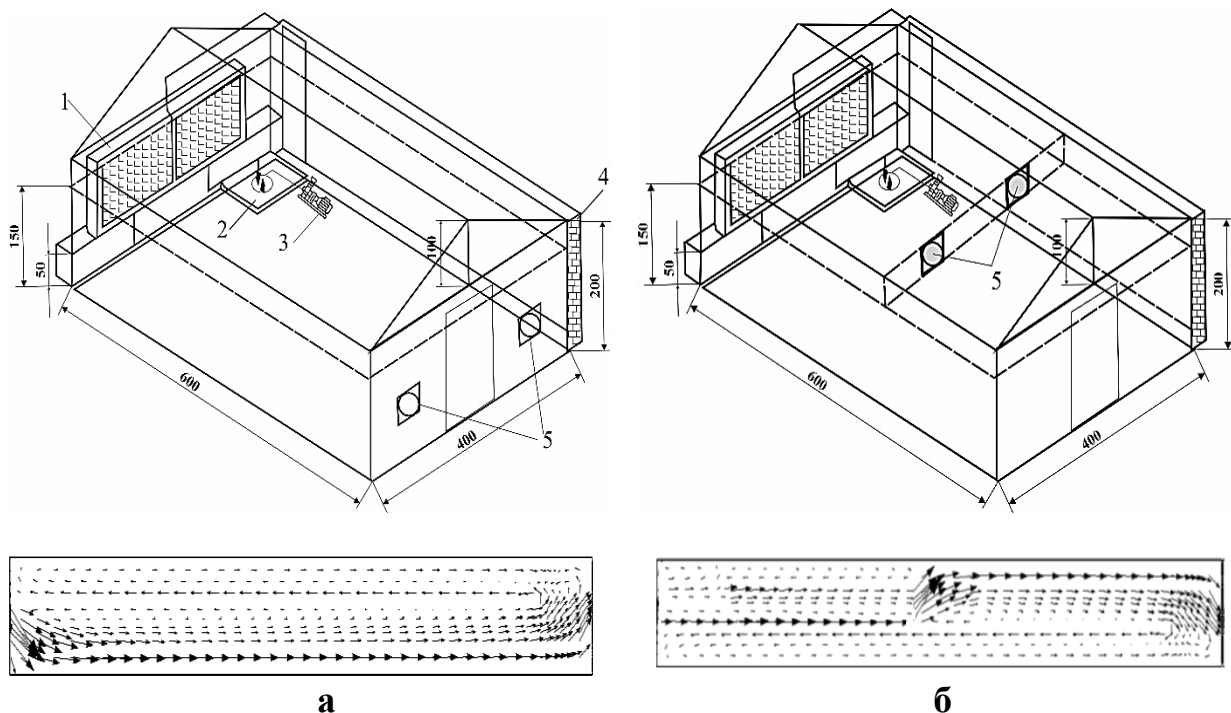


**Рис. 2. Система испарительного охлаждения с кассетами на основе "влажных матов".**

В сухом, засушливом климате средства, необходимые для установки и эксплуатации испарительного охладителя, приблизительно на 80 % меньше, чем при установке классического кондиционирования воздуха.

На восточной стороне были установлены два электрических вытяжных вентилятора диаметром 0,75 м, каждый с номинальной производительностью  $450 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$  при нулевом статическом давлении. Номинальная скорость воздухообмена колебалась от 27 до 39  $\text{час}^{-1}$ . Опыт проводили в июле месяце, когда культуре исполнилось 2 года и она достигла полной продуктивности. Индекс площади листа (LAI) слегка колебался из-за ежедневного сбора урожая и отрастания и составлял в среднем около 2,65, покрывая 85% земли.

Для сравнения эффективности вентиляции были выбраны два варианта подачи воздуха: по высоте и длине теплицы (рис. 3). Подача воздуха осуществлялась снаружи через стандартные влажные маты вытяжным вентилятором.



**Рис. 3. Распределение потоков воздуха в теплице на основе «влажных матов» системы испарительного охлаждения (а) при существующем и предлагаемой (б) расположении вентиляторов посередине теплицы на границе зон I (около крыши) и II (расположение цветов)**

Скорость в каналах теплицы определялась по формуле для ламинарного режима течения, учитывающей гидродинамический начальный участок:

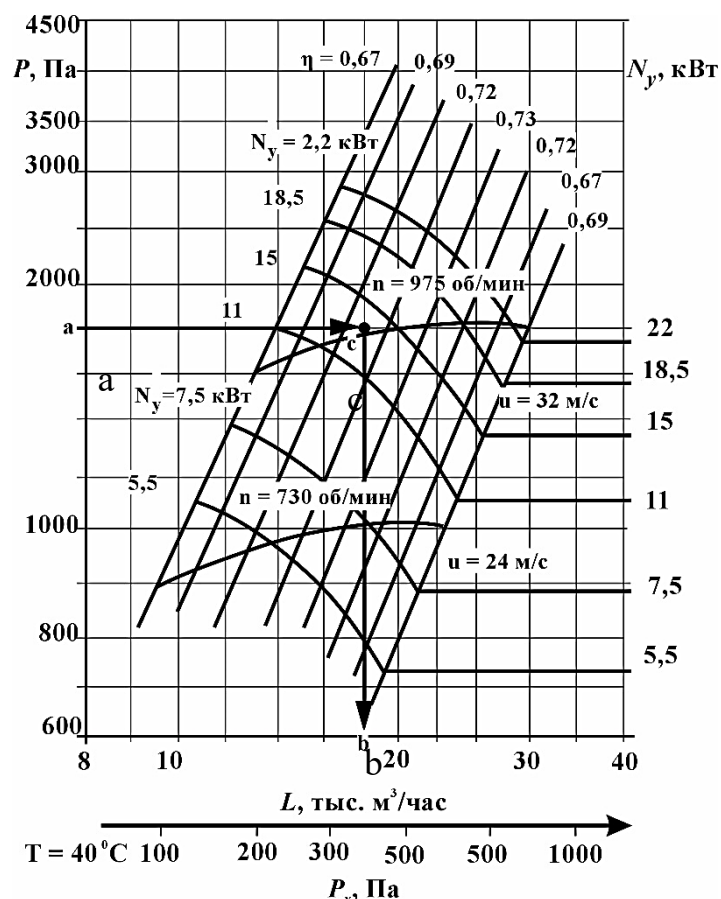
$$V(x, y) = V_{\text{вх}} \cdot \left[ 1,5 - \frac{1,5y^2}{h^2} - 2 \left( \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \frac{\cos\left(\frac{g_n y}{h}\right)}{\cos(g_n)}\right) \cdot e^{\left(-\frac{4g_n^2 \cdot v \cdot x}{v_{\text{вх}} h^2}\right)}}{g_n^2} \right) \right] \quad (1)$$

где  $g_n$  – положительные корни уравнения  $tgx = x$ ,  $v$  – кинематическая вязкость воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$ ,  $h$  – половина сечения пролета в теплице,  $\text{м}$ ,  $V_{\text{вх}}$  – входная скорость потока воздуха,  $\text{м}/\text{с}$ .

Распространение горизонтальных струй подаваемого воздуха по варианту I показано на рис. 3, а. При таком способе подачи приточная струя имеет достаточно большую дальность. Так, на расстоянии 30 м от влажного мата скорость течения составляет 0,5 м/с (на выходе из влажного мата в теплицу скорость – 5,5 м/с). В остальной части помещения подвижность воздуха невысокая, на уровне 0,3 м/с.

При размещении вентиляторов в середине теплицы на расстоянии 30 м от влажного слоя (рис. 3, б), на границе зон I и II, скорость потока равна значению 3,7 м/с. Скорость при выходе из влажного слоя в теплицу 8,5 м/с. Подвижность воздуха внутри увеличивается до 0,45 м/с.

Это позволяет ускорить процессы испарительного охлаждения внутри теплицы. Таким способом можно снизить потребление электроэнергии, установив вентилятор меньшей мощности.



**Рис. 4. Вентиляционная характеристика серии T30NC**

Для выбора подходящей модели требуется выбрать вентиляторы, максимальная производительность которых несколько больше расчётного значения. После этого по вентиляционной характеристике, приведенной на рис.4, определяется производительность системы при заданном сопротивлении сети.

Затраты энергии на охлаждение воздуха в сутки:

$$S_{сут} = \Delta T \cdot L \cdot c, \text{ кДж} \quad (2)$$

где  $S_{сут}$  – расход за сутки электроэнергии, кВтч;  $\Delta T$  – среднее снижение температуры в теплице относительно наружного воздуха, °C;  $L$  – показатель кратности воздухообмена, 25 за час;  $c$  – теплоёмкость воздуха, кДж/кг;

Производительность вентилятора для теплицы рассчитывается по следующей формуле:

$$Q = V_{тепл.} \times S_{сут}, \text{ кДж} \cdot \text{м}^3 / \text{сутки} \quad (3)$$

Для объёма теплицы выбран вентилятор соответствующей системе испарительного охлаждения. Размеры теплицы: длина 6400 см, ширина 1600 см, высота 200 см.

$$(6,4 \times 1,6 \times 0,2) \times 176 = 360 \text{ м}^3 / \text{сутки}$$

Количество потребляемой электроэнергии  $N_{\Sigma}$ , кВт·час

$$N_{\Sigma} = \tau_{ден} \cdot \tau_{ден, час} \cdot \frac{P \cdot L}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta'} \quad (4)$$

Удельная мощность отдельной вентиляционной установки  $SFP_E$  — это отношение электрической энергии [Вт], подводимой к вентилятору, к расходу воздуха при расчётных условиях [ $\text{м}^3/\text{с}$ ]:

$$SFP_E = \frac{N_{\text{эл}}}{L}, \quad (5)$$

где  $SFP_E$  — удельная мощность вентиляционной установки или вентиляторного агрегата,  $\text{Вт}/(\text{м}^3/\text{с})$ ;  $N_{\text{эл}}$  — потребляемая электрическая мощность приточного вентилятора, Вт;  $L$  — расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Удельная мощность вентилятора  $SFP_E$  — это параметр, выраженный в  $\text{Вт}/(\text{м}^3/\text{с})$  или  $\text{кВт}/(\text{м}^3/\text{с})$ , который указывает эффективность потребления электроэнергии для всех приточных и вытяжных вентиляторов здания. Иными словами, показатель  $SFP_E$  соответствует максимальной электрической мощности, которая необходима для передвижения  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  в системе вентиляции помещения. В таблице 1 даны результаты расчёта, показывающие большую энергоэффективность варианта 2.

Таблица 1

| Система   | Вытяжка, $\text{м}^3/\text{с}$ | Мощность вентилятора, кВт | $SFP_E$ , $\text{кВт}/(\text{м}^3/\text{с})$ |
|-----------|--------------------------------|---------------------------|--|
| Вариант 1 | 2,88                           | 1,5                       | 0,52   |
| Вариант 2 | 3,48                           | 1,1                       | 0,2  |

В третьей главе диссертации «**Моделирование испарительных систем охлаждения в тепличных хозяйствах**» параметры охлаждения оптимизированы с использованием результатов разработанной математической модели в квазистационарном состоянии. Рассматривалась модель равнопролётной теплицы (рис.5) с полезной площадью. Была подготовлена компьютерная программа на основе программного обеспечения MatLab для прогнозирования температурного профиля и оптимизации параметров охлаждения.

$TLL$  - это величина колебания температуры внутри теплицы. Колебания температуры в зоне-I ( $T_{r1}$ ) играет определяющую роль в температуре охлаждаемой зоны-II ( $T_{r2}$ ).

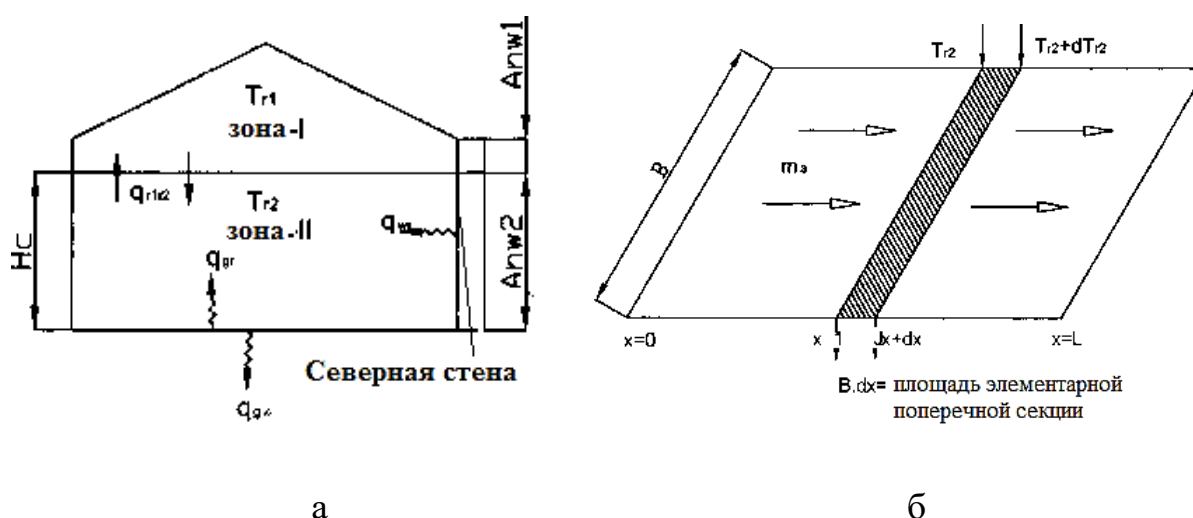
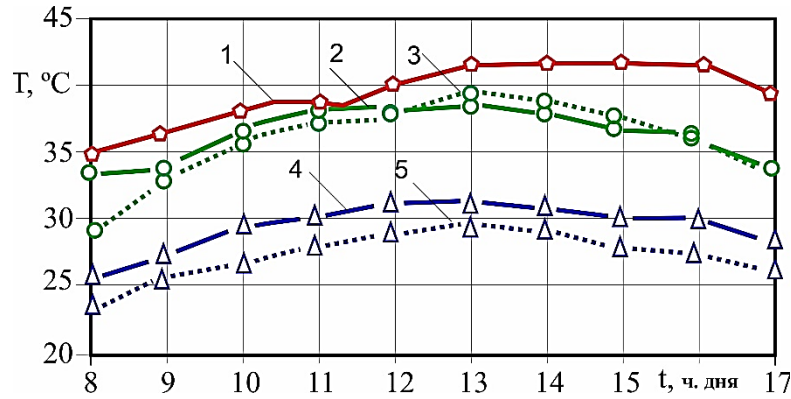


Рис. 5. (а) Поперечное сечение теплицы, показывающее зону-I и зону-II и различные теплопередачи, (б) ширина элемента  $dx$  по длине теплицы.

Следовательно,  $TLL$  для теплицы можно определить, как:

$$TLL = \frac{T_{r2}^{max} - T_{r2}^{min}}{T_{r1}^{max} - T_{r1}^{min}} \quad (6)$$

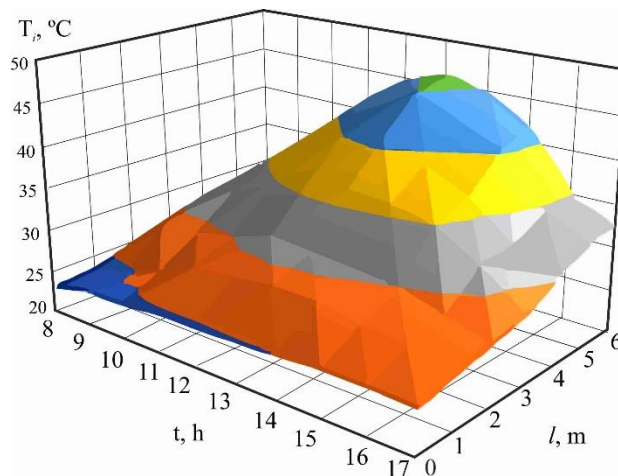
При данной разности температур знаменатель должен быть минимумом для роста растений за счёт охлаждения летом, и, следовательно,  $TLL$  должен быть максимумом для летних условий и минимумом для зимних условий.  $TLL$  является важным показателем для оптимизации параметров охлаждения.



1-температура наружного воздуха; 2-расчетная средняя температура в зоне I; 3-экспериментальная средняя температура в зоне I; 4-расчетная средняя температура в зоне II; 5-экспериментальная средняя температура в зоне II

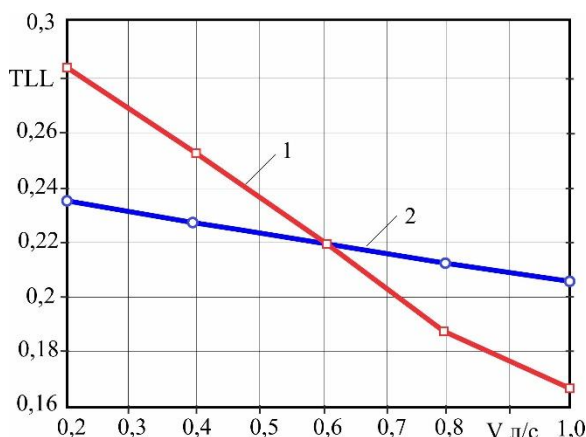
**Рис. 6. Почасовое изменение температуры окружающей среды и после системы испарительного охлаждения теплицы.**

Экспериментальные и расчётные значения почасовых  $\bar{T}_{r2}$  и  $\bar{T}_{r1}$  представлены на рис. 6 (для 27 июля 2023 г.). Предсказанные температуры  $\bar{T}_{r2}$  и  $\bar{T}_{r1}$  хорошо согласуются с экспериментальными наблюдениями. Таким образом, с помощью разработанной математической модели можно прогнозировать средние температуры в зоне-I и зоне-II для заданной геометрии теплицы. На этих рисунках также показано снижение температуры по сравнению с условиями окружающей среды из-за испарительного охлаждения. Средняя температура в зоне-II на 4-5 °C ниже температуры окружающей среды.



Дата – 27/07/2023, высота влажного мата – 1,75 м, расход воды – 0,6 л/с

**Рис. 7. Профиль температуры по длине зоны II**

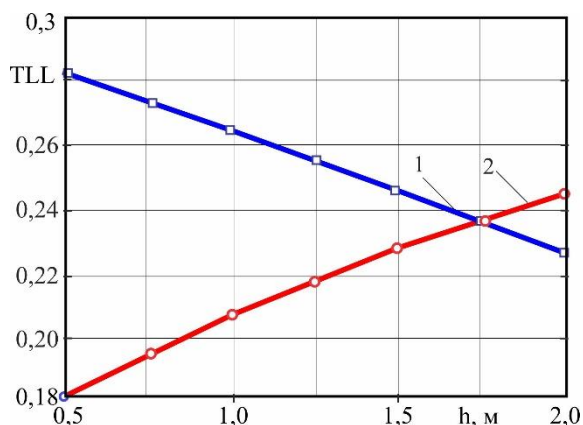


1-уровень тепловой нагрузки  $TLL$  в зоне I и 2- в зоне II

**Рис. 8. Влияние массового расхода воды, пропускаемой через влажный мат в системе испарительного охлаждения на разницу температур воздуха  $TLL$ .**

С увеличением высоты охлаждающей подставки  $TLL$  уменьшается в зоне-I. Наоборот, в зоне II она увеличивается, как показано на рис. 7. Приблизительно 1 м высоты влажного мата является оптимальной для разности температур в зонах  $TLL$ .

Графическую зависимость  $TLL$  от массового расхода в зоне-I и зоне-II, как показано на рис. 8, обеспечивает оптимальный массовый расход 0,6 кг/с для максимальной  $TLL$  в зоне-I и зоне-II в летний период при заданной длине теплицы и высоте охлаждающей панели.



1-уровень тепловой нагрузки  $TLL$  в зоне I и 2- в зоне II

**Рис 9. Влияние высоты влажного мата системы испарительного охлаждения воздуха в теплице на разность температур  $TLL$ .**

С увеличением высоты охлаждающего устройства  $TLL$  уменьшается в I-зоне. Наоборот, он увеличивается во II зоне, как показано на рисунке 9. Высота охлаждающего увлажняющего слоя около 1,75 м является оптимальной для  $TLL$  в обеих зонах.

При оптимизации параметров охлаждения  $L$ ,  $H_c$  и  $\dot{m}_a$ , один параметр варьировался, а остальные оставались постоянными, например, для

оптимизации длины ( $L$ ) в интервале от 0 до 18 м, высоты охлаждающего мата ( $H_c$ ) и расхода воды на влажном мате ( $\dot{m}_a$ ) имели соответственно значения 1,75 м и 0,6 л/с соответственно. Аналогично, при варьировании высоты влажного мата ( $H_c$ ) в интервале от 0,5 до 2 м, для  $L$  и  $\dot{m}_a$  оставались постоянными значения соответственно 6 м и 0,5 л/с. Для оптимизации расхода воды на влажном мате  $\dot{m}_a$  в интервале от 0,5 до 1,0 л/с,  $L$  и  $H_c$  задавались постоянными при значениях 6 м и 1,5 м соответственно.

Линейная модель простого вентилятора состоит из механического уравнения и электрического уравнения, определенных в следующих

$$U_a = E + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (7)$$

$$M_e = M_L + B_m \cdot \omega_m + J \frac{d\omega_m}{dt} \quad (8)$$

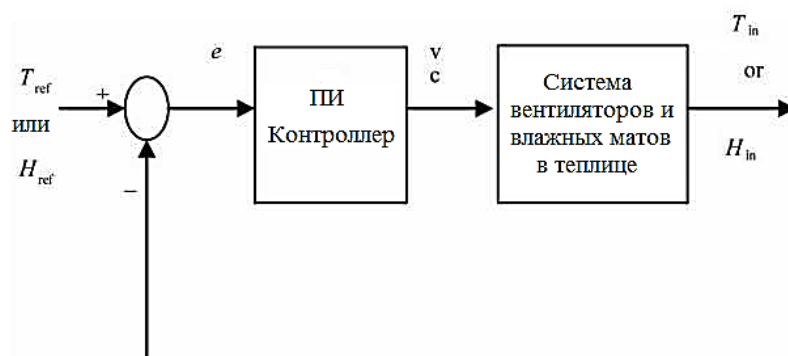
$$P_{fan} = N^2 \cdot D^2 \cdot \nu \quad (9)$$

где  $N$  - линейная скорость вентилятора (м/с),  $D$  - диаметр вентилятора (м),  $\nu$  - удельный вес воздуха (11,82 Н/м<sup>2</sup>),  $R_a$  - сопротивление якоря ( $\Omega$ ),  $L_a$  - индуктивность якоря (Гн),  $U_a$  - напряжение на клеммах (В),  $J$  - момент инерции (кг·м<sup>2</sup>),  $B_m$  - коэффициент демпфирования механической системы (Н·м·с).  $I_a$  - ток якоря (А),  $M_L$  - момент нагрузки (Н·м),  $M_e$  - электромагнитный момент,  $\omega_m$  - скорость вращения вентилятора (об/мин).

Эффективность охлаждения  $\eta_c$  испарительной системы определяется формулой:

$$\eta_c = \frac{T_{ab,0} - T}{T_{ab,0} - T_{wb,0}} \quad (10)$$

где  $T_{ab,0}$  и  $T_{wb,0}$  - температуры воздуха снаружи теплицы по сухому и влажному термометрам в °С, а  $T$  - температура охлаждённого воздуха, проходящего через влажный мат, в °С по сухому термометру.



**Рис. 10. Блок-схема системы управления теплицей с использованием ПИ-регулятора.**

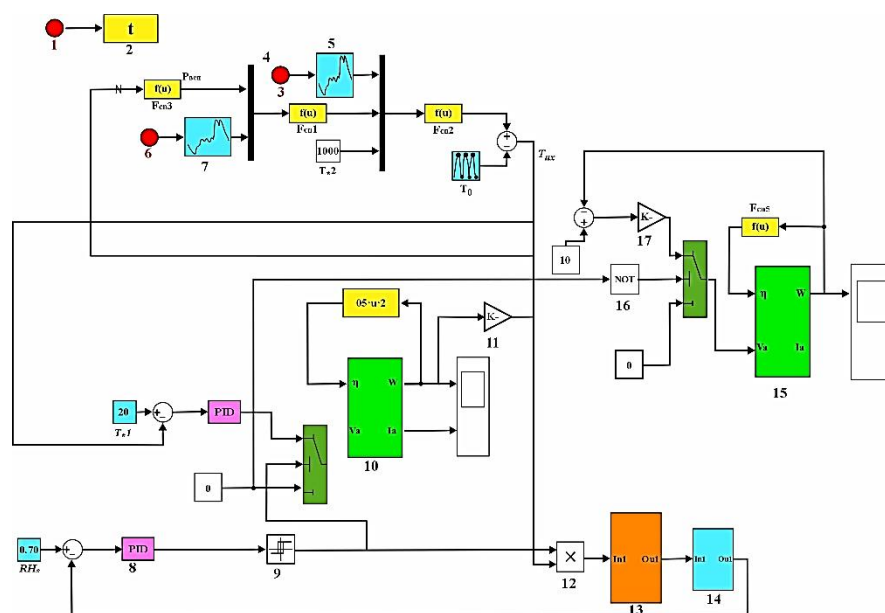
Испарительная система охлаждения с вентилятором должна иметь соответствующий контроллер, чтобы оператор мог регулировать микроклимат в теплице, чтобы обеспечить наилучшие условия для выращивания выбранной сельскохозяйственной культуры. Два обычных регулятора (ПИ-регуляторы) используются для поддержания оптимальной температуры и относительной влажности ( $T_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$  и  $H_{ref} = 0,0$ ) внутри теплицы в любое время и для преодоления нагрузочного воздействия наружных нежелательных

климатических условий. Блок-схема, описывающая стратегию управления, показана на рисунке 10.

Блок-схема MATLAB SIMULINK системы охлаждения теплицы показана на рисунке 11.

Входным сигналом для предлагаемых контроллеров является системная ошибка  $e$ , а выходным действием является требуемый сигнал управления  $vc$  вентилятором теплицы и системой влажных матов. Температура и влажность внутри теплицы ( $T_{in}$  и  $H_{in}$ ) являются сигналами обратной связи для ПИ контроллера.

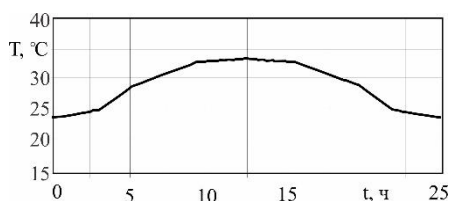
Фактическая температура внутри теплицы ( $T_{in}$ ) сравнивается с эталонным значением температуры ( $T_{ref} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) через компаратор, чтобы выдать сигнал ошибки, который вводится в системный контроллер.



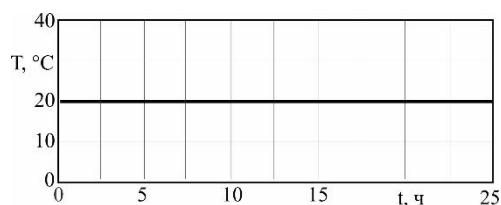
- 1-второй час; 2-на второе рабочее место; 3 час; 4-скорость потока воздушного объёма; 5 - кривая мощности; 6-1 час; 7 - кривая первой мощности; 8-RH контроллер (регулятор); 9 - реле; 10-электродвигатель вентилятора - двигатель постоянного тока; 11 - первый усилитель; 12 - душистые цветы; 13-система увлажняющего слоя; 14-относительная влажность; 15-вентиляционный и увлажняющий слой.

**Рис. 11. Блок-схема MATLAB SIMULINK системы охлаждения теплицы**

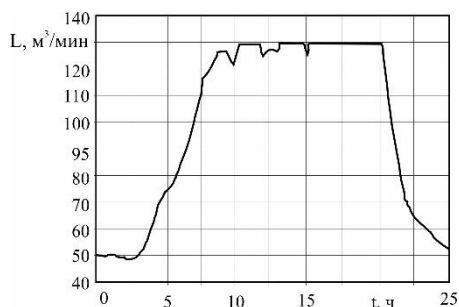
В этом случае контроллер использует входной сигнал ошибки  $e$  для улучшения реакции системы путём создания подходящего управляющего сигнала вентилятора теплицы и системы влажных матов  $vc$ . Кроме того, второе устройство сравнения параметров (компаратор) используется для сравнения фактической относительной влажности с эталонной относительной влажностью ( $R_H = 0,7$ ) для получения сигнала ошибки для ПИ-регулятора.



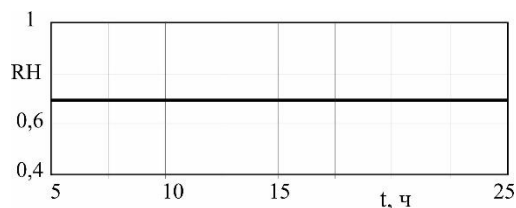
**Рис.12. Температура окружающей среды.**



**Рис. 13. Температура в помещении теплицы с техникой регулирования**



**Рис.14. Расход воздуха вентилятора**



**Рис.15. Относительная влажность в теплице с ПИ-регулятором.**

Контроллер влажности работает между режимами осушения и увлажнения для удаления нежелательной атмосферной влаги, скапливающейся в теплице, или для добавления необходимой влаги в воздух посредством увлажнения.

Полученные графики рисунков 12–15 показывают допустимое время реагирования при эффективности отслеживания системы испарительного охлаждения воздуха в теплице.

Система охлаждения имеет два контроллера, которые поддерживают задаваемые внутреннюю температуру и относительную влажность в теплице. Предложена методика ПИ-регулирования параметров температуры и относительной влажности в помещении теплицы для поддержания на оптимальном уровне их значений для выращивания роз.

Предлагаемый контроллер точно настроен под достижение требуемого отклика регулирующих органов. Параметры тонкой настройки регуляторов температуры и относительной влажности составляют  $K_p = 10$ ,  $K = 0,0001$  и  $K_p = 0,1$ ;  $K = 0,2$  соответственно.

Температура наружного воздуха в теплице в течение 24 часов показана на рисунке 12. В то время как на рисунке 13 показана реакция температуры внутри теплицы. Отмечено, что температура внутри теплицы нормально поддерживается на заданном значении температуры.

С другой стороны, расход воздуха вентилятора показан на рисунке 14. Из этого рисунка также видно, что максимальный расход воздуха вентилятора происходит примерно в 12 часов дня при соответствующей максимальной температуре окружающей среды, а минимальный расход воздуха приходится на полночи при соответствующей минимальной температуре окружающей среды. Кроме того, контролируемая относительная влажность показана на рисунке 15, что указывает на положительные в плане характеристики,

отражающие небольшое значение перерегулирования, быстродействие и эффективность отслеживания температурных параметров.

В четвертой главе, диссертации «**Экспериментальные исследования и расчёт экономической эффективности системы испарительного охлаждения воздуха теплицы**» приведены результаты экспериментальных исследований, сделан анализ повышения эффективности и снижения энергоёмкости элементов системы испарительного охлаждения воздуха в теплице. Наблюдения проводились в июле 2023 г. Приводятся данные для экспериментальной проверки модели. Были собраны в одном пролёте многопролётной теплицы, засаженной розами.



**Рис. 16. Влажные маты (а) и вентиляторы (б) системы испарительного охлаждения теплицы хозяйства ООО “Sherobod sabzavot”**

Показаны на рис.16 элементы системы испарительного охлаждения теплицы хозяйства ООО “Sherobod sabzavot”.

Представляет интерес определение повышения относительной влажности кондиционируемого воздуха при снижении его температуры от  $t'_{wa}$  до  $t''_{wa}$ .

Для определения изменения относительной влажности кондиционируемого воздуха выражения перепишем для его двух состояний

$$d'_{wa} = 0,622 \left[ \frac{P_{\delta}}{\frac{745 \cdot t'_{wa}}{\varphi'_{wa} \cdot 4,579 \cdot 10^{235 + t'_{wa}}}} - 1 \right]^{-1} \quad (11)$$

$$d''_{wa} = 0,622 \left[ \frac{P_{\delta}}{\frac{745 \cdot t''_{wa}}{\varphi''_{wa} \cdot 4,579 \cdot 10^{235 + t''_{wa}}}} - 1 \right]^{-1} \quad (12)$$

На рис. 17 представлены результаты измерения температуры и влажности при процессах испарения и конденсации в теплице с испарительной системой охлаждения. Длина теплицы 64 м, ширина 16 м, высота 4,8 м. Датчики температуры и относительной влажности Delta-T использовались для мониторинга температуры и влажности воздуха внутри теплицы.

Поскольку процесс охлаждения кондиционируемого воздуха в сухом воздухоохладителе происходит в режиме постоянного влагосодержания

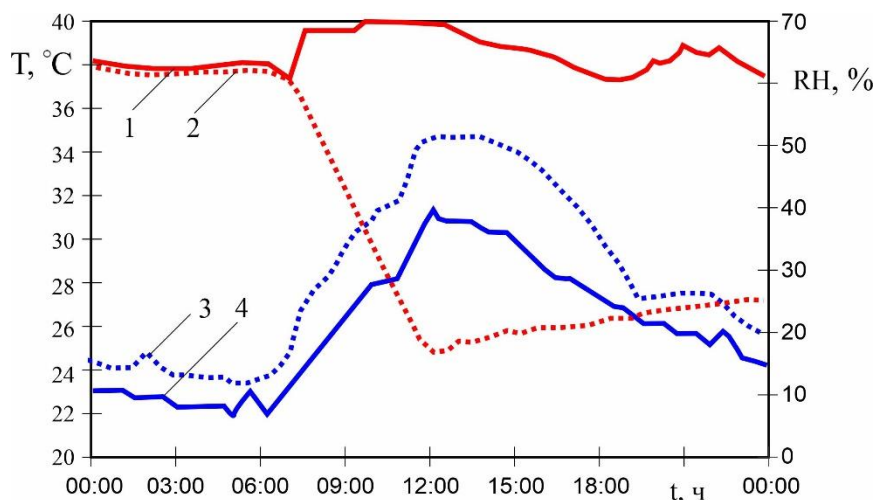
$$d'_{wa} = d''_{wa} \quad (13)$$

Подставляя значений  $d'_{wa}$  получим

$$RH''_{wa} = RH'_{wa} 10^{7,45 \frac{t'_{wa}(235+t'_{wa}) - t''_{wa}(235+t''_{wa})}{(235+t'_{wa})(235+t''_{wa})}} \quad (14)$$

Например, при охлаждении кондиционируемого воздуха из состояния  $t'_{wa} = 28^\circ C$  и  $RH'_{wa} = 0,30$  до  $t''_{wa} = 20^\circ C$  рост  $RH_{wa}$  согласно (14) составляет от 0,30 до

$$RH''_{wa} = 0,3 \cdot 10^{7,45 \frac{28(235+20) - (235+28)}{(235+28)(235+20)}} = 0,485.$$



1-Т - при отсутствии увлажнения слоев испарительного охлаждения;  
 2-Т - при увлажнении слоев испарительного охлаждения; t - время суток, час  
 3-РН - при увлажнении слоев испарительного охлаждения; 4-РН - без  
 увлажнения слоев испарительного охлаждения

**Рис. 17. Колебания температуры и влажности воздуха в системе испарительного охлаждения в теплице.**

Важное значение с точки зрения энергосбережения в системах кондиционирования воздуха имеет определение значения точки росы при заданных значениях  $t_o$  и  $RH_o$ .

Аналогично предыдущему примеру запишем выражение для ненасыщенного ( $t_o$ ,  $RH_o$ ) и насыщенного ( $t_h$  и  $RH=1$ ) состояния влажного воздуха, т.е.

$$d_o = 0,622 \left[ \frac{P_\delta}{\varphi_o \cdot 4,579 \cdot 10^{\frac{745 t_o}{235 + t_o}}} - 1 \right] \quad (15)$$

$$d_h = 0,622 \left[ \frac{P_\delta}{1 \cdot 4,579 \cdot 10^{\frac{745 t_h}{235 + t_h}}} - 1 \right] \quad (16)$$

В связи с тем, что в процесс охлаждения влажного воздуха до полного насыщения ( $RH_{wa} = 1$ ) в режиме  $d = const$ , имеет место равенство  $t_{dew}$ .

В связи с этим на основании (13), (15) и (16) можем рассчитать

$$\varphi_o \cdot 10^{\frac{7,45t_o}{235+t_o}} = 10^{\frac{7,45t_p}{235+t_p}} \quad (17)$$

Аппроксимируя зависимость  $\frac{7,45t_o}{235+t_o} = f(t_h)$  в прямой в пределах изменения  $t_h$  от 8 до 20°C, получим

$$\frac{7,45t_{dew}}{235+t_{dew}} = 1,70 + 0,17 (t_{dew} - 18) \quad (18)$$

Максимальная относительная погрешность при определении  $t_{dew}$  при этом составляет 3,8%.

Подставляя (18) в (17), получим

$$RH_o \frac{7,45t_o}{235+t_o} = 1,70 + 0,17 (t_{dew} - 8)$$

или

$$t_{dew} = 5,88 RH_o 10^{\frac{7,45t_o}{235+t_o}} - 2, \quad ^\circ C \quad (19)$$

При  $t_o=30^\circ C$ ,  $RH_o=0,3^\circ C$  значение  $t_h$ , определённое значение составляет 18,1°C, а  $t_{dew}$  определённое по (19) при этом составляет 10,3°C.

Как показывают результаты сопоставления полученных таким образом данных с данными точных расчётов, относительная погрешность определения  $t_{dew}$  по аппроксимационной формуле (19) составляет не более 4%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследования выявили преимущества использования охладителей испарительного типа в тепличных хозяйствах, в результате охладители воздуха значительно экономичнее по электроэнергии обычных кондиционеров (примерно в 10 раз) и обеспечивают снижение температуры внутри теплиц в летнее время на 10÷15 °С.

2. Разработаны конструктивные изменения в существующую схему построения системы испарительного охлаждения воздуха в теплице: вентиляторы перенесены из противоположной к расположению влажных матов стены теплицы в её середину, и установлены выше на границе, охватывающих место роста растений зону I и зону II под крышей. В результате уменьшается влияние более прогретой зоны I, расположенной в верхней части под крышей теплицы, на температуру непосредственной посадки растений,

3. Рассчитаны оптимальные конструктивные параметры системы охлаждения для заданных объёмов и формы теплицы и климатических условий. В результате длина теплицы равна 6 м, массовый расход воды 0,6 л/с и высота охлаждающего влажного мата 1,75 м.

4. В результате экспериментальных исследований в системе испарительного охлаждения воздуха в теплице установлено, что удельная мощность, подводимая к вентилятору в предлагаемом техническом решении вентиляционного устройства, снижается с 0,52 до 0,2 кВт/(м<sup>3</sup>/с).

5. Установлено, что для разработанной системы испарительного охлаждения воздуха в теплице значение тепловой эффективности испарительного охладителя воды равно 0,79. В результате в процессе работы системы испарительного охлаждения воздуха удалось достичь оптимальных при выращивании роз в теплице значений температуры (до 27<sup>0</sup>С) и относительной влажности (порядка 70%).

6. Внедрение выполнено в ООО “Sherobod sabzavot” Сурхандарьинской области. В результате за счёт экономии электроэнергии ожидаемая экономическая эффективность составит 117 956 000 сумов.

**SCIENTIFIC COUNCIL TO AWARDING OF THE SCIENTIFIC  
DEGREES DSc.03/30.12.2019.T.10.01 AT THE “TASHKENT INSTITUTE  
OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL MECHANIZATION  
ENGINEERS” NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY**

---

**“TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL  
MECHANIZATION ENGINEERS” NATIONAL RESEARCH  
UNIVERSITY**

**VAKHIDOV UMIDJON FAKHRIDDINOVICH**

**INCREASING EFFICIENCY THE INSTALLATION OF EVAPORATIVE  
COOLING AIR IN GREENHOUSES**

**05.05.07 – “Electrotechnologies and electrical equipment in agriculture”**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR (PhD)  
ON PHILOSOFY**

**Tashkent – 2026**

**The topic of the dissertation of the Doktor of philosophy (PhD) in technical Attestation Commission the Ministry of Education, science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2024.3.PhD/T4909**

The dissertation has been prepared at National Research University "Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers"

The abstract of dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed the website of the Scientific Council ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz)) and at the Information and educational portal «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific chief:**

**Anarbaev Anvar Izatullaevich**  
DSc, senior researcher

**Official opponents:**

**Mukhammadiyev Ashiraf Mukhammadiyevich**  
Doctor of technical science, professor

**Mukhtorov Farrukh Khandamovich**  
PhD, associate professor

**Leading organization:**

**Karshi State Technical University**

Defense of the dissertation will take place in «25» June 2026 at 14<sup>00</sup> o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019. T.10.01 at the National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" (at the address: 39, Kari Niyazi Street, Tashkent, 100000. Tel: (+99871) 237-09-45; Fax: (+99871) 237-38-79, email: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

The dissertation is available at the Information-resource center of the "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University (registration number 414). Address: 39, Kari Niyazi Street, Tashkent city, 100000. Tel: (+99871) 237-09-45; Fax: (+99871) 237-38-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz).

Abstract of the dissertation is posted 15 June 2026.

(Mailing Protocol No 111 dated 15 June 2026)



**B.S.Mirzaev**

Chairman of Scientific Council awarding Scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

**U.T.Kuziev**

Scientific secretary of Scientific Council awarding scientific degrees, PhD, dosent.

**D.B.Kodirov**

Chairman of Scientific seminar under the Scientific Council awarding scientific degrees, DSc, professor

3 4

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The purpose of the research is to** development of an effective умфзщкфешмy air conditioning system with a reduction of electrical energy consumption based on evaporative air-cooling systems in greenhouses for the required microclimate parameters for high-quality cultivation of roses.

**The object of research is** ventilation electrical installations of evaporative air-cooling systems to increase the efficiency of the microclimate in greenhouses for growing flowers.

**The scientific novelty of the research is as follows:**

- based on the identified factors influencing the efficiency of evaporative air cooling systems, energy-saving technical solutions were developed;
- to improve the efficiency of the microclimate and heat and mass transfer processes in greenhouses, a mathematical model based on differential numerical methods was developed, which expresses the dependence on the parameters of the electrical equipment of the evaporative air cooling system;
- the mathematical model for thermal calculation of parameters for the design of fan electrical equipment for high-efficiency evaporative air-cooling systems in greenhouses has been developed;
- based on the results of experimental studies in greenhouses, rational parameters of the evaporative air-cooling system were determined.

**Implementation of the research results.** Based on the results of studies to substantiate the parameters and operating modes of an installation of evaporative cooling systems for creating microclimate in greenhouses in summer period:

implementation of an installation of evaporative cooling systems to improve the efficiency of the microclimate in greenhouses in “Sherobod sabzavot” LLC, Sherabad district, (certificate of the Department of Agriculture of the Surkhandaryo region №01-05/07-351 dated April 9, 2023). As a result of the developed installations by reducing the consumption of electricity, the expected economic effect will be 117 956 000 soums (certificate of the Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan №05/01-05/02-05/04-04-150 dated April 19, 2023).

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of introduction, four chapters, conclusion, list of references, published works and appendices. The volume of the dissertation is 112 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (I часть, I part)**

1. Vakhidov Umid, Anarbaev Anvar. Researches the efficiency of evaporation systems for decreasing the air's temperature in the greenhouses during summer period. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (India). Vol. 10, Issue 9, September 2023. [www.ijarset.com](http://www.ijarset.com) 21031 (05.00.00.; №8)

2. Анарбаев А.И., Вохидов У.Ф., Султанов Р.А. Исследование испарительных систем на эффективность поддержания температуры в цветоческих хозяйствах в летний период. Scientific-technical journal (ФерПИ, 2023, Т.27, спец.выпуск №10). С.95-99. (05.00.00.;№20)

3. Вохидов У., Анарбаев А., Толипов Ф. Определение рациональных параметров систем испарительного охлаждения воздуха в теплице. Научно-технический журнал “Развитие науки и технологий”. Бухоро муҳандислик-технология институти. №5. 2023 год. С.130-135. (05.00.00.;№24)

4. Вахидов У., Анарбаев А.И. Моделирование режимов работы систем испарительного охлаждения в тепличном хозяйстве // Проблемы энерго- и ресурсосбережения (спец.выпуск №85). ТГТУ. С.87-94 (05.00.00.;№5)

**II bo'lim (II часть, II part)**

1. Анарбаев А., Вохидов У., Кодиров Д., Абдуганиев Н. Определение эффективности установки испарительного охлаждения воздуха в теплице по температурно-влажностному режиму. Agroiqtisodiyot ilmiy – amaliy agroiktisodiy jurnal (Махсус сон). 2020. С. 202-207

2. Ismailova Z. M., Anarbaev A. I., Vaxidov U. F. Issiqxonada haroratnamlik rejimini boshqarish // Texnika fanlarining dolzarb masalalari. 2025. №9 (3). 37-41 b.

3. Вохидов У., Анарбаев А., Толипов Ф. Управление температурно-влажностным режимом теплицы в летний период в системах испарительного охлаждения воздуха. Сборник статей международной научно-практической конференции “Экологическая, промышленная и энергобезопасность – 2023”. ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет». Севастополь (Россия), 18–21 сентября 2023 г. С.15-20.

4. Вохидов У., Анарбаев А. Моделирование системы испарительного охлаждения в теплице с контролируемой средой. Материалы международной научно- практической конференции “Энергетика: состояние и перспективы развития”. Таджикский технический университет. 20 декабря 2023 года. С.377-385.

5. Anarbaev A., Tursunov O., Zakhidov R., Kodirov D., Vakhidov U., Bozorov E., Tuhtaeva G., and Babaev A.. Determination the installation efficiency of the evaporative air cooling in the greenhouse by temperature-moisture regime. 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering. TIIAME.14-16 October 2020. Scopus

6. Anarbaev A., Zakhidov R., Tursunov O., Kodirov D., Vakhidov U., Khaliknazarov U., Yusupov Z., and Kushev A. Using of evaporative cooling systems in poultry farms. 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering. TIIAME.14-16 October 2020. Scopus

7. Voxidov U.F. Issiq iqlim sharoitida issiqxonalarda gul ekinlarini etishtirishda mikroiqlimni yaratish. “Qishloq va suv xo‘jaliginng zamonaviy muammolari” mavzusidagi an’anaviy XXIV - yosh olimlar, magistrantlar va iqtidorli talabalarning ilmiy-amaliy anjumani. TIQXMMI MTU. Toshkent. 28.05.2025. 490-495 b.

8. Voxidov U.F. Issiqxonada bug‘latib sovutish tizimida eksperimental tadqiqotlar. “Qishloq va suv xo‘jaliginng zamonaviy muammolari” mavzusidagi an’anaviy XXIV - yosh olimlar, magistrantlar va iqtidorli talabalarning ilmiy-amaliy anjumaning maqolalar tuplami. TIQXMMI MTU.Toshkent. 28.05.2025.495-499 b.

9. Анарбаев А.И., Вахидов У.Ф. Иссиқхона ичида ёз мавсумда ҳавони буғлатиб соvuтиш қурилманинг технологик параметрларни моделлаштириш иссиқлик усул асосида ҳисоблаш // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги “Интеллектуал мулк маркази” давлат муассасаси № DGU 38011, рўйхатдан ўтказилган сана 16.05.2024 й.

Автореферат «Bosh Turon» МЧЖ нашриётида таҳрирдан ўтказилди ва унинг  
ўзбек, рус, инглиз (тезис) тилларидаги матнлари мослиги текширилди  
(09.06.2026 й.)

Босмага рухсат этилди: 11.06.2026 йил  
Бичими 60x84 1/16, «Times New Roman»  
Гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табоғи 3,2. Адади: 60. Буюртма: № 78.  
“Bosh Turon” МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.  
Тошкент ш., Олмазор, Нодира кўчаси, 19-уй