

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

ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК-ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ

ЯХШИБОВ ШУХРАТБЕК КОМИЛОВИЧ

ЕР ОСТИ МЕВА-САБЗАВОТ ОМБОРЛАРИДА ТАБИИЙ
СОВУҚЛИКНИ АККУМУЛЯЦИЯЛАШНИНГ ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОР ТИЗИМИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

05.05.04 – Саноат иссиқлик энергетикаси

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**
**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) of technical
sciences**

Яхшибоев Шухратбек Комилович

Ер ости мева-сабзавот омборларида табиий совуқликни аккумуляциялашнинг
энергия самарадор тизимини ишлаб чиқиш.....3

Яхшибоев Шухратбек Камилевич

Разработка энергоэффективной системы аккумуляирования естественного
холода в подземных плодовоовощехранилищах.....23

Yahshiboev Shukhratbek Kamilovich

Development of an energy-efficient system for accumulating natural cold in
underground fruit and vegetable storages.....43

Эълон қилинган ишлар рўйхати

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

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

ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК-ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ

ЯХШИБОЕВ ШУХРАТБЕК КОМИЛОВИЧ

**ЕР ОСТИ МЕВА-САБЗАВОТ ОМБОРЛАРИДА ТАБИИЙ
СОВУҚЛИКНИ АККУМУЛЯЦИЯЛАШНИНГ ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОР ТИЗИМИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

05.05.04 – Саноат иссиқлик энергетикаси

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

Қарши – 2022

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори(PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.1.PhD/T1016. рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация иши Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институтида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Узоқов Ғулом Норбоевич

техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Мирзаев Шавкат Мустақимович

техника фанлари доктори, профессор

Вардияшвили Афандил Асқарович

техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Энергетика муаммолари институти

Диссертация ҳимояси Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти ҳузуридаги PhD.03/30.09.2020.T.111.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «__» _____ соат____даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 180100, Қарши шаҳри, Мустақиллик кўчаси, 225 уй. Қарши муҳандислик- иқтисодиёт институти конференциялар зали. Тел.: (99875) 224-13-95, факс: (99875) 224-13-95 e-mail: kiei_info@edu.uz).

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

Диссертация автореферати 2022 йил «__» _____ кунни тарқатилди.
(2022 йил«__» _____ даги №__ рақамли реестр баённомаси).

Б.Э. Хайридинов

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш раиси, техника фанлари доктори, профессор

Х.А. Давлонов

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари бўйича фалсафа доктори, доцент

Б.Уришев

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори(PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Жаҳонда мева-сабзавот омборларининг энергия самарадорлигини ошириш, уларнинг иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларида анъанавий ёқилғи-энергия ресурслари сарфини камайтириш ва атроф-муҳитга чиқадиган зарарли газлар миқдорини қисқартиришга алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда мева-сабзавот омборлари ва совутиладиган иншоотларнинг совуқлик таъминоти тизимларида дунёда умумий ишлаб чиқариладиган электр энергиянинг 20 фоизга яқини истеъмол қилинади¹. Мева-сабзавот омборларининг совутиш тизимларида қўлланиладиган буғ-компрессорли совутиш қурилмаларида 2,5-3,5 кВт совуқлик қувватини олиш учун 1 кВт электр энергияси сарфланади². Шу сабабли, мева-сабзавот омборларининг совуқлик таъминоти тизимларида ташқи ҳавонинг қайта тикланадиган табиий совуқлигини аккумуляциялаш ва энергия тежайдиган совутиш усулларидан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда совутиш қурилмаларини такомиллаштириш, бино ва иншоотларнинг иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларининг энергия самарадорлигини ошириш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш асосида совутиш тизимининг энергия сарфини камайтириш усулларини ишлаб чиқиш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, табиий совуқликдан фойдаланиш асосида мева-сабзавот омборларининг ҳарорат-намлик режимини мақбул даражада таъминлаш, қайта тикланадиган табиий совуқликни аккумуляция қилиш ва нобарқарор ҳарорат режимида табиий совуқликдан фойдаланиш тизимини самарадорлигини ошириш бўйича тадқиқотлар устувор ҳисобланади. Шу билан бирга ҳудуднинг табиий совуқлик манбаларидан фойдаланиш асосида ер ости мева-сабзавот омборларининг совуқлик аккумуляторли энергия самарадор совутиш тизимларини ишлаб чиқиш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Республикамизда мева-сабзавот омборларида энергия тежамкор технологияларни жорий этиш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш асосида энергия самарадор совутиш тизимларини ишлаб чиқиш ва анъанавий ёқилғи-энергия ресурсларини тежаш бўйича кенг кўламли чоратадбирлар амалга оширилмоқда. Янги Ўзбекистоннинг 2022-2026 йилларга мўлжалланган тараққиёт стратегиясида ".....бино ва иншоотларнинг энергия самарадорлигини ошириш, иқтисодиёт тармоқларида қайта тикланувчи энергия манбаларини кенг жорий этиш, атмосферага чиқадиган зарарли газлар миқдорини камайтириш....."³ бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Шунинг учун мазкур вазифаларни амалга оширишда табиий

¹ Цой Д.А. Анализ эффективности холодильных систем с радиационным охлаждением в зависимости от климатических условий// Автореферат дис.на соискание ученой степени к.т.н., Москва, 2020.-26 с.

² Зейгарник Ю. А., Попель О. С., Низовский В.Л., Низовский Л.В. Сезонное аккумулялирование природного холода// Ползуновский вестник № 4 2012. С.-190-195.

³ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон "2022-2026 йилларда янги Ўзбекистонни тараққиёт стратегияси тўғрисида"ги Фармони.

совуқликдан фойдаланиб мева-сабзавот омборларининг совуқлик таъминоти тизимларини энергия самарадорлигини ошириш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги "2022-2026 йилларда Янги Ўзбекистонни тараққиёт стратегияси тўғрисида"ги ПФ-60-сон Фармони, 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422 "Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида" ва 2020 йил 10 июлдаги ПҚ-4779 "Иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш орқали иқтисодиёт тармоқларининг ёқилғи-энергетика маҳсулотларига қарамлигини камайтиришга доир кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида"ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меърий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларга мослиги. Диссертация иши бўйича тадқиқотлар фан ва технологиялар ривожланишининг II. "Энергетика, энергия ва ресурсларни тежаш" устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Мева-сабзавот маҳсулотларини сақлаш учун табиий совуқликни аккумуляциялаш тизимидан фойдаланиш муаммолари «Delaval» (Швеция), «Dorin», «GEA Farm technologies» Butzer (Германия), «Frigomilk» (Италия), «Coneland» (Франция), Халқаро совуқлик академияси (ХСА), ФГБНУ ОИВТ РАН, «Энергетические проекты» ЁАЖ, «Ростовтеплоэлектропроект», «Промхолод», ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ» (Россия) каби илмий марказларда ўрганилган.

Табиий совуқликни аккумуляция қилиш ва мева-сабзавот омборларида табиий совуқликдан фойдаланиш асосида энергия тежамкор совутиш технологияларни ишлаб чиқиш бўйича илмий тадқиқотларни ривожлантиришда дунёда таниқли олимлар М.Кобуяма, К.Онајима, Е.Л.Морofsky, О.С.Попель, С.Е.Фрид, Ю.А. Зейгарник, В.Л.Низовский, А.С.Курилько, Ю.А.Хохолов, А.С.Штым, Е.В. Тарасова ва бошқалар катта ҳисса қўшишган. Республикамизда иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимлари учун энергия тежамкор технологияларни ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар Р.А.Зоҳидов, Р.Р.Авезов, А.Б.Вардияшвили, Ғ.Н.Узоқов, Ш.М.Мирзаев, Н.О.Усманов ва бошқа ўзбек олимлари томонидан олиб борилган.

Хорижий мамлакатларда (АҚШ, Япония, Швеция, Канада, Россия ва б.к.) мева-сабзавот маҳсулотларини совутиш ва сақлаш учун табиий совуқликни аккумуляциялаш тизимларининг амалда кенг қўлланилишига қарамасдан, ер ости мева-сабзавот омборларида табиий совуқлик аккумуляторлари ёрдамида энергия сарфини камайтириш, тупроқ массивида ностационар иссиқлик алмашинувини тадқиқот қилиш асосида табиий совуқлик аккумуляторларининг энергия тежамкор режимларини ишлаб чиқиш ва атмосфера ҳавосини қайта тикладиган табиий совуқлиги

потенциалини ҳисобга олиб, иссиқлик насослари ва табиий совуқликни аккумуляциялаш қурилмаларидан фойдаланиш самарадорлигини техник-иқтисодий баҳолаш бўйича етарлича тадқиқотлар олиб борилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим ёки илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлар режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институтининг илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ, ИТД-4-06 “Қайта тикланадиган энергия манбалари асосида совутиш камераларининг энергия тежамкор ёпиқ энергия таъминоти ва вентиляция тизимини ишлаб чиқиш”(2012-2014 й.й) мавзусидаги давлат илмий-техникавий дастурининг амалий лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ер ости мева-сабзавот омборларида ностационар иссиқлик алмашинувини тадқиқот қилиш асосида табиий совуқликни аккумуляция қилиш тизимини ишлаб чиқиш ва иссиқлик-техник параметрларини асослашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

табиий совуқликни аккумуляциялаш режимида ер ости мева-сабзавот омборларининг тупроқ массивида ностационар иссиқлик алмашинуви жараёнларини моделлаштириш ва тадқиқот қилиш;

табиий совуқлик тупроқ аккумулятори ер ости мева-сабзавот омборининг иссиқлик балансини математик моделини ишлаб чиқиш;

табиий совуқлик тупроқ аккумулятори тажриба қурилмасини ишлаб чиқиш ва ҳарорат режимини тадқиқот қилиш;

табиий совуқлик тупроқ аккумулятори асосида ер ости мева-сабзавот омборлари совуқлик таъминоти тизимининг энергия самарадор технологик схемасини ишлаб чиқиш;

табиий совуқлик тупроқ аккумулятори ва иссиқлик насосли қурилма асосида ер ости мева-сабзавот омборларининг комбинациялашган энергия тежамкор совуқлик таъминоти тизимини ишлаб чиқиш ва энергия самарадорлигини асослаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ер ости мева-сабзавот омборларида табиий совуқликни аккумуляция қилиш тизими ва иссиқлик-техник қурилмалари қабул қилинган.

Тадқиқотнинг предмети табиий совуқлик аккумуляторида содир бўладиган иссиқлик алмашинуви жараёнлари, табиий совуқлик тупроқ аккумулятори, табиий совуқликни тупроқ массивида аккумуляция қилишни характерлайдиган иссиқлик-техник параметрлар ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот ишида иссиқлик алмашинуви қонунлари асосида совутиш жараёнларини математик моделлаштириш ва сонли ечиш усуллари, MATLAB дастури ёрдамида компьютерли моделлаштириш, ўхшашлик ва ўлчамликлар назарияси, совутиш жараёнларини тажрибавий тадқиқот қилиш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ер ости мева-сабзавот омборининг тупроқ массивида жойлаштирилган табиий совуқлик аккумулятори қувури сиртидан исталган масофада ва вақт

ичида тупроқ ҳарорати ўзгаришини ҳисоблаш имконини берадиган ностационар иссиқлик алмашинуви жараёнининг математик модели ва аккумулятор қувурининг иссиқлик бериш коэффициентини ҳисоблаш дастури ишлаб чиқилган;

совутиш камераси ҳавоси ва тупроқ массиви орасидаги иссиқлик алмашинувининг физик параметрлари ва ностационар ҳарорат режимини ҳисобга олиб, совуқ ҳаво сарфи ва совутиш давомийлигига боғлиқ равишда табиий совуқлик аккумуляторли ер ости мева-сабзавот омбори ички ҳавоси ҳароратининг ўзгаришини аниқлаш имконини берадиган иссиқлик балансининг математик модели ишлаб чиқилган;

қайта тикланадиган ташқи ҳаво табиий совуқлигини ер ости мева-сабзавот омборининг тупроқ массивида аккумуляциялаш ва ундан маҳсулотларни совутишда фойдаланишни таъминлайдиган табиий совуқлик тупроқ аккумуляторли такомиллаштирилган иссиқлик-техник қурилма ишлаб чиқилган;

ер ости мева-сабзавот омборининг актив вентиляция тизими билан комбинациялашган, бир вақтда совутиш ва вентиляция вазифасини бажариш имконини берадиган табиий совуқлик тупроқ аккумуляторли энергия самарадор совуқлик таъминоти тизимининг такомиллаштирилган технологик схемаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

мева-сабзавот маҳсулотларини сақлашда энергия сарфини камайтириш имконини берадиган ер ости мева-сабзавот омборининг совутиш тизими учун табиий совуқлик аккумуляторли қурилма ишлаб чиқилган;

совутиш тизимларида муҳандислик қурилмаларидан самарали фойдаланиш имконини берадиган, табиий совуқлик тупроқ аккумуляторларида кондуктив иссиқлик алмашинув жараёнларини ҳисоблаш методикаси ишлаб чиқилган;

табиий совуқлик тупроқ аккумуляторли ер ости мева-сабзавот омборини оқилона лойиҳалаштириш ҳамда табиий совуқлик тупроқ аккумулятори қувурларида ҳарорат режими ва иссиқлик алмашинуви жараёнларини ҳисоблаш учун алгоритмлар ва компьютер дастурлари таклиф этилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги математик моделлаштириш, замонавий тадқиқот усулларида фойдаланиш асосида олинган натижалар билан асосланади, математик физика, иссиқлик алмашинуви назарияси, иссиқлик-техник тажрибаларни ўтказиш ва натижаларни қайта ишлашнинг умум эътироф этилган усуллари қўлланилганлиги ҳамда ишлаб чиқариш тажриба натижалари, бир хил шароитларда ҳисобий ва тажриба натижаларини мос келиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ер ости мева-сабзавот омборларида табиий совуқликни аккумуляциялаш ва совутиш тизимларида энергия сарфини камайтирувчи омилларни ҳисобга олган ҳолда, энергия самарадор совутиш

режими ва уларни ҳисоблаш алгоритми, табиий совуқлик тупроқ аккумуляторининг иссиқлик бериш коэффициентини аниқлайдиган, тупроқ массиви ва ҳаво ўртасидаги иссиқлик алмашинувини ҳисоблаш имконини берадиган математик моделлар ишлаб чиқилганлиги билан ифодаланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти қайта тикланадиган ташқи ҳаво табиий совуқлигидан фойдаланишга асосланган табиий совуқликни аккумуляциялаш тизимини ишлаб чиқишдан иборат бўлиб, ишлаб чиқилган тизим мева-сабзавот маҳсулотларини сақлаш жараёнларида энергия сарфини камайтиришга имкон бериши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ер ости мева-сабзавот омборларининг автоном совуқлик таъминоти тизимлари учун энергия самарадор табиий совуқликни аккумуляциялаш тизимларини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

ер ости мева-сабзавот омборларининг совуқлик таъминоти тизимлари учун табиий совуқлик тупроқ аккумулятори қурилмаси Қашқадарё вилоятининг "Боғизар Варганза" МЧЖда жорий қилинган (Қишлоқ хўжалиги вазирлигининг 2022 йил 19 февралдаги №07/35-04/585-сон маълумотномаси). Натижада, сизими 500 тонна бўлган мева-сабзавот омборларида маҳсулотларни сақлаш даврида 60-68 фоизгача электр энергиясини тежалишига эришилган;

актив вентиляция тизими билан уйғунлаштирилган, табиий совуқлик тупроқ аккумуляторли ер ости мева-сабзавот омборининг энергия самарадор совуқлик таъминоти тизимининг технологик схемаси Қарши шаҳридаги "Shahnur freezer industry" МЧЖда жорий қилинган (Қишлоқ хўжалиги вазирлигининг 2022 йил 19 февралдаги №07/35-04/585-сон маълумотномаси). Натижада, анъанавий совутиш тизимларига нисбатан маҳсулотларни сақлаш даврида 315,6 млн сўмлик иқтисодий самарадорликка эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 15 та илмий-амалий анжуманларда, шу жумладан, 5 та халқаро ва 10 та республика илмий анжуманларида апробациядан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 24 та илмий ишлар чоп этилган бўлиб, шу жумладан, 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия қилинган 1 та халқаро ва 4 та республика журналларида илмий мақолалар нашр қилинган ҳамда ЭҲМ учун 3 та дастурий маҳсулотга муаллифлик гувоҳномаси олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 120 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган ҳамда республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги аниқланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиниши, ишнинг апробацияси, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **"Ер ости мева-сабзавот омборларида табиий совуқликни аккумуляциялашнинг мавжуд тизимлари таҳлили"** деб номланган биринчи бобда мева-сабзавот омборларини совутиш қурилмалари, табиий совуқликни аккумуляциялаш ва улардан фойдаланиш усуллари, шунингдек, буғ-компрессорли совутиш қурилмалари анъанавий совутиш тизимларининг таҳлили келтирилган. Таҳлил натижалари шуни кўрсатадики, эришилган муҳим натижаларга қарамасдан, ер ости мева-сабзавот омборларида табиий совуқлик манбаларидан самарали фойдаланиш, совутиш жараёнларида энергия сарфини камайтириш масалалари етарлича тадқиқот қилинмаган ва кескин континентал иқлим шароитида ташқи ҳавонинг табиий совуқлигини ҳисобга олган ҳолда аккумуляциялаш, қайта тикланадиган ташқи ҳаво табиий совуқлигидан фойдаланиш имкониятлари ҳам етарли даражада кўриб чиқилмаган. Кескин континентал иқлим ва ностационар ҳарорат режими шароитида табиий совуқлик тупроқ аккумуляторларида содир бўладиган иссиқлик алмашинуви жараёнлари ҳам кам ўрганилган.

Шу сабабли, тадқиқот ишида ташқи ҳавонинг табиий совуқлигидан фойдаланиш имкониятини баҳолаш мақсадида Қарши шаҳри шароитида совуқлик индекси, қайта тикланадиган ташқи ҳаво табиий совуқлигига асосланган, мева-сабзавот маҳсулотларини совутиш учун энергия сарфини камайтириш имконини берадиган табиий совуқликни аккумуляциялаш тизимлари учун табиий совуқлик манбаларининг ресурслари аниқланди.

Ўтказилган илмий таҳлиллар асосида мева-сабзавотларни совуқлик таъминоти тизимларида энергияни тежаш соҳасидаги тадқиқотлар кўламини кенгайтириш тенденциясини ҳисобга олган ҳолда диссертация ишининг мақсади ва вазифалари шакллантирилди.

Диссертациянинг **"Табиий совуқлик тупроқ аккумуляторларида иссиқлик алмашинуви жараёнларини моделлаштириш ва тадқиқот қилиш"** деб номланган иккинчи бобда назарий тадқиқот натижалари келтирилган. Табиий совуқлик тупроқ аккумулятори (ТСТА) ёрдамида тупроқ массивини совутишда иссиқлик алмашинувининг математик модели ишлаб чиқилган, ностационар ҳарорат режими шароитида актив вентиляция тизими билан уйғунлашган ТСТАли ер ости мева-сабзавот сақлаш омбори иссиқлик балансини моделлаштириш натижалари келтирилган.

Диссертация ишида қувурли иссиқлик алмаштиргичли ташқи ҳаво табиий совуқлигини аккумуляциялаш тизимлари кўриб чиқилган. ТСТАли иссиқлик алмашинув каналлари 1-расмда кўрсатилганидек жойлаштирилганда, бошланғич ҳароратга эга бўлган муҳит билан ярим чегараланган жисмнинг иссиқлик алмашинувини ҳисоблаш учун учинчи тур чегара шартларида А. В. Лыков ечимидан фойдаланиш мумкин. Ички юзадаги текис девор билан чегараланган тупроқ массивидаги ҳарорат майдонининг математик модели, яъни ташқи ҳаво билан совутишда иссиқлик алмашинуви қуйидаги дифференциал тенглама билан ифодаланади:

$$\frac{dt(x, \tau)}{d\tau} = a \frac{d^2 t(x, \tau)}{dx^2}; \quad \tau > 0; \quad 0 < x < \infty; \quad (1)$$

$$\text{бошланғич шартлар } \tau = 0, \quad t(x, 0) = t_0 = \text{const}, \quad (2)$$

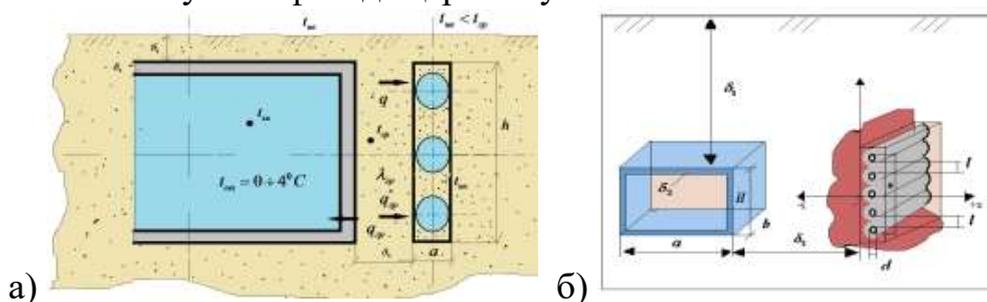
$$\text{чегара шартлари } x=0, \quad \lambda \frac{dt(0, \tau)}{dx} + \alpha [t_c - t(0, \tau)] = 0 \quad (3)$$

$$x \rightarrow \infty, \quad t(\infty, \tau) = t_0, \quad \frac{dt(\infty, \tau)}{dx} = 0. \quad (4)$$

Диссертацияда ТСТАнинг икки иш режимида ностационар иссиқлик алмашинув жараёнлари кўриб чиқилди.

1. ТСТА ишлаганда тупроқ массивини совутиш (Табиий совуқликни аккумуляциялаш режими).

1-расмда келтирилган иссиқлик алмашинуви схемасига мувофиқ қувурлар орасида жойлашган тупроқ массивининг совуқликни аккумуляциялаш имкониятларини эътиборсиз қолдириб, асосий совуқлик заҳиралари ТСТАнинг ўнг ва чап томонидаги тупроқ массивида бўлади деб ҳисобласак, (симметрик масала) у ҳолда ҳисоб схемасини ташқи ҳаво ўлчами $a \times h$ ёриқ шаклидаги канал бўйлаб ҳаракатланганда содир бўладиган учинчи тур чегара шартларида ярим чегараланган тупроқ массиви ва ҳаво ўртасидаги иссиқлик алмашинуви сифатида қараш мумкин.



1-расм. Тупроқ массивини совутишда иссиқлик алмашинувининг ҳисоб схемаси.

Ер ости каналини ташқи ҳаво билан шамоллатиш орқали текис девор атрофидаги тупроқ массивини совутиш учун, ҳарорат $t_{mx} < t_{myn}$ бўлганда (1)-(3) тенгламалар ечими ўлчамсиз ҳарорат функцияси шаклида қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\theta = \frac{t(x, \tau) - t_{mx}}{t_{myn} - t_{mx}} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right) + e^{hx+h^2a\tau} \text{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} + h\sqrt{a\tau}\right) \quad (5)$$

бу ерда, t_{mx} -ташқи ҳаво ҳарорати, $^{\circ}\text{C}$; t_{myn} -тупроқ массивининг ҳарорати, $^{\circ}\text{C}$;
 $a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}$ -тупроқнинг ҳарорат ўтказувчанлик коэффициентини, $\text{м}^2/\text{с}$; λ -
тупроқнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; c_p -
тупроқнинг иссиқлик сифими, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; ρ -тупроқ зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ -вақт,
сек; $h = \frac{a_x}{\lambda_{myn}}$ - нисбий иссиқлик алмашилиш коэффициенти.

Канал юзаси F_k бўлганда, унинг барча ички сиртида аккумуляцияланган совуқлик миқдори қуйидагича бўлади.

$$Q_c = \frac{2\sqrt{\lambda_{myn} \cdot \delta_{myn} \cdot c_{myn}}}{\sqrt{\pi}} \cdot F_k (t_{myn} - t_x) \cdot \sqrt{\tau}. \quad (6)$$

2. Кондуктив иссиқлик алмашинувида тупроқни совутиш(ТСТА зарядсизланиш режими).

Табиий совуқликни аккумуляциялашнинг актив режими ТСТАнинг ички сирти ҳарорати ташқи ҳаво ҳароратидан юқори бўлиши $t_{uc} > t_{mx}$ шарти билан амалга оширилиши мумкин. Шундай қилиб, иссиқлик алмашинуви қонунига асосан совуқликни аккумуляциялаш режими $t_{mx} \geq t_{uc}$ бўлганда тўхтайди. Яъни иссиқ мавсумда тупроқ массивида кондуктив иссиқлик алмашинуви натижасида аккумулятор ўз-ўзидан зарядсизланади.

ТСТАли ер ости каналларига иссиқлик кирмаган ҳолда, кейинги ҳарорат ўзгариши унинг иссиқлик ўтказувчанлиги ҳисобига тупроқ массивида совуқликнинг тарқалиши орқали амалга оширилади. Шу билан бирга, совуқлик захираларидан актив фойдаланишни бошлашдан олдин, кондуктив иссиқлик алмашинуви ҳисобига тупроқнинг иссиқлик ўтказувчанлиги туфайли тупроқ массиви ҳароратини ўзгариш қонунларини билиш муҳим. Ушбу масалани ҳал қилиш учун қувурли тупроқ иссиқлик алмаштиргич ички сиртида иссиқлик оқими нолга тенг деб тахмин қилиш мумкин, яъни,

$$x=0, \text{ да} \quad -\lambda_{myn} \frac{dt(x, \tau)}{dx} = 0, \quad (7)$$

Масалани ечимини соддалаштириш учун табиий совуқликни аккумуляциялаш режими тугаганидан кейин ТСТАли каналнинг девори яқинидаги тупроқ ҳароратини ўзгариш эгри чизиқларини экспоненциал функциялар апроксимация қилади, яъни

$$t(x, \tau) = t_{0,сирт.} \cdot e^{-n \cdot x} \quad (8)$$

Агар тупроқ массивида симметрик ҳарорат тақсимооти мавжуд бўлса, у ҳолда тупроқ ҳароратининг ўзгариши ушбу ифода орқали аниқланади:

$$t(x, \tau) = \begin{cases} t_{0,сирт.} e^{-nx} & x > 0 \text{ да} \\ t_{0,сирт.} e^{+nx} & x < 0 \text{ да} \end{cases} \quad (9)$$

бу ерда n -экспонента кўрсаткичи; $t_{0,сирт.}$ - ТСТА девори ички сиртини ҳарорати.

$$\rho \cdot V_x \cdot c_{px} \cdot \frac{dt_x(\tau)}{d\tau} = Q_c + Q_{вент} - Q_{оес} - Q_{эд} - Q_{мах}, \quad (14)$$

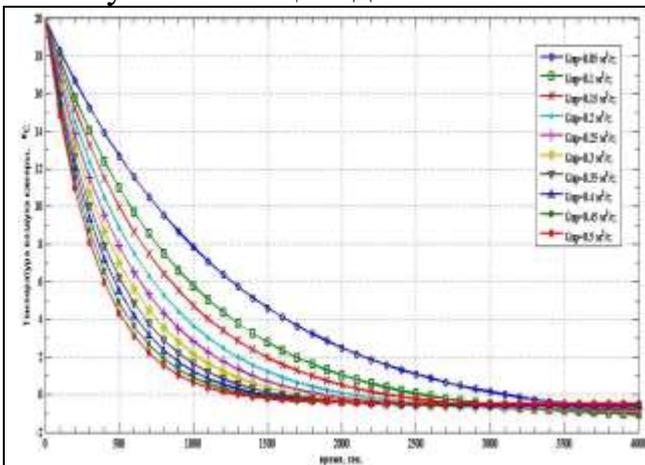
бу ерда Q_c - ташқи ҳаво орқали киритилган табиий совуқлик (энергия) миқдори, Вт, $Q_{вент}$ - вентиляция орқали чиқарилган иссиқлик, Вт, $Q_{дсв}$ - мева-сабзавот омбори деворлари орқали кирадиган иссиқлик оқими, Вт, $Q_{эд}$ - электродвигатель ишлагандаги иссиқлик оқими, Вт, $Q_{мах}$ - маҳсулотнинг нафас олиш иссиқлиги, Вт.

Қуйидаги бошланғич шартни тузамиз $\tau = 0, t_x(\tau) = t_x(0)$.

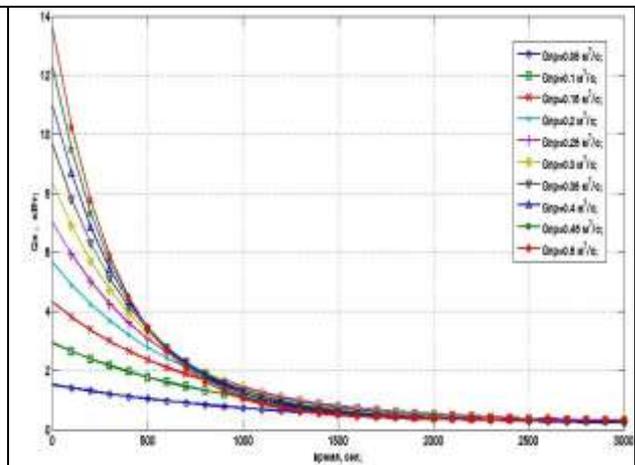
Бошланғич шартларни ҳисобга олган ҳолда, Эйлер усули ёрдамида ТСТАли мева-сабзавот омборининг иссиқлик баланси тенгламасининг ечими қуйидаги кўринишда олинди:

$$t_x(\tau) = \frac{t_x(0) - \frac{G_{mx} \cdot \rho_x \cdot c_{px} \cdot t_{mx} + G_x \cdot \rho_x \cdot c_{px} \cdot t_x + k \cdot F_{оес} \cdot t_{мн} - N_{эд} \cdot n - q_0 \cdot m_m \cdot e^{bt_x}}{G_{mx} \cdot \rho_x \cdot c_{px} + G_x \cdot \rho_x \cdot c_{px} + k \cdot F_{оес}} \left[1 - \exp\left(-\frac{G_{mx} \cdot \rho_x \cdot c_{px} + G_x \cdot \rho_x \cdot c_{px} + k \cdot F_{оес}}{\rho_x \cdot V_x \cdot c_{px}} \tau\right) \right]}{\exp\left(\frac{G_{mx} \cdot \rho_x \cdot c_{px} + G_x \cdot \rho_x \cdot c_{px} + k \cdot F_{оес}}{\rho_x \cdot V_x \cdot c_{px}} \tau\right)} \quad (15)$$

Демак, ТСТАли ер ости мева-сабзавот омбори иссиқлик балансининг умумий ечими (15) тенглама кўринишида бўлади. ТСТАли ер ости мева-сабзавот омборининг иссиқлик баланси математик моделлаштириш асосида ўтказилган ҳисоб-тадқиқотлари MATLAB/SIMULINK дастури асосида амалга оширилди. Ҳисоб-тадқиқот натижалари 3 ва 4-расмларда келтирилган. Моделлаштириш асосида ташқи ҳаво ҳарорати -3°C бўлганда сиғими 30 тонна бўлган мева-сабзавот омборининг оптимал ҳарорат режими $0 \div +4^{\circ}\text{C}$ ни таъминлаш учун зарур бўлган табиий совуқлик миқдори $Q=14-16$ кВт бўлиши аниқланди.



3-расм. Совуқ ҳаво сарфига ва вақтга боғлиқ ҳолда ТСТАли ер ости совутиш камераси ички ҳаво ҳароратининг ўзгариш графиги.



4-расм. Совуқ ҳаво сарфи ва вақтга боғлиқ ҳолда табиий совуқлик қувватини ўзгариш графиги.

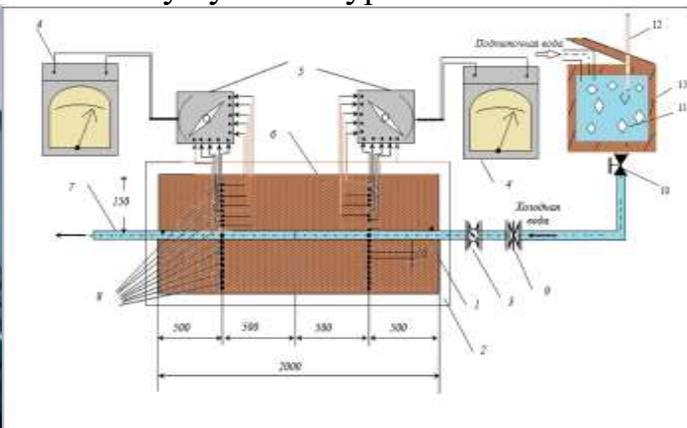
Ўтказилган назарий тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатадики, совутиш ҳавосини сарфи $G_{тх}=0,05$ м³/сек ва совутиш давомийлиги эса 3000 сек (50 мин.) бўлган ҳолда $t_{тх}=0^{\circ}\text{C}$ ҳароратли совуқ ҳаво билан таъминланганда мева-сабзавот омборидаги ҳаво ҳарорати дастлабки $t_x=20^{\circ}\text{C}$ дан аста-секин $+1^{\circ}\text{C}$ гача пасаяди (қишки нав олма учун оптимал сақлаш ҳароратигача). Совутиш

ҳавосининг сарфи $G_{\text{ТХ}}=0,05$ дан $G_{\text{ТХ}}=0,5$ м³/с гача ортиши билан совутиш давомийлиги 3 марта камаяди, яъни 1000 секундга тенглашади. Шу билан бирга, мева-сабзавот омбори ичида керакли ҳарорат режимини сақлаш учун сиғими 30 тонналик омбор учун 10-14 кВт қувватга эга табиий совуқлик керак бўлади.

Диссертациянинг “**Табиий совуқлик тупроқ аккумуляторининг физик моделини ишлаб чиқиш ва иссиқлик алмашинув жараёнларини экспериментал тадқиқот қилиш**” деб номланган учинчи бобида ТСТА экспериментал қурилманинг тавсифи, физик моделда ҳарорат режими ва иссиқлик алмашинувини экспериментал тадқиқот қилиш методикаси ва турли хил физик шароитларда ТСТАда иссиқлик алмашинуви ва ҳарорат режими бўйича тадқиқот натижалари келтирилган. Экспериментал тажриба қурилмаси ишлаб чиқилган ва 5-расмда ҳароратни ўлчаш схемаси кўрсатилган. Қурилма 1-тупроқ (қумли) аккумулятори, 2-пенопластикли термостатли яшиқдан иборат бўлиб, тупроқ массивида жойлашган совуқлик аккумулятор канали орқали иссиқлик алмашинув жараёнларини моделлаштириш учун экспериментал қурилма ўхшашлик ва ўлчамликлар назариясига мувофиқ ишлаб чиқилган. Тажриба қурилмаси тупроқ массивини моделлаштирадиган, иссиқлик изоляция қилинган яшиқдан иборат бўлиб, унинг ичидаги қумсимон тупроқда диаметри $d=20$ мм пўлат қувур жойлаштирилган, унинг атрофида терможуфтлар, кўшиб-ажратгич мосламаси, ҳароратни қайд қилиш асбоби ва сув ўлчагич ўрнатилган.



5-расм. Экспериментал қурилманинг умумий кўриниши.



6-расм. ТСТАда иссиқлик алмашинувини тадқиқот қилиш учун экспериментал қурилма.

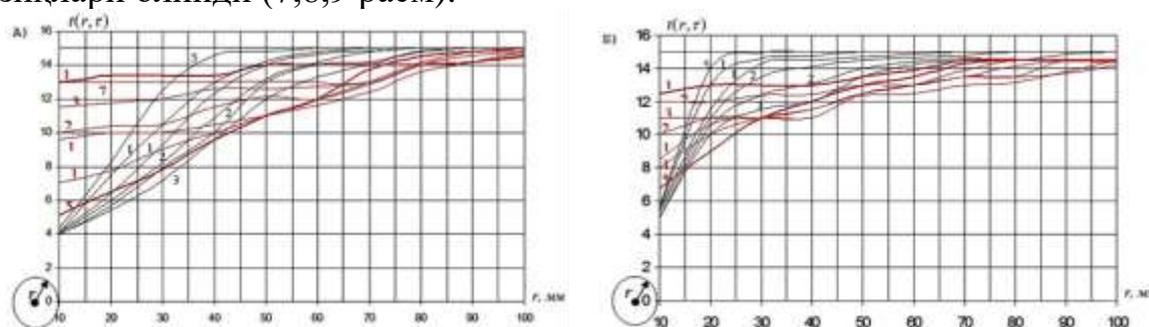
1– тупроқ аккумулятори; 2- иссиқлик изоляцияланган яшиқ, 3–сув сарфини ҳисоблагич; 4- потенциометр КСП-4; 5–10 та терможуфт занжирини алмаштиргич; 6– массив қалинлиги, моделлаштирилган тупроқ массиви; 7– пўлат қувур($d=20$ мм); 10– терможуфтлар (биринчи ва иккинчи кесим учун), 9- ростлаш вентили, 10-сув сарфини ростловчи вентил, 11-муз бўлағи, 12-назорат термометри, 13-совуқ сув учун идиш.

Иссиқлик алмашинуви жараёнларини моделлаштириш ва ўхшашлик назарияси усули ёрдамида экспериментал тадқиқотлар ўтказилди. Ер ости совуқлик аккумулятори қувурининг диаметри $d=300$ мм ва унинг физик модели учун Nu критерияси, иссиқлик бериш коэффицентининг қийматлари тажрибада аниқланди ва 1-жадвалда келтирилди.

**ТСТАнинг экспериментал қурилмасида иссиқлик алмашинувининг
тадқиқоти натижалари**

Тупроқ аккумулятори, d=300мм (ҳаво)			Физик модел D=50мм (ҳаво)			Физик модел d=20мм (сув)		
$W_1, м/с$	Nu_1	$\alpha_1, Вт / м^2 \cdot К$	$W_2, м/с$	Nu_2	$\alpha_2, Вт / м^2 \cdot К$	$W_3, м/с$	Nu_3	$\alpha_3, Вт / м^2 \cdot К$
2	103,88	8,04	0,32	103,25	47,908	0,64	103,25	2845,57
4	180,87	14,01	0,64	180,90	83,93	1,29	180,90	4985,60
6	250,18	19,38	0,97	250,73	116,338	1,94	250,73	6910,11
8	314,92	24,41	1,29	314,96	146,14	2,58	314,96	8680,29
10	376,47	29,17	1,61	376,99	174,92	3,22	376,05	10363,93

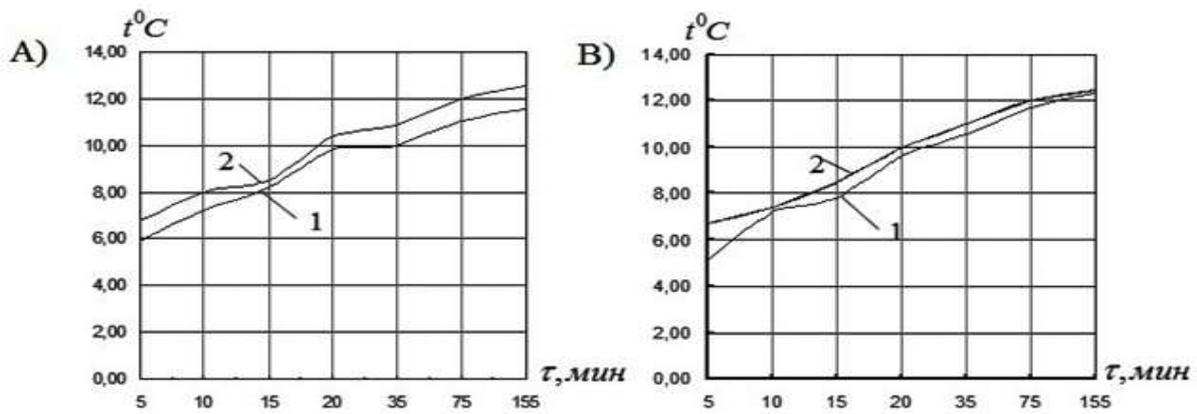
1-жадвалда келтирилган натижалар таҳлили шуни кўрсатадики, ҳақиқий қурилма (d=300 мм диаметри ер ости каналида ҳаво ҳаракатида) ва физик моделда (қумда жойлашган d=20 мм қувур орқали сув ҳаракати) иссиқлик бериш жараёнларининг ўхшашлигини куйидаги тезлик оралиғида таъминлаш мумкинлигини кўрсатади: сув учун 0,64 дан 3,22 м/с гача. Шундай қилиб, ҳақиқий объектда диаметри d=300 мм бўлган ер ости канали орқали 2,4,6,8,10 м/с тезлик, $t=0^{\circ}C$ ҳарорат билан ҳаво ҳаракатланаётганда содир бўладиган иссиқлик алмашинуви жараёнини моделлаштириш учун мос равишда физик моделда диаметри d=20 мм бўлган қувурда 0,64;1,29;1,94;2,58;3,22 м/с тезлик ва $t=0^{\circ}C \div +4^{\circ}C$ ҳарорат билан сувнинг ҳаракатини таъминлаш керак. Физик моделда ҳаво учун худди шундай иссиқлик алмашинуви жараёнлари диаметри d=50 мм бўлган қувурда 0,32дан 1,61 м/с гача тезликда таъминланиши кераклиги аниқланди. Тажрибалар сув ва ҳаво учун алоҳида физик моделда олиб борилди ва натижалар 1-жадвалда келтирилган. Тажрибаларда совуқ сувнинг ҳарорати $+4^{\circ}C$ ва тезлиги 1-жадвалда кўрсатилган ораликда ўрнатилди. Бажарилган тажрибалар натижасида 1 ва 2 режимларда қурилманинг турли ишлаш муддати учун диаметри d=20мм қувур яқинидаги тупроқ ҳароратини ўзгариши графиклари, шунингдек вақтга боғлиқ равишда қувур сирти ҳароратининг ўзгариш эгри чизиқлари олинди (7,8,9 расм).



А-биринчи кесим учун, Б-иккинчи кесим учун.

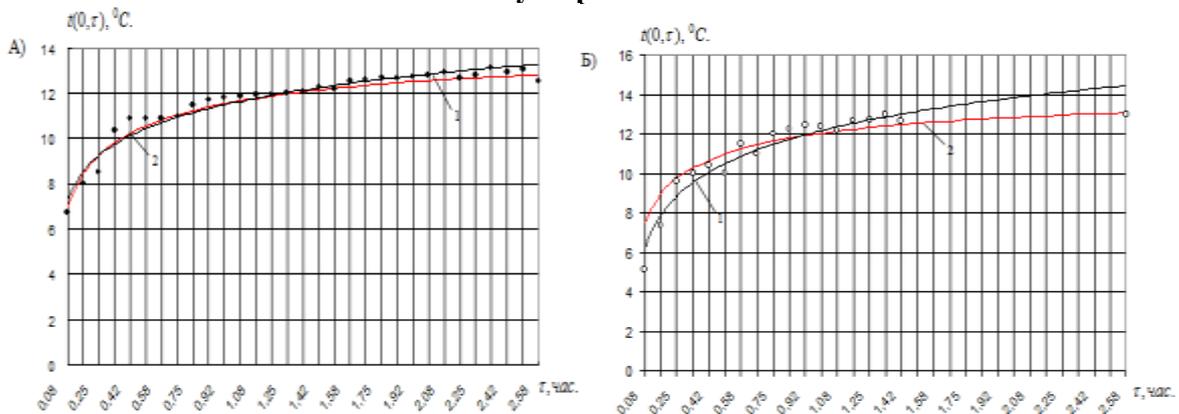
- қурилма биринчи режимда ишлаганда.
- қурилма иккинчи режимда ишлаганда.

7-расм. Диаметри d=20мм қувур яқинидаги тупроқ ҳарорат майдонининг ўзгариши. Эгри чизиқлардаги рақамлар ўлчовлар орасидаги вақт τ оралиғини кўрсатади.



1,2-биринчи ва иккинчи кесим юзасининг ҳарорати
 А-совуқликни аккумуляциялаш режими давомийлиги 5 мин. ($Fo=3$). Б-совуқликни аккумуляциялаш режими давомийлиги 30 мин. ($Fo=10$).

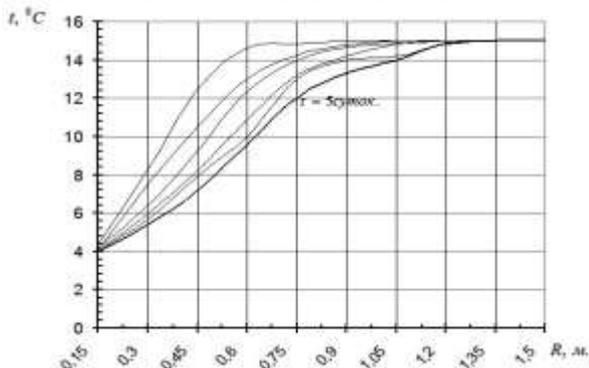
8-расм. Кондуктив иссиқлик алмашинув ҳисобига қувур сирти ҳароратининг ўзгариши.



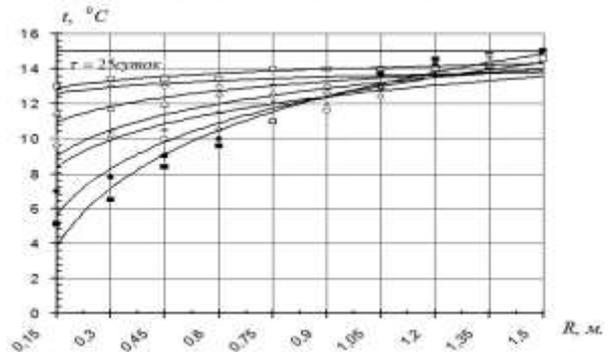
А) - $Fo=3$, Б) – $Fo=10$. 1 – эксперимент натижалари. 2 – ҳисоб натижалари.

9-расм. Қувур сирти ҳароратининг ўзгариш графиги.

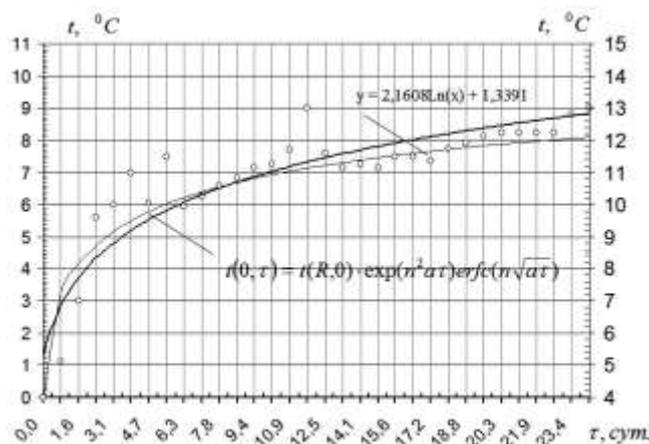
Физик моделда ҳақиқий объект учун соғутиш ва тўпланган совуқликни сақлаш режимларида кондуктив иссиқлик алмашинуви туфайли соғутилган тупроқ ҳароратининг ўзгариши графикалари 10 ва 11- расмларда келтирилган. 12-расмда кондуктив иссиқлик алмашинуви натижасида диаметри $d=300$ мм қувур сиртида ҳарорат ўзгаришини ифодаловчи графикалар келтирилди.



10-расм. Диаметри $d=300$ мм қувур яқинидаги тупроқ ҳароратининг ўзгариши графиги (соғутиш режими).



11-расм. Диаметри $d=300$ мм қувур яқинидаги тупроқ ҳароратининг ўзгариши графиги (сақлаш режими).

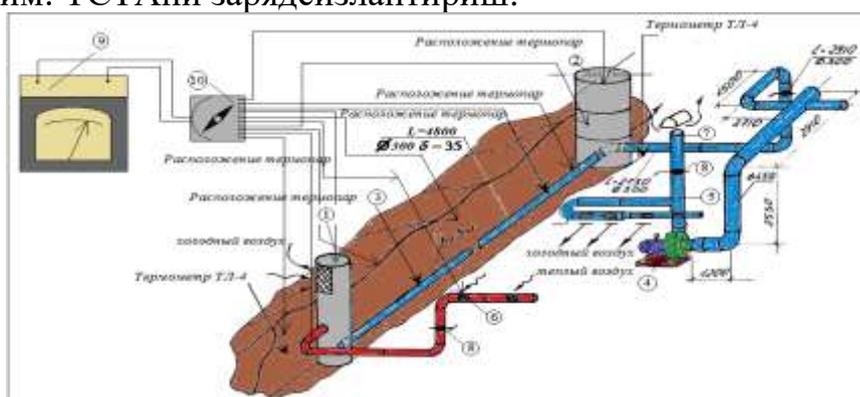


12-расм. Кондуктив иссиқлик алмашинуви ҳисобига диаметри $d=300\text{мм}$ қувур девори сиртидаги ҳароратнинг ўзгариши.

Олинган тадқиқот натижаларининг таҳлили шуни кўрсатадики, тажриба ва ҳисоб натижалари ўртасидаги тафовут 7-10% ни ташкил этади. Шундай қилиб, диссертацияда олинган аналитик боғлиқликларни ТСТАни муҳандислик ҳисоблари учун тавсия этиш мумкин.

Диссертациянинг “Иссиқлик насосли қурилмалар ва табиий совуқлик аккумулятори асосидаги мева-сабзавот омборларининг муқобил энергия тежамкор совуқлик таъминоти тизимининг самарадорлиги” деб номланган тўртинчи бобида ТСТАли мева-сабзавот омборларининг ҳарорат режими, иссиқлик-техник тавсифлари, техник-иктисодий кўрсаткичлари, энергия тежамкор совуқлик таъминоти тизимини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқот натижалари келтирилган (13-расм). Ишлаб чиқилган ТСТАли муқобил энергия тежамкор совуқлик таъминоти тизими (МЭСТТ) қуйидаги учта иш режимида ишлайди:

- 1-режим: табиий совуқликни аккумуляциялаш (ТСТАни зарядлаш);
- 2-режим: совуқликни сақлаш режими (совуқликни захиралаш);
- 3-режим: ТСТАни зарядсизлантириш.

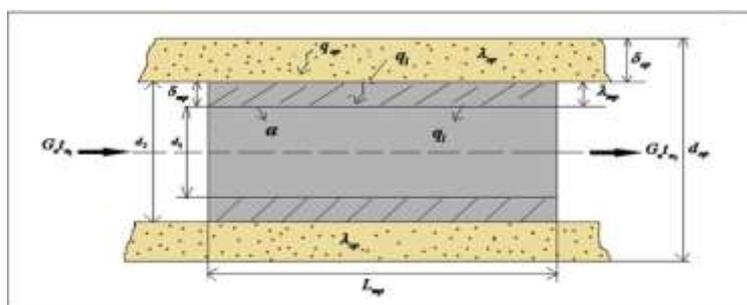


1-вертикал ҳаво сўриш коллектори; 2-совуқ ҳаво тўплаш коллектори; 3-табиий совуқлик тупроқ аккумуляторнинг иссиқлик алмашинуви қувури; 4-марказдан қочма вентилятор 90ЦС240; 5- вентиляция режими қувури, 6-иссиқликни олиб ташлаш қувури; 7-чиқариш қувури; 8-вентил; 9- КСП-4; 10-терможуфт занжирини алмаштиргич.

13-расм. Ер ости мева-сабзавот омборининг ТСТАли энергия тежамкор совутиш таъминоти тизимининг технологик схемаси.

Қурилма биринчи режимда ишлаганда ташқи совуқ ҳаво ҳарорати мева-сабзавот омборининг тупроқ ҳароратидан паст бўлганда, марказдан қочма вентилятор 4, вертикал ҳаво йиғиш коллектори 1 орқали сўриб олинади, кейин ташқи совуқ ҳаво ТСТА қувури 3 орқали ўтади ва ташқи ҳаво табиий совуқлиги узунлиги $l=48$ м бўлган қувур атрофидаги тупроқ массивида тўпланади, сўнгра ҳаво актив вентиляция тизими орқали атмосферага чиқариб юборилади. Иккинчи режимда вентилятор 4 ўчирилади ва 1 ва 2 вертикал ҳаво йиғиш коллекторлари ёпилади. Аммо ушбу режимда, агар керак бўлса, камеранинг ички ҳавоси ҳароратининг ўзгаришига қараб, иссиқлик насосли қурилма (ИНҚ) совутиш режимда ишлайди.

ТСТАни зарядсизлантириш режимда (3-режим) 1 ва 2 вертикал ҳаво йиғиш коллекторлари ёпиқ ҳолатда бўлади, камерадаги ички ҳаво ТСТА 3 га ҳаво канали орқали киради ва совутилган ҳаво совутиш камерасига қайта киритилади. Қурилманинг ҳисоб схемаси бўйича иссиқлик баланс тенгламаси тузилди ва ТСТАда ҳарорат режими тадқиқот қилинди(14-расм).



14-расм. ТСТА иссиқлик балансининг ҳисоб схемаси.

$$dQ = G_x c_x \rho_x (t_{x2} - t_{x1}) d\tau \quad (16)$$

$$dQ = k_l \pi \Delta t_{\text{ўпм}} d\tau \quad (17)$$

$$dQ = m_{\text{мын}} c_{\text{мын}} (t_{\text{мын}} - t'_{\text{мын}}) \quad (18)$$

$$\Delta t_{\text{ўпм}} = \frac{t_{x2} - t_{x1}}{\ln \frac{t_{x2} - t_{\text{мын}}}{t_{x1} - t_{\text{мын}}}} \quad (19)$$

(16) ва (17) тенгламаларни тенглаштириб, қуйидагиларни оламиз:

$$k_l \pi l \frac{t_{x2} - t_{x1}}{\ln \frac{t_{x2} - t_{\text{мын}}}{t_{x1} - t_{\text{мын}}}} = G_x c_x \rho_x (t_{x2} - t_{x1}), \quad (20)$$

(16)-(18) тенгламаларда қуйидаги кўрсаткичлар қабул қилинган: Q - тупроқ массивини совутиш пайтида ҳаво билан олинган иссиқлик қуввати миқдори, кВт; l - ТСТА қувурининг узунлиги, м; k_l - чизиқли иссиқлик узатиш коэффициентини, Вт/м·К; τ - вақт, с; $m_{\text{мын}}$ - ТСТА қувурига туташган тупроқ массивининг массаси, кг; $c_{\text{мын}}$ - тупроқнинг иссиқлик сифими, $\frac{\text{кЖ}}{(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})}$; $t_{\text{мын}}$ - тупроқнинг бошланғич ҳарорати, $^\circ\text{С}$.

(20) - тенгламадан қуйидагини оламиз

$$t_{x2} = t_{\text{мын}} + (t_{x1} - t_{\text{мын}}) \exp\left(-\frac{k_l \pi}{G_x c_x \rho_x} l\right), \quad (21)$$

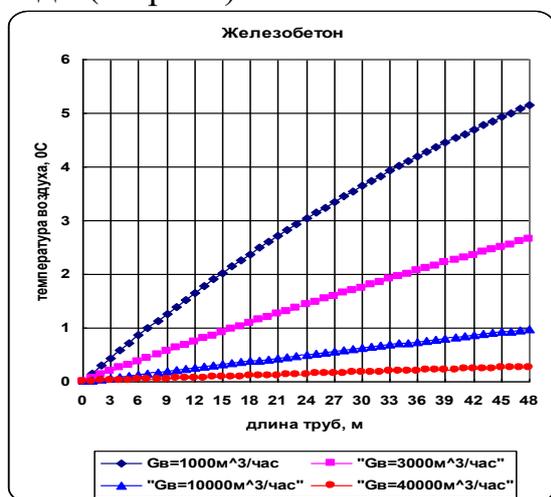
Олинган (21) тенглама ТСТА қувуридан чиқишдаги ҳаво ҳароратини $t_{\text{мын}}$, G_x , ва l ларга боғлиқ равишда аниқлаш имконини беради.

(16) ва (18) тенгламаларни тенглаштириб қуйидагиларни оламиз:

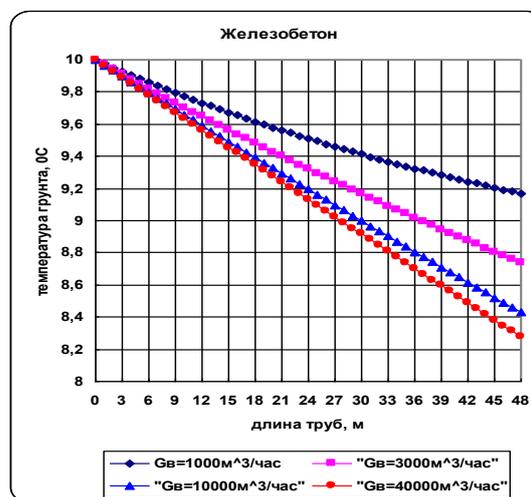
$$t'_{\text{мын}} = t_{\text{мын}} - (t_{\text{мын}} - t_{x1}) \left(1 - \exp\left(-\frac{k_l \pi}{G_x c_x \rho_x} l\right) \frac{G_x c_x \rho_x}{m_{\text{мын}} c_{\text{мын}}}\right) \cdot \tau \quad (22)$$

(22) тенглама ҳаво сарфи, совитувчи ҳаво ҳарорати, тупроқнинг иссиқлик-физик хусусиятлари, қувур узунлиги ва совутиш вақтига боғлиқ ҳолда ТСТА атрофидаги тупроқ массиви ҳароратини ўзгаришини аниқлаш имконини беради. ТСТА ҳарорат режимининг ҳисоби ва тажрибалари натижалари 15,16- расмда келтирилган. Олинган графиклар ёрдамида совутиш ҳавонинг сарфига ва ТСТАнинг қувурлари узунлиги бўйлаб ҳаво ҳароратининг ўзгаришига боғлиқ равишда ТСТАда тўпланган совуқлик миқдорини аниқлаш мумкин. Бажарилган ҳисоб ва тажриба тадқиқотлари натижалари шуни кўрсатдики, сизими 500 тонналик омборда ТСТАдан фойдаланиш керакли ҳарорат режимини таъминлайди ва буғ-компрессорли совутиш қурилмаларининг иш вақтини қисқартириш орқали совутиш учун энергия сарфини камайтиришга имкон беради.

Ҳисоблаш ва тажриба тадқиқоти натижалари асосида мева-сабзавот омборларининг ИНҚ ва ТСТАли комбинациялашган иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг такомиллаштирилган технологик схемаси таклиф этилди (17-расм).



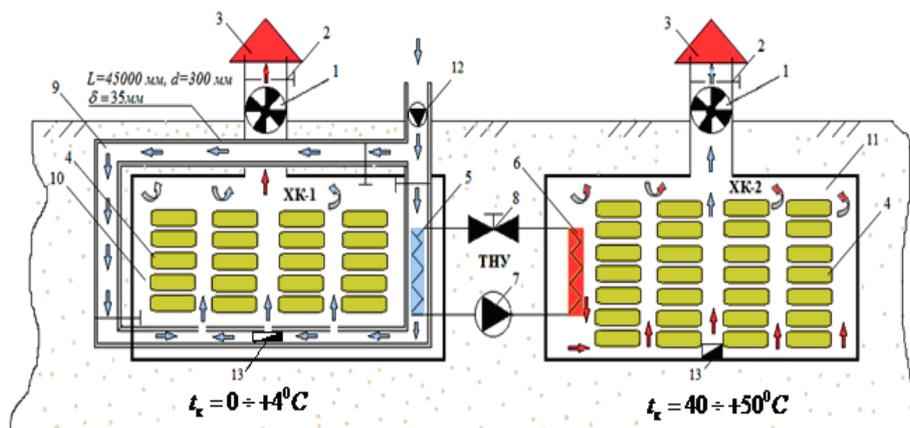
15-расм. Ҳаво сарфига боғлиқ ТСТА қувури узунлиги бўйлаб ҳаво ҳароратини ўзгариш графиги (битта қувур учун $l=48$ м)



16-расм. Тупроқ массиви ҳароратининг ҳаво сарфига боғлиқ ТСТА қувури узунлиги бўйлаб ўзгариш графиги (битта қувур учун $l=48$ м)

Комбинациялашган мева-сабзавот омбори иккита совутиш камерасидан иборат (1-СК ва 2-СК). Биринчи совутиш камераси мева-сабзавотларни сақлаш учун мўлжалланган (1-СК), $t_k = 0 \div +4^\circ\text{C}$ ҳарорат режимида ишлайди. Мева-сабзавотларни сақлаш олди қуриштириш учун 2-СК камера хизмат қилади. Мева-сабзавот камералари (1-СК ва 2-СК) нинг ҳарорат режими ИНҚ ёрдамида яратилади. Буғ-компрессорли ИНҚ(17-расм.) ёрдамида 1-СК камера совутилади, бир вақтнинг ўзида ИНҚнинг конденсатор қисмидан иссиқлик 2-СКга узатилади. Шундай қилиб, ИНҚ бир вақтнинг ўзида иккита камерани керакли ҳарорат режимини таъминлайди. ИНҚнинг буғлатгич қисмида қайнаган хладоагент камера ҳавосидан иссиқликни олади, сўнгра компрессорда сиқилади ва юқори ҳароратли муҳитга, яъни истеъмолчига иссиқликни беради. Комбинациялашган иссиқлик-совуқлик таъминоти

тизимда ИНҚнинг қўлланилиши иншоотнинг энергия самарадорлигини ошириш имконини беради.



1-вентиляторлар; 2-ҳаво вентили; 3-ҳаво сўргич; 4-МСМ учун штабель; 5-ИНҚнинг буғлаткичи; 6-ИНҚнинг конденсатори; 7- ИНҚнинг компрессори; 8-ростловчи вентиль; 9-ТСТА; 10-совутиш камераси №1; 11-совутиш камераси №2; 12-марказдан қочма вентилятор; 13-актив вентиляциянинг асосий канали.

17-расм. ИНҚ ва ТСТА ер ости мева-сабзавот омборларида комбинациялашган совуқлик таъминоти тизимининг технологик схемаси.

Бажарилган иссиқлик-техник ҳисоблар натижасида 500 тонна сифимга эга 2-СК камерасида маҳсулотларни қуритиш учун комбинациялашган тизимда $\varphi=4,0$ коэффициентли ИНҚ қўлланилганда, йилига 57,04 (46700 м³ табиий газ) тонна шартли ёқилғини тежаш имконини бериши аниқланди.

Техник-иқтисодий таҳлил ҳисоби натижалари шуни кўрсатадики, ИНҚ ва ТСТАли ер ости мева-сабзавот омборларини совуқлик таъминоти тизимидан фойдаланиш анъанавий тизимларга нисбатан 6 ой ичида 60-68% электр энергиясини тежаш имконини беради. Натижада, тежалган солиштирма электр энергия миқдори 1483,7 кВт соат/тонна ни ташкил этади. Ер ости мева-сабзавот омборлари совутиш тизимларининг техник-иқтисодий кўрсаткичларини таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, ер ости мева-сабзавот омборларида ТСТА ва ИНҚли совуқлик таъминоти тизимидан фойдаланиш маҳсулотларни сақлашда энергия сарфини камайтириш ҳисобига иқтисодий жиҳатдан самарали ҳисобланади. Ҳисоблар шуни кўрсатадики, сифими 500 тонна бўлган омборда мева-сабзавот маҳсулотларини сақлаш учун тежаладиган энергия 744850 кВт соатни ташкил қилади. Шундай қилиб, мева-сабзавот маҳсулотларини сақлаш учун таклиф этилган тизимни жорий этиш натижасида маҳсулотларни 6 ой сақлаш даврида иқтисодий самарадорлик 315,6 млн.сўм, ёки 57% ни ташкил этади.

Хулоса

Диссертация ишида қўйилган вазифаларни ҳал этиш бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари асосида қуйидаги хулосалар таклиф қилинди:

1. Табиий совуқликни аккумуляциялаш режимида ер ости мева-сабзавот омборининг тупроқ массивини совутилишида ностационар

иссиқлик алмашинувининг математик модели ишлаб чиқилган. Ностационар совутиш режимида тупроқ ҳарорат майдонини моделлаштириш асосида омбор деворидан кирадиган иссиқлик оқимини ҳисобга олган ҳолда ярим чегаранланган тупроқ массивининг ҳарорат ўзгаришини ҳисоблаш учун тенглама олинган.

2. Тупроқ массиви билан совутувчи ҳаво ўртасидаги ностационар иссиқлик алмашинувини математик моделлаштириш асосида биринчи ва иккинчи турдаги чегаравий шартларда тупроқда ҳарорат тақсимланишини аниқлайдиган тенгламалар олинди.

3. Совутиш камераси ҳавоси ва тупроқ массиви орасидаги иссиқлик алмашинувининг физик шароитлари ва ностационар ҳарорат режимини ҳисобга олиб, совуқ ҳаво сарфи ва совутиш давомийлигига боғлиқ равишда ички ҳаво ҳароратининг ўзгаришини аниқлаш имконини берадиган табиий совуқлик аккумуляторли ер ости мева-сабзавот омбори иссиқлик балансининг математик модели ишлаб чиқилган.

4. Табиий совуқлик тупроқ аккумуляторли экспериментал қурилмаси ишлаб чиқилган ва унда иссиқлик алмашинуви жараёнини моделлаштириш асосида табиий совуқликни аккумуляциялаш ва сақлаш режимларида экспериментал тадқиқотлар олиб борилган. Ҳақиқий объект учун ва қурилманинг физик моделида иссиқлик алмашинуви коэффициентининг қийматлари мос равишда $8,0-29,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ ва $47,9-174,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ оралиқда ўзгариши аниқланди.

5. Табиий совуқлик аккумуляторининг физик моделида ўтказилган тажриба натижаларига асосан кондуктив иссиқлик алмашинуви орқали совутилган тупроқ ҳароратининг ўзгариши графиклари олинган ҳамда ҳақиқий объектда қумли тупроқда жойлашган иссиқлик алмашиниш қувурининг диаметри $d=300$ мм бўлган табиий совуқлик тупроқ аккумуляторида табиий совуқликнинг аккумуляциялаш давомийлиги аниқланди.

6. Табиий совуқлик аккумулятори ва иссиқлик насоси асосида мева-сабзавот омборлари энергия тежамкор совуқлик таъминоти тизимининг такомиллаштирилган технологик схемаси ишлаб чиқилган бўлиб, ер ости мева-сабзавот омборларининг актив вентиляция тизимида ташқи ҳаво табиий совуқлиги потенциалидан самарали фойдаланиш ҳисобига энергия сарфини камайтириш имконини беради.

7. Техник-иқтисодий таҳлил ҳисоб натижалари шуни кўрсатдики, табиий совуқлик аккумуляторли совутиш тизими ва иссиқлик насосларини сифими 500 тонна бўлган ер ости мева-сабзавот омборларида қўлланилиши анъанавий тизимларга нисбатан маҳсулотларни сақлаш даврида 60-68% ($1483,7 \text{ кВт соат/т}$) гача электр энергиясини тежаш имконини беради. Табиий совуқлик аккумулятори ва иссиқлик насосли совуқлик таъминоти тизимини жорий этилиши натижасида иқтисодий самарадорлик йилига 315,6 млн. сўмни ташкил қилиши аниқланди.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА
PhD. 03/30.09. 2020.Т.111.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ КАРШИНСКОМ ИНЖЕНЕРНО-
ЭКОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

КАРШИНСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЯХШИБОВ ШУХРАТБЕК КАМИЛОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ
АККУМУЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА В ПОДЗЕМНЫХ
ПЛОДООВОЩЕХРАНИЛИЩАХ**

05.05.04 – Промышленная теплоэнергетика

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

Карши – 2022

Тема диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2019.1. PhD/T1016.

Диссертация выполнена в Каршинском инженерно-экономическом институте.

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

Научный руководитель: **Узаков Гулом Норбоевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Мирзаев Шавкат Мустакимович**
доктор технических наук, профессор

Вардияшвили Афтандил Аскарлович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Институт проблем энергетики**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2022 года в __ часов на заседании Научного совета PhD. 03/30.09.2020.T.111.03 при Каршинском инженерно-экономическом институте. (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-13-95, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Каршинском инженерно-экономическом институте. (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-13-95, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2022 года.
(реестр протокола рассылки №__ от «__» _____ 2022 года).

Б.Э. Хайридинов

Председатель Разового научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

Х.А. Давлонов

Ученый секретарь Разового научного совета по
присуждению ученых степеней, д.ф.т.н., доцент

Б.Уришев

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется повышению энергоэффективности плодоовощехранилищ, снижению расхода традиционных топливно-энергетических ресурсов в системах тепло- и хладоснабжения, уменьшению количества вредных газов, выбрасываемых в окружающую среду. В настоящее время в развитых странах около 20 процентов всей производимой электроэнергии в мире потребляется в системах холодоснабжения плодоовощехранилищ и охлаждаемых сооружениях¹. В парокомпрессионных холодильных установках, применяемых в системах охлаждения плодоовощехранилищ, для получения 2,5-3,5 кВт мощности холода затрачивается 1 кВт электроэнергии². Поэтому особое внимание уделяется использованию энергосберегающих методов охлаждения и аккумулярованию возобновляемого естественного холода наружного воздуха в системах холодоснабжения плодоовощехранилищ.

В мире проводятся научные исследования по усовершенствованию холодильных установок, повышению энергоэффективности систем теплохладоснабжения зданий и сооружений, разработке методов снижения энергопотребления системы охлаждения на основе использования возобновляемых источников энергии. В этом направлении, приоритет отдается исследованиям по обеспечению оптимального температурно-влажностного режима плодоовощехранилищ на основе использования природного холода, аккумулярования возобновляемого естественного холода и повышения эффективности системы использования естественного холода нестационарном температурном режиме. При этом разработка энергоэффективных систем охлаждения подземных плодоовощехранилищ с аккумуляторами холода на основе использования источников естественного холода региона считается актуальной задачей.

В нашей Республике осуществляются широкомасштабные мероприятия по экономии традиционных топливно-энергетических ресурсов, разработке энергоэффективных систем охлаждения на основе использования возобновляемых источников энергии и внедрению энергосберегающих технологий на плодоовощехранилищах. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы отмечены задачи «.....повышения энергоэффективности зданий и сооружений, широкое внедрение возобновляемых источников энергии в отраслях экономики, сокращению объема выброса вредных газов в атмосферу.....»³. Поэтому выполнение вышеуказанных задач в системах холодоснабжения, в частности, по повышению энергоэффективности систем холодоснабжения

¹ Цой Д.А. Анализ эффективности холодильных систем с радиационным охлаждением в зависимости от климатических условий// Автореферат дис.на соискание ученой степени к.т.н., Москва, 2020.-26 с.

² Зейгарник Ю. А., Попель О. С., Низовский В.Л., Низовский Л.В. Сезонное аккумулярование природного холода// Ползуновский вестник № 4 2012. С.-190-195.

³ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон "2022-2026 йилларда янги Ўзбекистонни тараққий стратегияси тўғрисида"ги Фармони.

лодоовощехранилищ с использованием естественного холода считается одной из востребованных задач в рассматриваемой отрасли экономики.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Постановлением Президента Республики Узбекистан №ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» и №ПП-4779 от 10 июля 2020 года «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан II. «Энергетика, энерго-и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. До настоящего времени проблемы использования систем аккумулирования естественного холода для хранения плодоовощных продуктов изучались в научных центрах «Delaval» (Швеция), «Dorin», «GEA Farm technologies» Butzer (Германия), «Frigomilk» (Италия), «Coneland» (Франция), Международная академия холода (МАХ), ФГБНУ ОИВТ РАН, ЗАО «Энергетические проекты», «Ростовтеплоэлектропроект» (Россия), Промхолод, ФГБНУ ВИЭСХ (Россия).

В развитие исследований в области аккумулирования и использования естественного холода в системах холодоснабжения и разработки энергосберегающих технологий охлаждения плодоовощехранилищ на основе применения природного холода значительный вклад внесли известные ученые, как Kobiyama M, Onajima K, Morofsky E.L, Попель О.С., Фрид С.Е, Зейгарник Ю.А., Низовский В.Л., Курилько А.С., Хохолов Ю.А., Штым А.С, Тарасова Е.В. и др. Исследования по разработке энергосберегающих технологий для систем теплохладоснабжения проведены Захидовым Р.А., Авезовым Р.Р, Вардияшвили А.Б., Мирзаевым Ш.М., Узаковым Г.Н., Усмановым Н.О. и другими узбекскими учеными.

Несмотря на то, что в зарубежных странах (США, Япония, Швеция, Канада, Россия и др.) системы аккумулирования естественного холода находят широкое практическое применение, для охлаждения и хранения плодоовощных продуктов, не уделено должного внимания исследованиям по снижению энергопотребления систем холодоснабжения подземных плодоовощехранилищ с использованием грунтовых аккумуляторов холода, разработке энергосберегающих режимов хладоаккумуляторов на основе исследования нестационарного теплообмена в грунтовом массиве местности, и технико-экономические оценки эффективности использования устройств

аккумуляции природного холода и теплонасосных установок, на примере подземного плодоовощехранилища, с учетом потенциала возобновляющейся энергии естественного холода атмосферного воздуха. Также недостаточно исследовано температурное поле и теплообмен в подземных плодоовощехранилищах, с грунтовыми аккумуляторами естественного холода в режимах аккумуляции, хранения и использование накопленного холода.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация. Работа выполнена по плану научно-исследовательских работ Каршинского инженерно-экономического института в рамках прикладного проекта ИТД-4-06-«Разработка энергосберегающей замкнутой системы энергоснабжения и вентиляции холодильных камер с использованием возобновляемых источников энергии» (2012-2014 г.г.).

Целью исследования является разработка и обоснование теплотехнических параметров системы аккумуляции естественного холода на основе исследования нестационарного теплообмена в подземных плодоовощехранилищах.

Задачи исследования:

моделирование и исследование нестационарного теплообмена в грунтовом массиве подземного плодоовощехранилища в режиме аккумуляции естественного холода;

разработка математической модели теплового баланса подземной плодоовощехранилища с грунтовым аккумулятором естественного холода;

разработка и исследование температурного режима экспериментальной установки грунтового аккумулятора естественного холода;

разработка технологической схемы энергоэффективной системы холодоснабжения подземного плодоовощехранилища на основе грунтового аккумулятора естественного холода;

разработка и обоснование энергетической эффективности комбинированной системы холодоснабжения подземного плодоовощехранилища на основе грунтового аккумулятора естественного холода и теплонасосной установки.

Объектом исследования являются теплотехнические устройства и система аккумуляции естественного холода в подземных плодоовощехранилищах.

Предметом исследования является теплообменные процессы, происходящие в грунтовых аккумуляторах естественного холода, грунтовые аккумуляторы естественного холода, теплотехнические параметры, характеризующие нестационарные процессы аккумуляции естественного холода в грунтовом массиве.

Методы исследования. В работе использованы методы математического моделирования и численного решения процессов охлаждения, основанные на законах теплообмена, компьютерное

моделирование с помощью программы MATLAB, теория подобия и размерностей, методы экспериментального исследования процессов охлаждения.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработана математическая модель процессов нестационарного теплообмена и программа расчета коэффициента теплоотдачи трубы аккумулятора, позволяющая рассчитать изменение температуры грунта на любом расстоянии и времени от поверхности трубы аккумулятора естественного холода, размещенный в грунтовом массиве подземного плодоовощехранилища;

разработана математическая модель теплового баланса подземной плодоовощехранилища с учетом физических параметров теплообмена между воздухом холодильной камеры и грунтовым массивом при нестационарном температурном режиме, позволяющая определить изменение внутренней температуры воздуха подземного плодоовощехранилища с аккумулятором естественного холода в зависимости от расхода приточного холодного воздуха и продолжительности охлаждения;

разработана усовершенствованная теплотехническая установка с грунтовым аккумулятором естественного холода, обеспечивающая аккумуляцию естественного холода возобновляемого наружного воздуха в грунтовом массиве подземного плодоовощехранилища и использование его для охлаждения продукции;

разработана усовершенствованная технологическая схема энергоэффективной системы холодоснабжения с грунтовыми аккумуляторами естественного холода, совмещенная с системой активной вентиляции подземного плодоовощехранилища, позволяющая одновременно выполнять функции охлаждения и вентиляции.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана установка с аккумулятором естественного холода для систем охлаждения подземного плодоовощехранилища, позволяющая снизить затраты энергии на хранение плодоовощных продуктов;

разработана методика расчета процессов кондуктивного теплообмена в грунтовых аккумуляторах естественного холода, позволяющая более эффективно использовать инженерное оборудование систем охлаждения;

предложены алгоритмы и компьютерные программы для расчета температурного режима и процессов теплообмена в трубах грунтового аккумулятора естественного холода, которые позволяют более обоснованно проектировать подземные плодоовощехранилища с аккумуляторами естественного холода.

Достоверность результатов исследования обоснована применением современных методов исследований, основанных на адекватных математических моделях, с использованием соответствующих разделов теории тепломассообмена и математической физики, апробированных

методов проведения и обработки результатов теплотехнического эксперимента, на результатах производственных опытов и близким совпадением теоретических и экспериментальных результатов, при одинаковых исходных условиях.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в разработке энергосберегающего режима охлаждения и алгоритма их расчета с учетом факторов, снижающих энергозатраты в системах охлаждения подземного плодоовощехранилища, математических моделей, позволяющих определить коэффициента теплоотдачи грунтового аккумулятора естественного холода, расчета теплообмена между грунтовым массивом и воздухом. Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке системы естественного аккумулирования холода, основанной на использовании возобновляемого естественного холода наружного воздуха.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов исследования по разработке энергоэффективной системы аккумулирования естественного холода для автономного холодоснабжения подземных плодоовощехранилищ:

установка грунтового аккумулятора естественного холода для систем холодоснабжения подземного плодоовощехранилища внедрена в ООО “Богизар Варганза” Кашкадарьинской области (Справка Министерства сельского хозяйства №07/35-04/585 от 19 февраля 2022 г.). В результате в плодоовощехранилищах вместимостью 500 т сэкономлено до 60-68 % электроэнергии за период хранения плодоовощных продуктов.

технологическая схема энергоэффективной системы холодоснабжения подземного плодоовощехранилища с грунтовым аккумулятором естественного холода, совмещенной системой активной вентиляции внедрена в ООО “Shaxnur freezer industry” г. Карши Кашкадарьинской области (Справка Министерства сельского хозяйства №07/35-04/585 от 19 февраля 2022 г.). В результате экономическая эффективность за период хранения плодоовощных продуктов, составила 315,6 млн. сум по сравнению с традиционными системами.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 5 международных и 10 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 24 научных работ, в том числе 1 монография, 5 научных статей в международных (1) и республиканских (4) журналах, рекомендованных Высшей Аттестационной комиссией Республики Узбекистан, для публикации основных научных результатов диссертационных работ, а также получены 3 авторских свидетельства на программный продукт для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, указаны объект и предмет исследования, определено соответствие проведенных исследований с основным приоритетным направлением развития науки и технологий в республике, изложена научная новизна и практические результаты исследований, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, приведены краткие сведения о внедрении результатов исследования и апробации работы, а также сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ существующих систем аккумулирования естественного холода в подземных плодоовощехранилищах»** проведен анализ существующих систем холодоснабжения плодоовощехранилищ, способов аккумулирования и использования естественного холода, а также традиционные системы холодоснабжения с парокомпрессионными холодильными установками.

Несмотря на значительные достижения, недостаточно рассмотрены вопросы снижения энергоемкости процессов охлаждения с использованием источников естественного холода, также недостаточно изучены возможности использования аккумулирования, возобновляемые естественного холода наружного воздуха с учетом потенциала естественного холода местности в условиях резко континентального климата. Малоизученными являются процессы теплообмена в грунтовых аккумуляторах естественного холода в условиях резко континентального климата и нестационарного температурного режима.

С целью оценки возможности использования естественного холода наружного воздуха определены индексы холода, для условий г.Карши, выявлены ресурсы источников естественного холода, для систем аккумулирования естественного холода, основанных на использовании возобновляющегося природного холода атмосферного воздуха, позволяющего сократить затраты энергии на охлаждение плодоовощных продуктов.

На основе проведенного научного анализа, с учетом тенденции к расширению уровня исследований в области энергосбережения в системах холодоснабжения плодоовощехранилищ, сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе диссертации **«Моделирование и исследование процессов теплообмена в грунтовых аккумуляторах естественного холода»** приведены результаты теоретического исследования. Предложена математическая модель теплообмена при охлаждении грунтового массива с использованием грунтового аккумулятора естественного холода (ГАЕХ), приведены результаты моделирования теплового баланса подземного плодоовощехранилища (ПХ) с ГАЕХ совмещенной системой активного вентилирования в условиях нестационарного температурного режима.

В диссертационной работе рассмотрены системы аккумулирования естественного холода наружного воздуха с трубчатыми теплообменниками. При расположении каналов теплообменников ГАЕХ таким образом, как показано на рис.1. можно воспользоваться решением А.В. Лыкова для теплообмена полуограниченного тела со средой, имеющей некоторую начальную температуру при граничных условиях третьего рода. Математическая модель температурного поля в грунтовом массиве, ограниченном плоской стенкой на внутренней поверхности, которой происходит теплообмен с охлаждающим наружным воздухом можно представить следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dt(x, \tau)}{d\tau} = a \frac{d^2 t(x, \tau)}{dx^2}; \quad \tau > 0; \quad 0 < \tau < \infty; \quad (1)$$

$$\text{начальное условие } \tau = 0, \quad t(x, 0) = t_0 = \text{const}, \quad (2)$$

$$\text{при граничных условиях } x=0, \quad \lambda \frac{dt(0, \tau)}{dx} + \alpha [t_c - t(0, \tau)] = 0 \quad (3)$$

$$\text{Считаем, что } x \rightarrow \infty, \quad t(\infty, \tau) = t_0, \quad \frac{dt(\infty, \tau)}{dx} = 0. \quad (4)$$

В работе рассмотрены процессы нестационарного теплообмена в двух режимах работы ГАЕХ.

1. Охлаждение грунтового массива при работе ГАЕХ (Режим аккумулирования естественного холода)

Согласно расчетной схеме теплообмена рис 1. пренебрегая аккумулирующей способностью грунтового массива, расположенного в межтрубном пространстве и считать, что основные запасы холода будут в грунтовом массиве справа и слева от ГАЕХ (симметричная задача), то расчетную схему теплообмена можно представить как теплообмен полуограниченного тела с наружным воздухом, движущемуся по щелевидному каналу размером $a \times h$, с граничными условиями третьего рода.

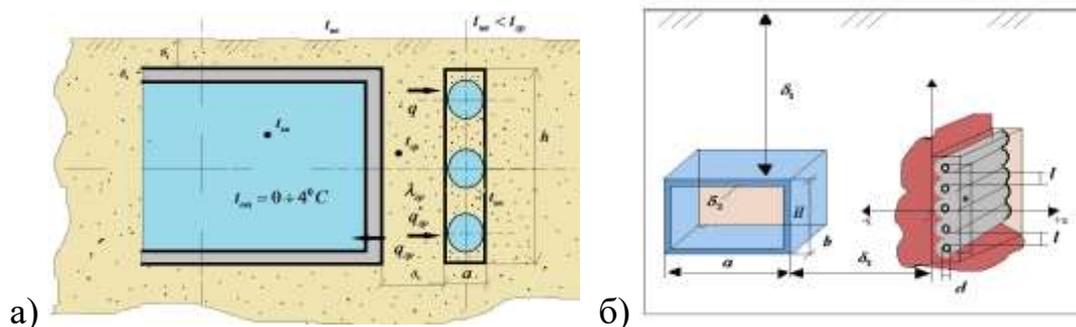


Рис.1. Расчетная схема теплообмена при охлаждении грунтового массива.

Для случая охлаждения грунтового массива вблизи плоской стенки при сквозном проветривании подземного канала наружным воздухом, с температурой $t_{нв} < t_{zp}$ решение (1) - (3) для безразмерной температурной функции имеет следующий вид:

$$\theta = \frac{t(x, \tau) - t_{нв}}{t_{zp} - t_{нв}} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right) + e^{hx+h^2a\tau} \text{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} + h\sqrt{a\tau}\right) \quad (5)$$

где, $t_{нв}$ -температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $t_{зп}$ -температура грунтового массива, $^{\circ}\text{C}$; $a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}$ -коэффициент температуропроводности грунта, $\text{м}^2/\text{с}$; λ -коэффициент теплопроводности грунта, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; C_p -теплоемкость грунта, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; ρ -плотность грунта, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ -время, сек; $h = \frac{\alpha_6}{\lambda_{зп}}$ - относительный коэффициент теплообмена.

Количество холода, аккумулируемого всей внутренней поверхностью

щелевого канала F_k будет
$$Q_x = \frac{2 \sqrt{\lambda_{зп} \cdot \delta_{зп} \cdot c_{зп}}}{\sqrt{\pi}} \cdot F_k (t_{зп} - t_{нв}) \cdot \sqrt{\tau}. \quad (6)$$

2. Охлаждение грунта при кондуктивном теплообмене (Режим саморазрядка ГАЕХ).

Активный режим аккумуляции естественного холода может осуществляться при условии, когда температура внутренней поверхности ГАЕХ выше температуры наружного воздуха $t_{в.н} > t_{нв}$. Таким образом, режим аккумуляции холода прекращается при условии $t_{нв} \geq t_{в.нов}$. В тёплый период года происходит саморазрядка аккумулятора.

При отсутствии теплопоступлений внутрь подземных каналов ГАЕХ последующее изменение температуры будет осуществляться за счёт рассеивания холода в грунтовой массиве за счет его теплопроводности. При этом перед началом активного использования запасов холода важно знать закономерности изменения температуры грунтового массива за счёт его теплопроводности, т.е. при кондуктивном теплообмене. Для решения этой задачи можно предполагать, тепловой поток на внутренней поверхности трубчатого грунтового теплообменника равен нулю, то есть

$$\text{при } x=0, \quad -\lambda_{зп} \frac{dt(x, \tau)}{dx} = 0, \quad (7)$$

С целью упрощения решения задачи, кривые распределения температур в грунте, вблизи стенки канала ГАЕХ после окончания режима аккумуляции холода, можно с достаточной для практики точностью аппроксимировать экспоненциальными функциями

$$t(x, \tau) = t_{0.нов} \cdot e^{-n \cdot x} \quad (8)$$

Если в грунтовой массиве имеется симметричное распределение, тогда изменение температуры грунта определяется по выражению:

$$t(x, \tau) = \begin{cases} t_{0.нов} | e^{-nx} & \text{при } x > 0 \\ t_{0.нов} | e^{+nx} & \text{при } x < 0 \end{cases} \quad (9)$$

где n -показатель экспоненты; $t_{0.нов}$ -температура внутренней поверхности стенки ГАЕХ.

Если считать, что грунтовой массив вокруг сооружения простирается в бесконечность и условие на границе (на внутренней поверхности) соответствует (7), тогда математическую формулировку этой задачи можно представить в виде:

- дифференциального уравнения теплопроводности

$$\frac{dF(x, \tau)}{d\tau} = a \frac{d^2 F(x, \tau)}{dx^2} \quad (10)$$

- начальное условие $\tau=0$ $F(0, x) = e^{-nx}$ (11)

- граничные условия $x=0$; $-\lambda_{zp} \frac{dF(x, \tau)}{dx} = 0$ (12)

где $F(x, \tau) = \frac{t(x, \tau)}{|t_{0.нов}|} = \theta(x, \tau)$ - безразмерная температура грунтового массива;

$t(x, \tau)$ - искомая температурная функция.

При такой постановке задачи получено решение для температурной функции $\theta(x, \tau)$ в следующем виде:

$$\theta(x, \tau) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} e^{-q^2 a \tau} \cos(qx) \frac{n}{n^2 + q^2} dq = \exp(n^2 a \tau) \operatorname{erfc}(n \sqrt{a \tau}) \quad (13)$$

Таким образом, уравнение (13) позволяет находить значения температурной функции $\theta(x, \tau)$ при кондуктивном теплообмене в грунтовом аккумуляторе холода. Полученные уравнения позволяют определять температуру грунта на любой момент времени, на любом расстоянии от поверхности канала грунтового теплообменника.

С целью исследования температурного режима подземного плодоовощехранилища с ГАЕХ в зависимости от расхода и температуры приточного холодного воздуха, разработана математическая модель теплового баланса ПХ, позволяющая определить требуемого естественного холода, для обеспечения энергосберегающего температурного режима в подземной холодильной камере, и проанализировать режим работы систем активной вентиляции с ГАЕХ. Расчетная схема теплового баланса ПХ с ГАЕХ представлена на рис.2.

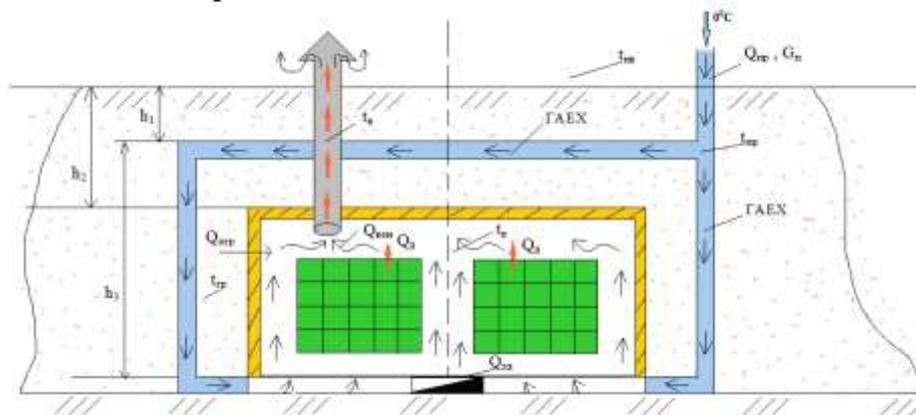


Рис.2. Расчетная схема теплового баланса ПХ с ГАЕХ.

Составим уравнение теплового баланса подземной холодильной камеры при активном вентилировании холодным природным воздухом в следующем дифференциальном виде:

$$\rho \cdot V_{\text{в}} \cdot c_{\text{pv}} \cdot \frac{dt_{\text{в}}(\tau)}{d\tau} = Q_{\text{х}} + Q_{\text{вен}} - Q_{\text{огр}} - Q_{\text{эд}} - Q_{\text{д}} \quad (14)$$

где $Q_{\text{х}}$ - количество естественного холода (энергии) вносимой приточным воздухом, Вт, $Q_{\text{вен}}$ - теплота, удаляемая через вытяжной

вентиляции, Вт, $Q_{огр}$ – теплоприток через ограждений ПХ, Вт, $Q_{эд}$ – теплоприток при работе электродвигателей, Вт, $Q_{д}$ – теплота дыхания продуктов, Вт.

Составим начальные условия $\tau = 0, t_e(\tau) = t_e(0)$.

С учетом начальных условий и используя метод Эйлера получено решение уравнения теплового баланса, рассматриваемого ПХ с ГАЕХ в следующем виде

$$t_e(\tau) = \frac{t_e(0) \cdot \frac{G_{пр} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_{пр} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_n + k \cdot F_{опр} \cdot t_{зр} - N_{эд} \cdot n - q_0 \cdot m_n \cdot e^{b \cdot t_{пр}}}{G_{пр} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{опр}} \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{G_{пр} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{опр}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}} \tau\right) \right]}{\exp\left(\frac{G_{пр} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{опр}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}} \tau\right)}, \quad (15)$$

Таким образом, полученное уравнение (15) является общим решением уравнения теплового баланса ПХ с ГАЕХ. На основе математического моделирования теплового баланса ПХ с ГАЕХ проведено расчетное исследование с применением пакета программы MATLAB/SIMULINK. Результаты расчетных исследований представлены на рис.3. и рис.4.

Согласно полученных результатов моделирования можно определить требуемый расход холода для поддержания оптимального температурного режима ПХ вместимостью 30 тонн $0 \div +4^{\circ}\text{C}$, который составит при температуре наружного воздуха -3°C , $Q=14-16$ кВт.

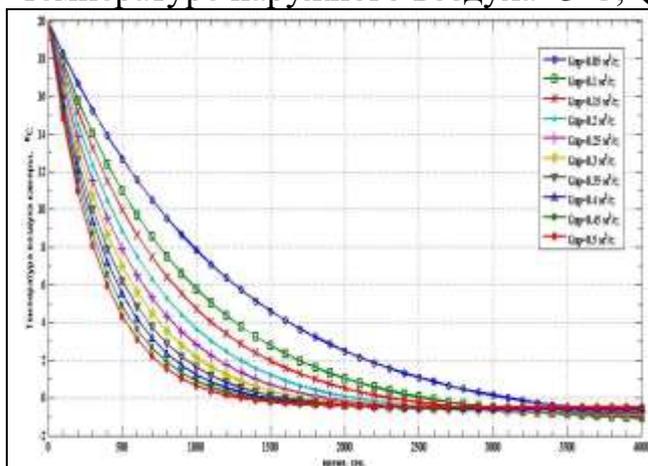


Рис.3. График изменения температуры внутреннего воздуха ПХ с ГАЕХ в зависимости от расхода приточного холодного воздуха.

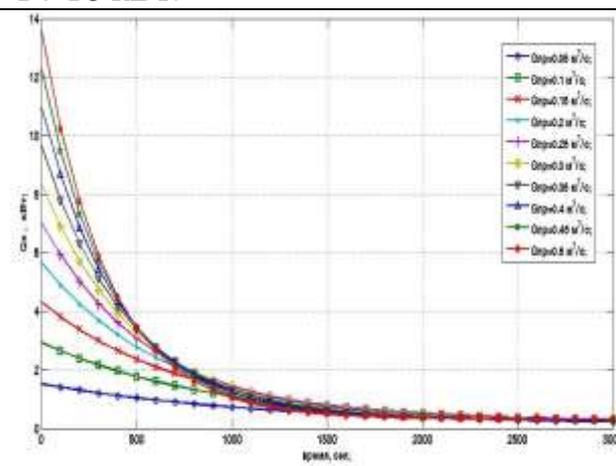


Рис.4. График изменения мощности естественного холода в зависимости от расхода приточного холодного воздуха и времени.

Анализ проведенных теоретических исследований показывают, что температура воздуха в ПХ при вентилировании приточным холодным воздухом с температурой $t_{пр}=0^{\circ}\text{C}$ медленно снижается от начальной $t_{в}=20^{\circ}\text{C}$ до $+1^{\circ}\text{C}$ (до требуемой температуры хранения яблок зимних сортов) при расходе охлаждающего воздуха $G_{пр}=0.05$ м³/сек, при этом продолжительность охлаждения составляет около 3000 сек (50 минут). С повышением подачи (расход) охлаждающего воздуха от $G_{пр}=0,05$ до $G_{пр}=0,5$ м³/сек продолжительность охлаждения сокращается в 3 раза, т.е. составляет

около 1000 сек. При этом для поддержания требуемого температурного режима внутри ПХ необходим естественный холод мощностью 10-14 кВт.

В третьей главе диссертации «Разработка физической модели и экспериментальное исследование процессов теплообмена в грунтовых аккумуляторах естественного холода» приведены описания экспериментальной установки ГАЕХ, методика экспериментального исследования температурного режима и теплообмена в физической модели и результаты исследований по теплообмену и температурному режиму ГАЕХ в различных физических условиях. Разработан экспериментальный стенд (рис.5), измерительная схема которого приведена на рис.5. Стенд состоит из грунтового (песчаного) аккумулятора 1, находящегося в пенопластовой термостатированной ёмкости 2. Экспериментальная установка для моделирования процесса теплообмена в грунтовом массиве, вмещающем в себя канал грунтового аккумулятора, рассчитана с соблюдением теории подобия и размерностей. Она состоит из термоизолированного короба с песком, моделирующего грунтовый массив, внутри которого расположена стальная труба $d=20\text{мм}$ грунтового аккумулятора холода, с размещёнными вокруг неё термопарами, пакетных переключателей на 20 цепей, измерительного моста и водосчётчика.



Рис.5. Общий вид экспериментальной установки.

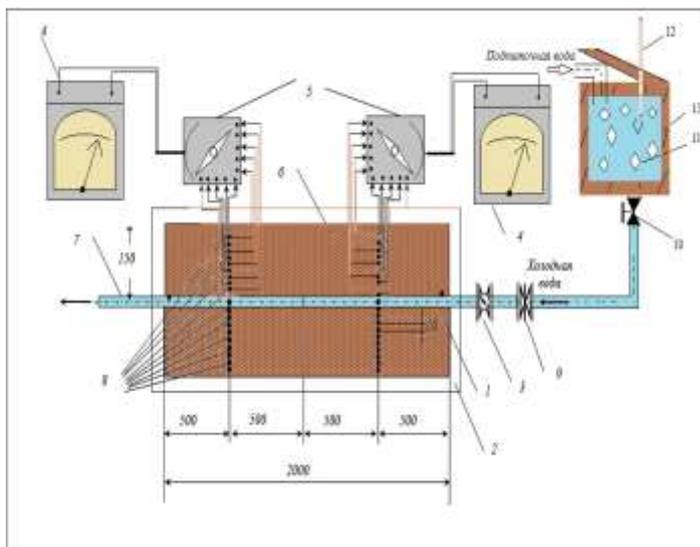


Рис. 6. Схема экспериментальной установки для исследования изменения температурного поля грунта вблизи поверхности ГАЕХ.

1– грунтовый аккумулятор; 2- термостатированная ёмкость 3 – счётчик воды; 4- Потенциометр КСП-4; 5– переключатель на 10 цепей; 6– слой материала, моделирующий грунтовый массив; 7– стальная труба $d=20\text{мм}$; 8– термопары (на схеме показаны термопары, размещённые в первом и последнем сечениях температурного поля), 9- регулирующий вентиль, 10-вентиль для регулирования расхода воды, 11-куски льда, 12- контрольный термометр, 13-емкость для холодной воды.

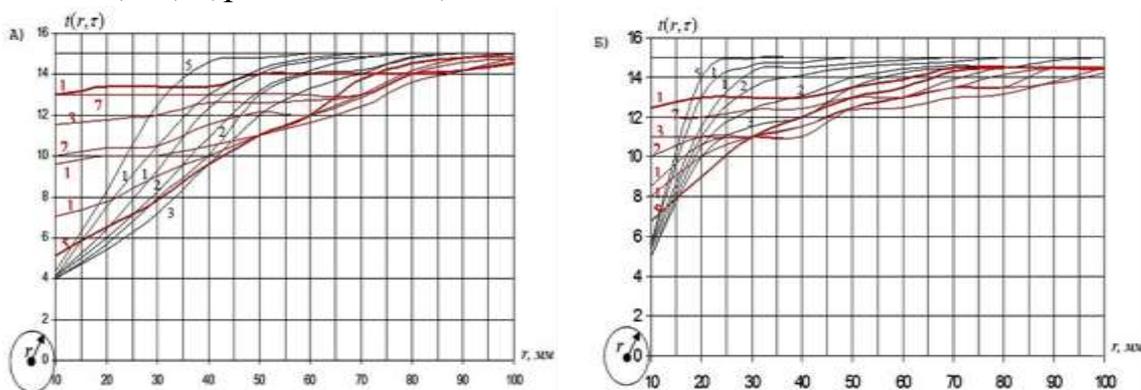
Проведено экспериментальное исследование с применением метода теории подобия и моделирования теплообменных процессов. Определены значения критерия Nu и коэффициента теплоотдачи α для грунтового аккумулятора холода с диаметром трубы $d=300\text{мм}$ и физической модели, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты моделирования и расчета теплообмена в ГАЕХ

Грунтовый аккумулятор, $d=300\text{мм}$ (воздух)			Физическая модель $d=50\text{мм}$ (воздух)			Физическая модель $d=20\text{мм}$ (вода)		
$W_1, \text{м/с}$	Nu_1	$\alpha_1, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	$W_2, \text{м/с}$	Nu_2	$\alpha_2, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	$W_3, \text{м/с}$	Nu_3	$\alpha_3, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$
2	103,88	8,04	0,32	103,25	47,908	0,64	103,25	2845,57
4	180,87	14,01	0,64	180,90	83,93	1,29	180,90	4985,60
6	250,18	19,38	0,97	250,73	116,338	1,94	250,73	6910,11
8	314,92	24,41	1,29	314,96	146,14	2,58	314,96	8680,29
10	376,47	29,17	1,61	376,99	174,92	3,22	376,05	10363,93

Анализ таблицы 1. показывает, что подобие процессов теплоотдачи для натурального образца (движение воздуха по подземному воздуховоду $d=300\text{мм}$.) и физической модели (движение воды по трубе $d=20\text{мм}$, расположенной в песке) выполняется в следующем диапазоне скоростей: для воды 0,64 до 3,22 м/с. Таким образом, для моделирования процесса теплообмена, происходящего при движении воздуха с температурой $t=0^\circ\text{C}$ по подземному воздуховоду $d=300\text{мм}$ в природе и со скоростями 2,4,6,8,10 м/с, необходимо обеспечить в физической модели движение воды с $t=0^\circ\text{C} \div +4^\circ\text{C}$ в трубе $d=20\text{мм}$, со скоростями 0,64; 1,29; 1,94; 2,58; 3,22 м/с соответственно. Подобные процессы теплообмена для воздуха в физической модели при $t=0^\circ\text{C}$ необходимо обеспечить в трубе диаметром $d=50\text{мм}$ со скоростью 0,32 до 1,61 м/с. Эксперименты были проведены в физической модели для воды и воздуха отдельно и результаты представлены в табл 1. Температура охлаждающей воды устанавливалась равной $+4^\circ\text{C}$, скорость движения жидкости фиксировалась в диапазоне, указанном в таблице 1. В результате серии последовательных экспериментов, были получены графики распределения температуры $t(x, \tau)$ в грунте, вблизи трубы $d=20\text{мм}$ для различной продолжительности работы установки в 1 и 2 режимах, а также кривые изменения температуры поверхности трубы в зависимости от времени $t(0, \tau)$ (рис.7,8,9 и 10).

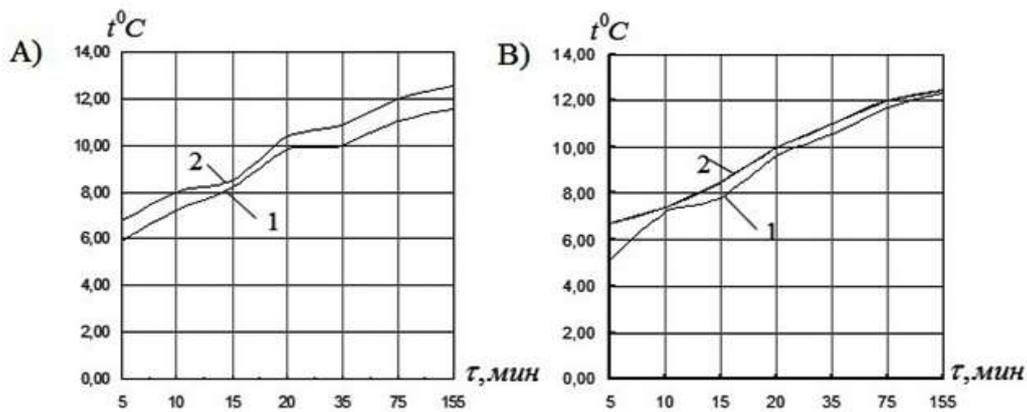


А – в первом сечении, Б – во втором сечении.

— Работа установки в первом режиме.

— Работа установки во втором режиме.

Рис.7. Изменение температурного поля в песке вблизи трубы $d=20\text{мм}$. Числа у кривых обозначают интервалы времени τ между замерами в минутах.

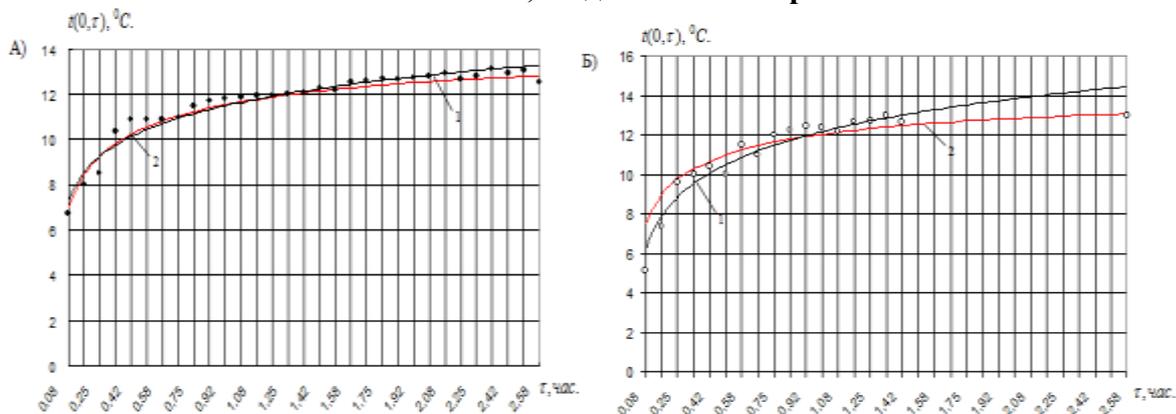


1,2-температуры поверхности в первом и втором сечениях.

А-длительность режима аккумуляции холода 5 мин. ($Fo=3$).

Б-длительность режима аккумуляции холода 30 мин. ($Fo=10$).

Рис.8. Изменение температуры поверхности трубы за счёт кондуктивного теплообмена, по данным эксперимента.



А) - $Fo=3$, Б) - $Fo=10$. 1 – по данным эксперимента. 2 – по данным расчета.

Рис.9. График изменения температуры поверхности трубы.

Кривые изменения температуры охлаждённого грунта за счёт кондуктивного теплообмена, построенные для натурального объекта по данным эксперимента, проведённого на физической модели, в режимах охлаждения и хранения запасённого холода представлены на рис.10 и 11. На рис.12 показаны кривые изменения температуры поверхности трубы $d=300\text{мм}$, за счёт кондуктивного теплообмена.

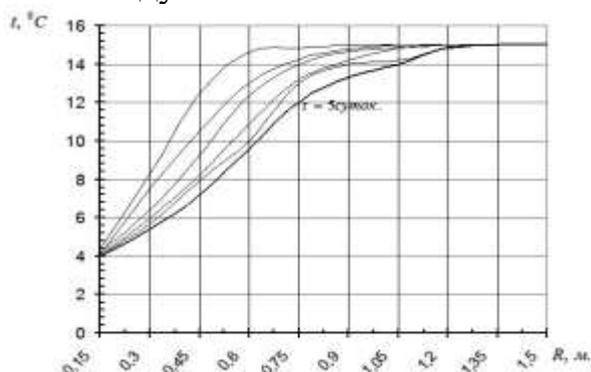


Рис.10. Температура грунта вблизи трубы $d=300\text{мм}$ (охлаждение).

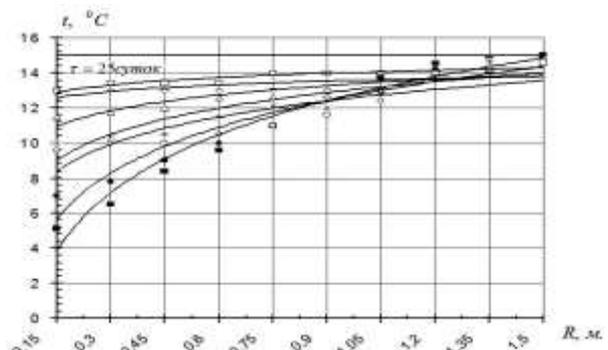


Рис.11. Изменение температуры грунта вблизи трубы $d=300\text{мм}$ (режим хранения запасённого холода).

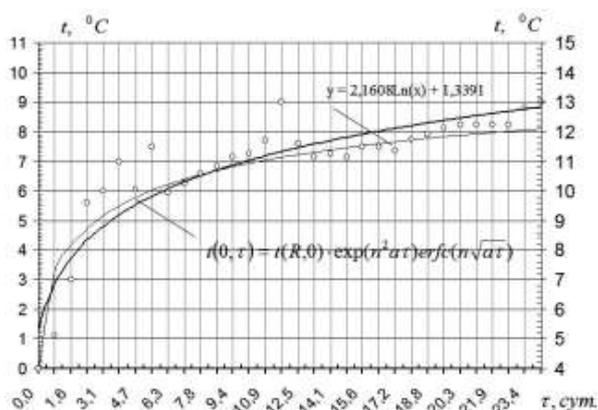
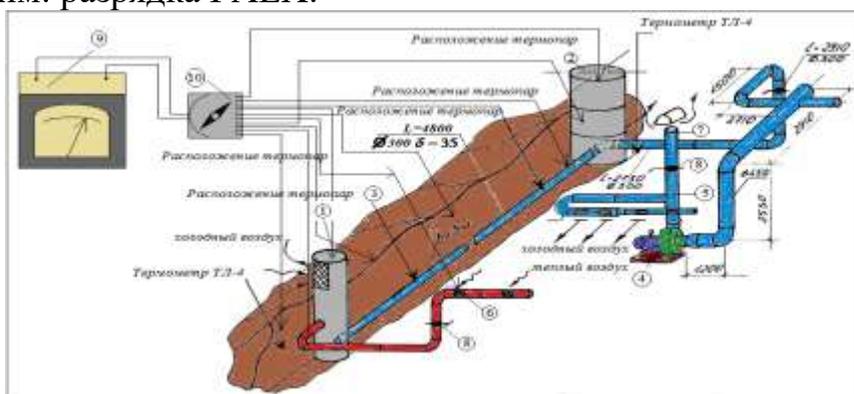


Рис.12. Изменение температуры поверхности стенки трубы $d=300\text{мм}$ за счёт кондуктивного теплообмена.

Анализ полученных результатов исследований, показывает, что расхождение экспериментальных и расчетных данных составляет 7-10 %. Таким образом, предложенные аналитические зависимости можно рекомендовать для инженерных расчетов ГАЕХ.

В четвертой главе диссертации «**Эффективность альтернативных энергосберегающих систем холодоснабжения плодоовощехранилищ на основе аккумуляторов естественного холода и теплонасосных установок**» представлены результаты исследований по разработке энергоэффективной системы холодоснабжения ПХ с ГАЕХ, теплотехнические характеристики температурного режима ГАЕХ и технико-экономические показатели предложенной системы. Разработана и исследована энергосберегающая система холодоснабжения подземного плодоовощехранилища с ГАЕХ (Рис.13). Разработана альтернативная энергосберегающая система холодоснабжения (АЭСХ) с ГАЕХ работает в трех режимах:

- 1-режим: аккумуляция естественного холода (зарядка ГАЕХ);
- 2-режим: хранение холода (запас холода);
- 3-режим: разрядка ГАЕХ.



1-воздухозаборный колодец; 2-смотровой колодец; 3-подземный канал грунтового аккумулятора естественного холода; 4-вентиляторный агрегат 90ЦС240; 5-воздуховод режима сквозного проветривания, 6-воздуховоды режима снятия теплоизбытков; 7-вытяжная труба; 8- задвижки; 9-самопищущий прибор КСП-4; 10-переключатель.

Рис.13. Технологическая схема энергосберегающей системы холодоснабжения подземного ПХ с использованием ГАЕХ.

При работе установки в первом режиме-наружный холодный воздух с температурой меньше чем температура грунта ПХ, центробежным вентилятором 4 забирается через воздухозаборный колодец 1, затем воздух проходит по трубе ГАЕХ 3 и естественный холод наружного воздуха аккумулируются в грунтовом массиве вокруг трубы длиной $l=48$ м, далее приточный воздух, через систему активной вентиляции, удаляется в атмосферу.

Во втором режиме вентилятор 4 отключается, а шиберы на колодцах 1 и 2 закрываются. Но в этом режиме, при необходимости, в зависимости от изменений температуры внутреннего воздуха камеры, будет работать теплонасосная установка (ТНУ) в режиме охлаждения.

В режиме разрядки ГАЕХ (3-режим) шиберы на колодцах 1 и 2 будут в закрытом положений, внутренний теплый воздух из камеры через воздуховод поступает ГАЕХ 3 и после охлажденный воздух вновь поступает в холодильную камеру.

Для исследования температурного режима ГАЕХ составлена математическая модель теплового баланса установки согласно схемы рис.14.

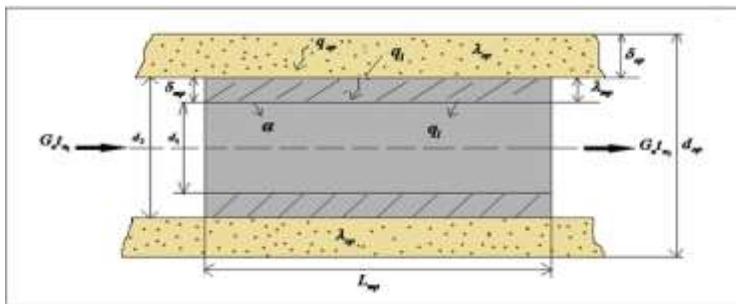


Рис.14. Расчётная схема теплового баланса ГАЕХ.

$$dQ = G_a c_a \rho_a (t_{e2} - t_{e1}) d\tau \quad (16)$$

$$dQ = k_l \pi l \Delta t_{cp} d\tau \quad (17)$$

$$dQ = m_{cp} c_{cp} (t_{cp} - t'_{cp}) \quad (18)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{\ln \frac{t_{e2} - t_{cp}}{t_{e1} - t_{cp}}} \quad (19)$$

Приравнявая уравнения (16) и (17) получено следующее:

$$k_l \pi l \frac{t_{e2} - t_{e1}}{\ln \frac{t_{e2} - t_{cp}}{t_{e1} - t_{cp}}} = G_a c_a \rho_a (t_{e2} - t_{e1}), \quad (20)$$

В уравнениях (16)-(18) приняты следующие обозначения: Q - количество тепловой мощности, полученное воздухом при охлаждении грунтового массива, кВт; l - длина трубы ГАЕХ, м; k_l - линейный коэффициент теплопередачи, Вт/м·К; τ - время, с; m_{cp} - масса грунтового массива прилегающего к трубе ГАЕХ, кг; c_{cp} - теплоемкость грунта, $\frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})}$; t_{cp} - начальная температура грунта, $^\circ\text{C}$.

Из уравнения (20) получим следующее

$$t_{e2} = t_{cp} + (t_{e1} - t_{cp}) \exp\left(-\frac{k_l \pi}{G_a c_a \rho_a} l\right), \quad (21)$$

Полученное уравнение (21) позволяет определить температуру воздуха на выходе из трубы ГАЕХ в зависимости от t_{cp} , G_a , и l .

Приравнявая уравнения (16) и (18) получаем:

$$t'_{zp} = t_{zp} - (t_{zp} - t_{e1}) \left(1 - \exp\left(-\frac{k_1 \pi}{G_6 c_6 \rho_6} l\right) \frac{G_6 c_6 \rho_6}{m_{zp} c_{zp}} \cdot \tau\right) \quad (22)$$

Уравнение (22) позволяет определить изменение температуры прилегающего грунтового массива вокруг трубы ГАЕХ в зависимости от расхода воздуха, температуры приточного воздуха, теплофизических свойств грунта, длины трубы и время охлаждения. Результаты расчетов и экспериментов температурного режима ГАЕХ представлены на рис. 15-16.

С помощью полученных графиков можно определить количество аккумулированного холода в ГАЕХ в зависимости от расхода охлаждающего воздуха и изменений температуры воздуха по длине труб ГАЕХ. Результаты расчетных и экспериментальных исследований показали, что применение ГАЕХ в ПХ вместимостью 500 тонн обеспечивает требуемый температурный режим, и позволяет сократить затраты энергии на охлаждение за счет сокращения времени работы парокомпрессионных холодильных установок.

По результатам расчетных и экспериментальных исследований предложена усовершенствованная технологическая схема теплохладоснабжения комбинированного ПХ с ГАЕХ и ТНУ (рис.17).

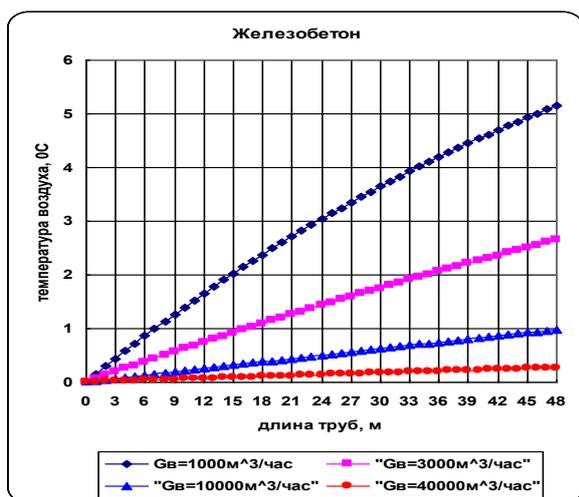


Рис.15. График изменения температуры воздуха по длине трубы ГАЕХ в зависимости от расхода воздуха (для одной трубы l=48 м).

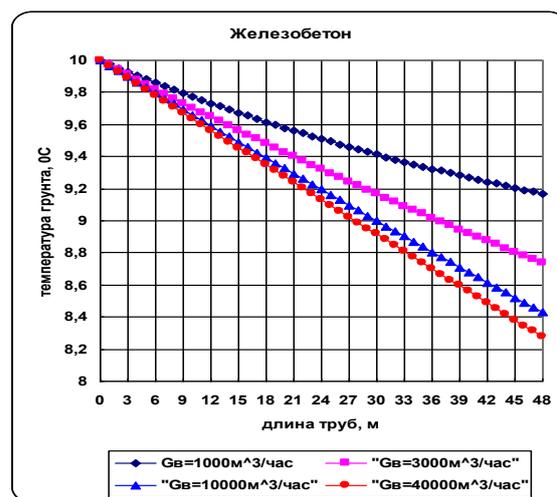
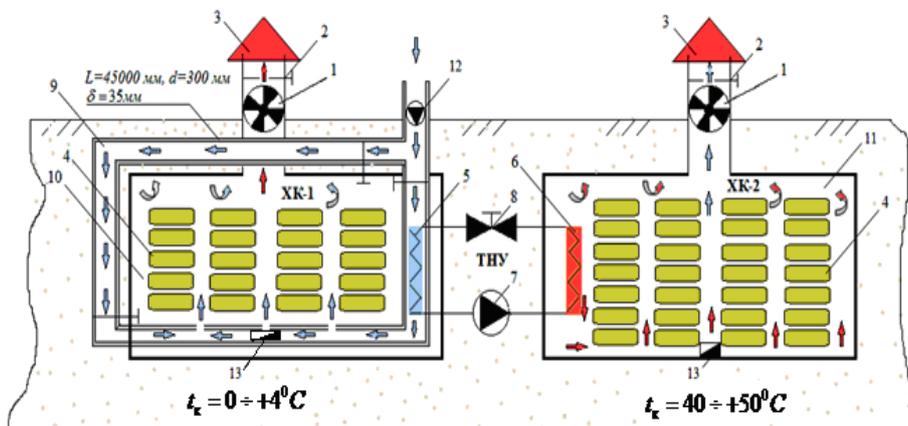


Рис.16. График изменения температуры грунтового массива и по длине трубы ГАЕХ в зависимости от расхода воздуха (для одной трубы l=48 м).

Комбинированное плодовоощехранилище состоит из двух холодильных камер (ХК-1 и ХК-2). Холодильная камера ХК-1 является камерой хранения ПОП, которая работает при температурном режиме $t_k = 0 \div +4^{\circ}C$. Вторая камера ХК-2 служит для предварительной просушки ПОП перед длительным хранением. Температурный режим плодовоощных камер ХК-1 и ХК-2 создается с ТНУ. Парокомпрессионная ТНУ (рис. 17.) типа «воздух-воздух» охлаждает камеру ХК-1, одновременно конденсаторная часть ТНУ нагревает воздух камеры ХК-2. Таким образом, ТНУ обеспечивает одновременно требуемый температурный режим двух камер. В испарителе ТНУ кипящий хладагент отнимает тепло от приточного воздуха, затем сжимается

компрессором и отдает тепло в высокотемпературную среду, т.е. потребителю. Таким образом, применение ТНУ с двумя потребителями: холода и тепла обеспечивает холодом камеры ХК-1 и теплом камеру ХК-2. Применение ТНУ в комбинированной системе теплохладоснабжения повысить энергоэффективность предложенной системы.



1-вентиляторы; 2-воздушный вентиль; 3- вытяжки; 4-штабель для ПОП; 5-испаритель ТНУ; 6-конденсатор ТНУ; 7-компрессор ТНУ; 8-регулирующий вентиль; 9-ГАЕХ; 10-холодильная камера №1; 11- холодильная камера №2; 12-центробежный вентилятор; 13-магистральный канал активной вентиляции.

Рис.17. Схема теплохладоснабжения комбинированного подземного плодоовощехранилища с ГАЕХ и ТНУ.

В результате проведенных теплотехнических расчетов установлено, что комбинированное применение ТНУ с коэффициентом $\phi=4,0$ для просушки продуктов в камере ХК-2 вместимостью 500 тонн, позволяет сэкономить 57,04 (46700 м³ природного газа) тонн условного топлива в год.

Результаты расчетов технико-экономического анализа показали, что применение системы холодоснабжения подземного плодоовощехранилища с ГАЕХ и ТНУ позволяет сэкономить 60-68 % электроэнергии за 6 месяцев по сравнению с традиционными системами. При этом удельная экономия электроэнергии составила 1483,7 кВт·час/т. Анализ технико-экономических показателей, сравниваемых систем охлаждения ПХ показывает, что применение системы холодоснабжения с ГАЕХ и ТНУ в подземных плодоовощехранилищах является экономически эффективным, что обусловлено снижением энергозатраты на хранение ПОП. Общая экономия энергии для хранения 500 т ПОП за период хранения составляет 744850 кВт·час. Таким образом, экономическая эффективность от внедрения предложенной системы за 6 месяцев хранения ПОП составляет 315,6 млн.сум, или 57 % по сравнению с базовым вариантом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. Разработана математическая модель нестационарного теплообмена при охлаждении грунтового массива подземного плодоовощехранилища в режиме аккумуляирования естественного холода. На основе моделирования температурного поля грунтового массива при нестационарном режиме охлаждения, получено уравнение для расчета изменения температуры полуограниченного грунтового массива с учетом теплового потока через покрытие хранилища.

2. На основе математического моделирования нестационарного теплообмена между грунтовым массивом и окружающим воздухом получено уравнение распределения температуры при граничных условиях первого и второго рода.

3. Разработана и численно реализована математическая модель теплового баланса плодоовощехранилища с грунтовым аккумулятором естественного холода, которая позволяет определить изменения температуры внутреннего воздуха в зависимости от расхода приточного холодного воздуха, и от времени охлаждения, с учетом нестационарного режима работы и условиями теплообмена с грунтовым массивом и воздухом камеры.

4. Разработана экспериментальная установка грунтового аккумулятора естественного холода и на основе моделирования процесса теплообмена, определены коэффициент теплоотдачи, для натурного объекта, в физической модели, который составил в пределах $8,0-29,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ и $47,9-174,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

5. Получены кривые изменения температуры охлажденного грунта, за счет кондуктивного теплообмена, настроенные для натурного объекта, по данным эксперимента, проведенного на физической модели ГАЕХ для различной продолжительности периода хранения аккумуляированного холода. Определена продолжительность режима аккумуляирования естественного холода в грунтовом аккумуляторе естественного холода диаметром теплообменной трубы $d=300 \text{ мм}$, расположенного в песчаном грунте на натурном объекте.

6. Разработана усовершенствованная технологическая схема энергосберегающей системы холодоснабжения плодоовощехранилищ, с использованием грунтового аккумулятора естественного холода и теплонасосной установки, отличающийся малой энергоемкостью за счет эффективного использования потенциала природного холода наружного воздуха в системе активной вентиляции подземных плодоовощехранилищ.

7. Результаты расчетов технико-экономического анализа показали, что применение системы холодоснабжения с грунтовым аккумулятором естественного холода и теплонасосной установкой в подземных плодоовощехранилищах вместимостью 500 т, позволяет сэкономить до 60-68 % ($1483,7 \text{ кВт час/т}$) электроэнергии за период хранения по сравнению с традиционными системами. Установлено, что экономическая эффективность от внедрения системы холодоснабжения с грунтовым аккумулятором естественного холода и теплонасосной установкой за период хранения плодоовощных продуктов составляет 315,6 млн. сум в год.

**SINGLE SCIENTIFIC COUNCIL UNDER THE SCIENTIFIC COUNCIL
PhD. 03/30.09.2020.T.111.03 FOR THE AWARDING OF SCIENTIFIC
DEGREES AT THE KARSHI ENGINEERING ECONOMICS INSTITUTE**

KARSHI ENGINEERING ECONOMICS INSTITUTE

YAHSHIBOEV SHUKHRATBEK KAMILOVICH

**DEVELOPMENT OF AN ENERGY-EFFICIENT SYSTEM FOR
ACCUMULATING NATURAL COLD IN UNDERGROUND FRUIT AND
VEGETABLE STORAGES**

05.05.04 – Industrial thermal power engineering

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

KARSHI – 2022

The topic of dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered with the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under the number №B2019.1.PhD/T1016.

The dissertation is carried out at the Karshi engineering economics institute.

The abstract of the dissertation in three languages(Uzbek, Russian, English(resume)) is placed on the web-page of Scientific Council at the address (www.qmii.uz) and on information-educational portal «ZiyoNet» at the address (www.Ziynet.uz).

Scientific adviser: **Uzakov Gulom Norbaevich**
doctor of technical, sciences professor

Official opponents: **Mirzayev Shavkat Mustaqimovich**
doctor of technical, sciences professor

Vardiyashvili Aftandil Askarovich
candidat of technical sciences, docent

Leading organization: **Institute of Energy Problems**

Defense of the thesis will be held «__» _____ 2022 at ___ hours meeting of the Scientific Council PhD.03/30.09.2020.T.111.03 at the Karshi engineering economics institute (Address: 180100, Karshi Mustakillik street, 225. Phone: (+99875) 224-13-95; fax: (+99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz).

The dissertation is registered in Information-resource centre (IRC) of the Karshi engineering economics institute. (registration number № __) (Address: 180100, Karshi Mustakillik street, 225. Karshi engineering economics institute. Phone: (+99875) 224-13-95; fax: (99875) 224-13-95, e-mail:

The dissertation abstract has been sent out «__» _____ 2022
(distribution protocol registry №__ on «__» _____ 2022).

B.E. Khayriddinov

Chairman of the One-time council awarding
scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

X.A. Davlonov

Scientific secretary of the One-time council awarding
scientific degrees, doctor of philosophy of technical sciences, docent

B. Urishev

Chairman of the One-time scientific seminar under the scientific
council for the awarding degrees,
doctor of technical sciences, professor.

INTRODUCTION (doctor of philosophy(PhD) thesis annotation)

The aim is of the work develop and substantiate the thermal parameters of the natural cold storage system based on the study of non-stationary heat exchange in underground fruit and vegetable storages.

The tasks of the research:

modeling and research of non-stationary heat transfer in the soil massif of an underground fruit and vegetable storage in the natural cold accumulation mode;

development of a mathematical model of the heat balance of an underground fruit and vegetable storage with a ground accumulator of natural cold;

development of a technological scheme for an energy-efficient refrigeration system for an underground fruit and vegetable storehouse based on a natural cold ground accumulator;

development and substantiation of the energy efficiency of a combined refrigeration system for an underground fruit and vegetable storehouse based on a natural cold ground accumulator and a heat pump unit.

The object of the research work is a thermal engineering device and a system for accumulating natural cold in underground fruit and vegetable storages.

The scientific novelty of the research is as follows:

a mathematical model of the processes of non-stationary heat transfer and a program for calculating the heat transfer coefficient of the accumulator pipe were developed, which makes it possible to calculate the change in soil temperature at any distance and time from the surface of the natural cold accumulator pipe located in the soil massif of an underground fruit and vegetable storage;

a mathematical model of the heat balance of an underground fruit and vegetable store has been developed, taking into account the physical parameters of heat exchange between the air of the refrigeration chamber and the soil mass under non-stationary temperature conditions, which makes it possible to determine the change in the internal temperature of the underground fruit and vegetable store with a natural cold accumulator, depending on the flow rate of the inlet cold air and the duration of cooling;

an improved heat engineering plant with a natural cold ground accumulator was developed, which ensures the accumulation of natural cold of renewable outdoor air in the ground massif of an underground fruit and vegetable storage and its use for cooling products;

an improved technological scheme of an energy-efficient refrigeration system with natural cold ground accumulators was developed, combined with an active ventilation system of an underground fruit and vegetable storage, which allows simultaneously performing the functions of cooling and ventilation.

Implementation of the research results. Based on the results of a study on the development of an energy-efficient natural cold storage system for autonomous cooling of underground fruit and vegetable storages:

the installation of an underground accumulator of natural cold for the cooling systems of the underground fruit and vegetable storage facility was implemented in LLC “Bogizar Varganza” of Kashkadarya region (Reference of the

Ministry of Agriculture No. 07/35-04/585 dated February 19, 2022). As a result, up to 60-68% of electricity was saved in fruit and vegetable storage facilities with a capacity of 500 tons during the storage period of fruit and vegetable products.

the technological scheme of an energy-efficient cooling system of an underground fruit and vegetable storehouse with an underground accumulator of natural cold, combined with an active ventilation system was implemented in LLC “Shaxnur freezer industry” in Karshi, Kashkadarya region (Reference of the Ministry of Agriculture No. 07/35-04/585 dated February 19, 2022). As a result, the economic efficiency for the period of storage of fruit and vegetable products amounted to 315.6 million soums compared to traditional systems.

Approbation of research results. 24 scientific papers have been published on the topic of the dissertation, including 1 monograph, 5 scientific articles in international (1) and republican (4) journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of dissertations, and 3 author's certificates for a computer software product have been obtained.

The structure and volume of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИЛМІЙ ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS
I бўлим (I част, part I)

1. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К. Научные основы аккумуляции естественного холода в подземных плодовоовощехранилищах/ Монография. – Карши: “Интеллект” 2021. 124 с.

2. Uzokov G.N., Yakhshiboyev Sh.K., Ruzikulov G.Yu., Khusunov Sh. Kh. Modeling and Research of heat Transfer Process in Soil Accumulators of Natural Cold// International Journal Of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol.7, Issue-7, July 2020 pp. 14323-14328.(05.00.00; №8).

3. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Мамедова Д.Н., Чулиев С.Э. Моделирование теплообменных процессов в подземных плодовоовощехранилищах// Инновацион технологиялар.-Карши, 2019.-№ 3(35). С. 31-36.(05.00.00; №38).

4. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Рузикулов Г.Ю. Исследование тепловлажностного режима энергосберегающей солнечно-теплонасосной сушильно-холодильной камеры// Проблемы энерго-и ресурсосбережения.-Ташкент, 2021.- № 2. С. 121-130. (05.00.00; №21).

5. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К. Математическая модель теплового баланса подземного плодовоовощехранилища с грунтовым аккумулятором естественного холода// Проблемы энерго-и ресурсосбережения. -Ташкент, 2021.- № 3. С. 153-163. (05.00.00; №21).

6. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К. Энергосбережение в системах холодоснабжения подземных плодовоовощехранилищ с использованием грунтового аккумулятора естественного холода// Проблемы энерго-и ресурсосбережения. -Ташкент, 2021.- № 4. С. 208-220. (05.00.00; №21).

II бўлим (II част, part II)

7. Узоқов Ғ.Н., Давлонов Ҳ.А., Яхшибоев Ш.К., Алимардонов Ҳ.А., Чўлиев С.Э. Ҳавонинг эркин ҳаракатида горизонтал қувурни иссиқлик бериш коэффициентини ҳисоблаш дастури// Ўзбекистон Республикаси адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк агентлиги. Гувоҳнома № DGU 08534. 11.06. 2020 й.

8. Узоқов Ғ.Н., Яхшибоев Ш.К., Алимардонов Ҳ.А., Муродов И., Холиқулов Б.Ж. Совуқлик аккумулятори қувурининг иссиқлик ва гидродинамик ҳисоби// Ўзбекистон Республикаси адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк агентлиги. Гувоҳнома № DGU 10697. 10.03. 2021 й.

9. Узоқов Ғ.Н., Яхшибоев Ш.К., Алимардонов Ҳ.А. Табиий совуқлик тупроқ аккумуляторли мева-сабзавот сақлаш омборларининг иссиқлик балансини ҳисоблаш// Ўзбекистон Республикаси адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк агентлиги. Гувоҳнома № DGU 13089. 13.10. 2021 й.

10. Яхшибоев Ш.К. О целесообразности использования возобновляемых источников естественного холода в системах охлаждения подземных плодоовощехранилищ// Муқобил энергетика илмий-техник журнали.- Қарши, 2021.-№1(01) - С. 67-73.

11. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Мамедова Д.Н., Рузикулов Г.Ю. Пассивные системы аккумуляции естественного холода для хранения сельскохозяйственной продукции// Сборник XIV Международной научно-практической конференции. «Наука-Технология-Ресурсобережение», посвященной дню Российской науки. г Киров 2021. - С.157-160.

12. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Мамедова Д.Н., Чориева С.Ю., Хусунов Ш.Х. Грунтовые теплообменники с активными системами аккумуляции холода// Сборник XIV Международной научно-практической конференции «Наука –Технология-Ресурсобережение», посвященной дню Российской науки. г Киров 2021.- С.161-165.

13. Яхшибоев Ш.К., Хидиров М.М., Эргашев Ш.Х., Камолов Б.И., Шамуротова С.М. Аккумуляция естественного холода с использованием пассивных систем для хранения сельскохозяйственной продукции// Молодежь. Наука. Инновации. Сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых. г. Ярославль, 10-11 марта 2021- С.174-178.

14. Davlonov Kh.A., Dusyarov A.S., Yakhshibaev Sh.K., Pardaev Z.E., Toshbayev A.R. The use of heat pumps for heat supply of buildings and agricultural structures// «Новітні технології в агроінженерії проблеми та перспективи впровадження» I-Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції.г Полтава 2021.- С. 89-92.

15. Файзиев Т.А., Яхшибоев Ш.К., Эргашев Ш.Х., Рузикулов Г.Ю. Использование естественного холода для хранения сельскохозяйственной продукции// НАУКА-ПРАКТИКЕ Материалы II Международной научно-практической конференции. Барановичи БарГУ, 13 мая 2021.-С.203-206.

16. Яхшибоев Ш.К., Узоқова Ю.Ғ. Мева-сабзаёт сақлаш омборларида табиий совуқликдан фойдаланиш имкониятлари// “Ўзбекистон жанубида экологик тоза кишлок хўжалик маҳсулотларини етиштириш, сақлаш ва қайта ишлашнинг долзарб муаммолари” номли Респубилка илмий-техник анжумани мақолалар тўплами. Қарши: ҚарМИИ, 2022. Б.145-150.

17. Узоқов Ғ.Н., Яхшибоев Ш.К., Мамедова Д.Н., Хусенов А.А., Чулиев С.Э. Решение проблемы хранения сельскохозяйственных продуктов в плодоовощных хранилищах Узбекистана// Озиқ-овқат маҳсулотлари хавфсизлиги, ресурс, энергия тежамкор ва инновацион технологиялар самарадорлиги: //Халқаро миқёсидаги илмий-техник конференция материаллари.- Наманган: НМҚИ, 2019. Б. 281-283.

18. Узоқов Ғ.Н., Яхшибоев Ш.К. Использование возобновляемого природного холода в подземном овощехранилище в климатических условиях Узбекистана// RENES Қайта тикланувчи энергия манбалари ва барқарор атроф-муҳит соҳасидаги магистерлик дастурини ишлаб чиқиш лойиҳаси

доирасидаги: Халқаро илмий-амалий семинар конференция материаллари.- Гулистон: ГулДУ, 2019. Б. 184-187.

19. Яхшибоев Ш.К., Ярмагов О.Э. Қашқадарё иқлим шароитида энергия самарадор ер ости мева-сабзавот омборларида табиий совуқликни қўллаш истиқболлари. Инновацион тараққиётни амалга оширишда фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясининг аҳамияти: Республика илмий-амалий конференция материаллари.- Қарши: ҚМШИ. 2019.- Б. 248-250.

20. Яхшибоев Ш.К., Насруллаев. Ю.З. Ўзбекистон шароитида энергия самарадор ер ости мева-сабзавот омборларнинг исисиклик-намлик режимлари. RENES Қайта тикланувчи энергия манбалари ва барқарор атроф-муҳит физикаси: //Республика илмий-техникавий конференция материаллари.- Қарши: ҚарДУ, 2019. Б.157-159.

21. Яхшибоев Ш.К. Теплообмен в активных системах аккумуляирования естественного холода// Илм-фан тараққиётига ёшларнинг инновацион ёндошувлари: худудий илмий-амалий конференция материаллари.- Қарши: ҚМШИ, 2020.- Б.367-371.

22. Узоқов Ғ.Н., Яхшибоев Ш.К. Теплотехнический расчет пассивных систем аккумуляирования возобновляющихся природного холода// Қайта тикланадиган энергия манбалари, илмий тадқиқотлар, инновацион технологиялар ва ишланмалар: Республика илмий-амалий конференция материаллари.- Қарши: ҚМШИ, 2020. Б. 149-152.

23. Узоқов Ғ.Н., Рўзиқулов Ғ.Ю., Яхшибоев Ш.К. Теплотехнический расчет пассивных систем аккумуляирования возобновляющихся природного холода// Инновацион техника ва технологияларининг атроф муҳит муҳофазаси соҳадаги муаммо ва истиқболлари: Халқаро илмий-техник конференция материаллари.- Тошкент: ТДТУ, 2020. Б.187-190.

24. Яхшибоев Ш.К., Узоқов Ғ.Н., Михлиев Ш.Ш. Табиий совуқликни аккумуляция қилиш қурилмасида исисиклик алмашинув жараёнини тадқиқот қилиш// Илм-фан тараққиётига ёшларнинг инновацион ёндошувлари” мавзусидаги ёш олимлар ва иқтидорли талабаларнинг: Республика илмий-амалий конференция материаллари.- Қарши: ҚМШИ, 2021. Б. 3-6.

Автореферат “Инновацион технологиялар” илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва унинг ўзбек, рус, инглиз (тезис) тилларидаги матнлари мослиги текширилди.

Босишга рухсат этилди: 19.08.2022 йил
Бичими 60841/8 , “Times New Roman”
Гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табоғи 3,0 Адади: 80.
Буюртма:№29
ҚарМШИ “ИНТЕЛЛЕКТ”нашриёти МИУда чоп этилган.
Қарши шаҳри, Мустақиллик кўчаси, 225-уй.