

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ва  
ЭНЕРГЕТИКА ВА АВТОМАТИКА ИНСТИТУТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ  
16.07.2013.Т.02.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК-ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ**

**УЗОҚОВ ҒУЛОМ НОРБОЕВИЧ**

**МЕВА-САБЗАВОТ ОМБОРЛАРИ ИССИҚЛИК-СОВУҚЛИК  
ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИНИНГ ЭНЕРГЕТИК САМАРАДОРЛИГИНИ  
НОАНЪАНАВИЙ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИДАН ФОЙДАЛАНИБ  
ОШИРИШ УСУЛЛАРИ**

05.05.04 – Саноат иссиқлик энергетикаси  
(техника фанлари)

**ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2016

**Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата докторской диссертации**  
**Content of the abstract of doctoral dissertation**

Узоқов Гулом Норбоевич Мева-сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг энергетик самарадорлигини ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиб ошириш усуллари.....	3
Узаков Гулом Норбоевич Способы повышения энергоэффективности систем теплохладоснабжения плодоовощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии.....	29
Uzakov Gulom Norboyevich Ways of improving the energy efficiency of heat-cold fruit and vegetable storages, using alternative energy sources.....	55
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	77

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ва  
ЭНЕРГЕТИКА ВА АВТОМАТИКА ИНСТИТУТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ  
16.07.2013.Т.02.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК-ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ**

**УЗОҚОВ ҒУЛОМ НОРБОЕВИЧ**

**МЕВА-САБЗАВОТ ОМБОРЛАРИ ИССИҚЛИК-СОВУҚЛИК  
ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИНИНГ ЭНЕРГЕТИК САМАРАДОРЛИГИНИ  
НОАНЪАНАВИЙ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИДАН ФОЙДАЛАНИБ  
ОШИРИШ УСУЛЛАРИ**

05.05.04 – Саноат иссиқлик энергетикаси  
(техника фанлари)

**ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2016

**Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида №12.05.2015/В2015.1.Т468 рақам билан рўйхатга олинган.**

Докторлик диссертацияси Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институтида бажарилган.  
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.tdtu.uz) ва “ZIYONET” таълим ахборот тармоғида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

<b>Илмий маслаҳатчи:</b>	<b>Зоҳидов Ромэн Абдуллаевич</b> ЎзР ФА академиги, техника фанлари доктори, профессор
<b>Расмий оппонентлар:</b>	<b>Мухиддинов Джалолиддин Носирович</b> техника фанлари доктори, профессор <b>Авезов Раббанакул Раҳмонович</b> техника фанлари доктори, профессор <b>Искандаров Зафар Самандарович</b> техника фанлари доктори, профессор
<b>Етакчи ташкилот:</b>	<b>Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси</b> <b>Ион-плазма ва лазер технологиялари институти</b> <b>қошидаги Махсус конструкторлик-технологик бюроси</b>

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва Энергетика ва автоматика институти ҳузуридаги 16.07.2013.Т.02.01 рақамли илмий кенгашнинг 2016 йил “20” февраль соат 10<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@edu.uz](mailto:tstu_info@edu.uz)).

Докторлик диссертацияси билан Тошкент Давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( 09 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2016 йил “18” январь куни тарқатилди.  
(2016 йил “18” январдаги 02- рақамли реестр баённомаси)

**Н.Р.Юсупбеков**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш раиси  
ЎзР ФА академиги, т.ф.д., профессор

**О.О.Зарипов**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., доцент

**Ф.А.Хошимов**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси  
т.ф.д., профессор

## Кириш (Докторлик диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Дунёда анъанавий ёқилғи-энергетика ресурслари захирасининг камайиб бориши ва атроф-муҳитга экологик юкламанинг кучайиши оқибатида ёқилғи-энергетика ресурсларининг ишлатилишида энергия тежамкорлик масалалари долзарб муаммога айланди. Ҳозирги вақтда дунёда 20 % энергия ноанъанавий энергия манбалари ҳисобидан ишлаб чиқарилади ва қазиб олинмаган органик ёқилғиларнинг 30 % иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларида сарфланади. Шу сабабли, энергия тежамкорлик муаммоларини ечиш ва ноанъанавий қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни такомиллаштириш бўйича комплекс чора-тадбирларни амалга ошириш устувор вазифа ҳисобланади.

Ҳозирги кескин ўзгарувчан иқлим шароитида йиллик энергия истеъмолининг 49,6 %, яъни 24,5 тонна нефть эквивалентига тенг бўлган бирламчи энергия ресурслари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларида сарфланади. Қишлоқ хўжалиги саноатида эса йилига 6,8 % бирламчи энергия истеъмол қилинади. Мева-сабзавот омборларининг иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимлари ҳам ёқилғи-энергетика ресурсларини йирик истеъмолчилари бўлиб, омборларда барча технологик жараёнлар (маҳсулотларга сақлашдан олдин дастлабки ишлов бериш, совутиш, шамоллатиш, ҳавони намлантириш ва узок муддат совуқлик билан сақлаш) кўп миқдорда энергия талаб қиладиган жараёнлар ҳисобланади. Омборларнинг энергия баланси таҳлили шуни кўрсатадики, уларда солиштирма энергия сарфи 3000-3500 кВт.соат/тонна бўлиб, совутиш ва сақлаш жараёнларида эса 70 % гача электр энергияси сарф қилинади. Мева-сабзавот омборларида энергия тежамкорлик потенциални таҳлилига кўра, ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиб иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг энергетик самарадорлигини ошириш орқали катта миқдорда энергия ресурсларини иқтисод қилиш мумкин. Шу сабабли, совутиш камераларининг энергия истеъмолини камайтириш ва ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиб мева-сабзавот омборларининг энергия самарадор иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимини ишлаб чиқиш долзарб масалалардан бири ҳисобланади.

Шу жиҳатдан юқорида кўрсатиб ўтилган масалаларни ечиш учун ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиб иссиқлик-технологик жараёнларда энергия ресурсларини тежаш ва мева-сабзавот омборларининг энергетик самарадорлигини оширишга қаратилган махсус илмий тадқиқотларни ҳам амалга оширишни талаб қилади.

Бунда мева-сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларининг энергетик самарадорлигини ошириш усулларини ишлаб чиқишда совутиш камераларининг оптимал иссиқлик-намлик режимини таъминлашдаги энергия сарфига ва маҳсулотларнинг сақланишига таъсир қилувчи барча параметрларни ҳисобга оладиган турли хил нобарқарор иссиқлик-масса алмашинуви масалаларини ечиш зарурияти юзага келади.

Шу сабабли, ноанъанавий энергия манбаларини кўллаш орқали мева-сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларини энергетик самарадорлигини ошириш усулларини ишлаб чиқиш ва замонавий энергия тежамкор совутиш камералари ва омборларни кенг жорий этиш, мева-сабзавот омборларида технологик жараёнларнинг энергия сарфини ва мева-сабзавот маҳсулотларини сақлашдаги йўқотишларни камайтириш, совутиш камераларининг энергия балансини ва мева-сабзавотлар штабелида содир бўладиган иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларини чуқур тадқиқот қилиш асосида ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиб омборларнинг иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларини энергетик самарадорлигини ошириш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2013 йил 1 мартдаги ПФ-4512-сон «Муқобил энергия манбаларини янада ривожлантириш чоратadbирлари тўғрисида»ги Фармони ва 2013 йил 1 мартдаги ПҚ-1929-сон «Халқаро куёш энергияси институтини ташкил этиш тўғрисида»ги Қарорида белгиланган ноанъанавий қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни ривожлантириш ва амалиётга жорий этиш каби вазифалар ижросини муайян даражада амалга оширишда мазкур диссертация тадқиқоти хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги.** Мазкур диссертация республика фан ва технологиялари ривожланишининг ИТД-4-«Қайта тикланувчан энергия манбаларидан фойдаланиш методларини ривожлантириш, нанотехнология ва бошқа илғор технологиялар асосида технологиялар ва қурилмаларни яратиш» устувор йўналишига мос равишда бажарилган.

**Диссертациянинг мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи.** Мева-сабзавот маҳсулотларини сақлаш бўйича янги энергия ва ресурстежамкор технологияларни яратиш, иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларини математик моделлари ва мева-сабзавот совутиш камераларида оптимал гигротермик шароитни сақлаш методларини ишлаб чиқиш бўйича назарий ва амалий тадқиқотлар Кентукки давлат университети (АҚШ), FranceAgriMer, Aereco SA (Франция), Shanghai Kingram Refrigeration.CO (Хитой), Ямагата университети (Япония), Халқаро совуқлик академияси (ХСА, Россия), «Плодоовощпроект» ИИМ (Белоруссия), Mitsubishi (Япония), Gigroterm LLC (Россия), Agrofresh (Испания), Eliwell Controls SRL (Италия) ва бошқа мамлакатларнинг йирик фирмалари, компаниялари, илмий марказлари, олий таълим муассасалари ва илмий-тадқиқот институтларида самарали илмий изланишлар олиб борилмоқда ва натижалар амалиётга жорий қилинмоқда.

Ривожланган хорижий мамлакатларнинг йирик илмий-тадқиқот марказлари, университетлари, илмий-тадқиқот институтлари ва компаниялари томонидан мева-сабзавотларни сақлаш тизимида энергия ресурстежамкор технологияларни ишлаб чиқиш, омборларнинг иссиқлик-совуқлик таъминотида ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиш

усулларини яратиш бўйича яқин йиллардаги олиб борилган тадқиқотларининг асосий натижалари қуйидагилардан иборат: совутиш тизимлари ва қурилмаларини такомиллаштириш асосида мева-сабзавот маҳсулотларини замонавий сақлаш технологиялари яратилган (Жанубий Корея, Wecan Acrotexservis); омборларнинг замонавий вентиляция тизимлари, «сендвич» панелли энергия тежамкор иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимлари ишлаб чиқилган (Голландия, East Ref оу; Финляндия, Tolsma Techniek); мева-сабзавот совутиш камераларини иссиқлик насосли ҳавони кондиционерлаш тизимлари, мева-сабзавот омборлари девор конструкцияларининг иссиқлик-техник характеристикаларини оптималлаш методлари, омборларнинг энергия тежамкор режимлари ва иссиқлик режимини автоматик бошқариш тизимлари ишлаб чиқилган (Россия, ОВЕН компанияси, Халқаро Совуқлик Академияси); ростланадиган газли муҳитда сақлаш ва «тезкор совутиш» каби замонавий энергия тежамкор технологиялар яратилган (Хитой, Shanghai Kingram Refrigeration.CO); мева-сабзавот маҳсулотларни сақлаш учун янги энергия самарали совутиш камералари яратилган (Испания, Agrofresh.); совутиш камераларини рекуператор ҳаво совутгичли совутиш тизимлари ва маҳсулотларни нейтрал газли муҳитда сақлаш методлари ишлаб чиқилган (Италия, Eliwell Controls SRL).

Ҳозирги вақтда ноанъанавий энергия манбаларидан самарали фойдаланиш, табиий совуқликни жамлаш, вентиляция ҳавосини намлантириш, актив вентиляция тизимларини такомиллаштиришга асосланган мева-сабзавот омборларида иссиқлик-намлик жараёнларини оптималлаш ва энергия самарали иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларини ишлаб чиқиш бўйича устувор йўналишларда илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Мева-сабзавотларни сақлаш бинолари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларининг энергетик самарадорлигини ошириш усулларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотларга тегишли бўлган сўнги йиллардаги илмий-техник адабиётлар таҳлили ушбу соҳада аҳамиятли даражадаги назарий ва амалий натижаларга эришилганидан далолат беради.

Мева-сабзавот омборларининг энергетик самарадорлигини ошириш ва энергия тежамкорлик муаммоларига бағишланган кўп сонли илмий ишлар эълон қилинган. Дунёнинг барча ривожланган мамлакатларида совутиладиган мева-сабзавот омборларида озик-овқат маҳсулотларини энергия тежамкор сақлаш технологиялари, сақлаш усуллари, иссиқлик-намлик жараёнларни оптималлаш ва бошқариш, ҳамда самарали иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимлари ишлаб чиқиш амалга оширилмоқда ва амалиётга жорий қилинмоқда. Бу соҳадаги турли назарий ва амалий масалаларга кўп сонли илмий монографиялар, тўпламлар ва мақолалар бағишланган. Бу соҳадаги муаммоларни ҳал қилишда турли мамлакатлар олимларининг, жумладан Levy F.A., Tamm W., Turi A., Knabe G., Алмаши Э., Нестеренко А.В., Дячек П.И., Волков М.А., Жадан В.З., Чижов Г.Б., Волкинд

И.Л., Тихонов Б.С., Худайбердиев Б.Х., Магтымов Г.М., Чумак И.Г., Янюк В.А. ва бошқаларнинг хизмати каттадир. Иссиқлик насосли иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар Захидов Р.А., Авезов Р.Р., Мухиддинов Д.Н., Вардияшвили А.Б. ва бошқа ўзбек олимлари томонидан олиб борилган.

Юқорида келтирилган масалаларни ечиш борасида чет элдаги каби бизнинг мамлакатда ҳам алоҳида тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Лекин, ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиш асосида мева-сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг энергетик самарадорлигини ошириш масалалари ҳозиргача кам ўрганилган, ўзгарувчан иқлим шароитида мева-сабзавот омборларининг энергия баланси ва энергия режимини тадқиқот қилиш методикаларини ишлаб чиқиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Иссиқлик насосли қурилмадан фойдаланиб “Сабзавот омбори - гелиоиссиқхона” кўшма тизимнинг иссиқлик-энергетик кўрсаткичлари ва энергия режими етарлича тадқиқот қилинмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилаётган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги қуйидаги лойиҳаларда акс эттирилган: А-12-135 сонли “Ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиб сабзавот омборларининг иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимини ишлаб чиқиш ва тадқиқот қилиш” (2006-2008 йй.) ва А-13-031 сонли “Ноанъанавий ва қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиб гелиотехник комплексида сабзавотларни етиштириш ва сақлашда энергия тежаш” (2009-2011 йй.) мавзулардаги амалий лойиҳалар; ОТ-ИД/11-4-3 сонли “Хусусий энергия балансли кўчма мева-сабзавот сақлаш қурилмасини ишлаб чиқариш” (2011-2012 йй.) ва ИТД-4-06 сонли “Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиб совутиш камераларининг энергия тежамкор ёпиқ энергия таъминоти ва вентиляция тизимини ишлаб чиқиш” (2012-2014 йй.) мавзулардаги инновацион лойиҳалар.

**Тадқиқотнинг мақсади** ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиш асосида мева-сабзавот омборларининг энергия самарадор иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

мева-сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларининг замонавий ҳолатини таҳлил қилиш, уларнинг энергетик ва техник-иқтисодий кўрсаткичларини баҳолаш;

мева-сабзавот омборларининг энергия балансини тадқиқот қилиш ва иссиқлик-совуқлик таъминоти тизими энергетик самарадорлигини оширишнинг асосий йўналишларини аниқлаш;

маҳсулотларни масса йўқотишига ва иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларининг тезлигига таъсир этувчи мева-сабзавотларнинг иссиқлик-физикавий характеристикаларини экспериментал тадқиқот қилиш;

совутиш камераларида иссиқлик ва масса алмашинуви жараёнларини моделлаштириш ва тадқиқот қилиш, мажбурий ва табиий конвекция



шароитида иссиқлик бериш ва масса алмашинуви коэффициентларини ҳисоблаш учун мезонли ўхшашлик тенгламаларини олиш;

ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиш асосида мева-сабзаёт омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг принципиал схемасини ишлаб чиқиш ва энергетик самарадорлигини тадқиқот қилиш;

табiiй иқлим шароитларини таҳлил қилиш ва совутиш камерасининг иссиқлик-намлик балансини ҳисоблаш;

совутиш камераларининг вентиляция ташландиқ иссиқлигини иссиқлик насосли утилизация қилиш тизими энергетик самарадорлигини оширишнинг илмий асосларини ишлаб чиқиш;

ноанъанавий энергия манбалари қўлланиладиган “Сабзаёт омбори – гелиоиссиқхона” энергия тежамкор қўшма тизимни ишлаб чиқиш ва энергетик самарадорлигини баҳолаш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида ноанъанавий энергия манбаларини қўлланилишига асосланган мева-сабзаёт омборларининг энергия таъминоти тизимлари қаралган.

**Тадқиқотнинг предмети** – иссиқлик-масса алмашинуви жараёнлари, энергия самарадор иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимлари.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида феноменологик термодинамика, иссиқлик ва масса алмашинуви назарияси, физик-математик моделлаштириш, иссиқлик-техникавий ҳисоб ва тажриба, ўлчамликлар ва ўхшашлик назарияси усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

мева-сабзаёт омборларининг иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимида ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланишнинг илмий асосланган принципиал схемалари ишлаб чиқилган;

паст потенциалли вентиляция чиқинди иссиқлиги, мева-сабзаёт маҳсулотларининг нафас олиш иссиқлиги ва совутиш агентининг конденсацияланиш иссиқлигини утилизация қилиш усулига асосланган, қўшимча иссиқ сув олинадиган иссиқлик насосли иссиқлик-совуқлик таъминоти тизими ишлаб чиқилган;

илк бор омборларда оптимал намлик режимини сақлаш учун қуёш энергияси ва совутиш камерасининг паст потенциалли чиқинди иссиқлиги қўлланиладиган энергия самарадор ҳавони намлантириш тизими ишлаб чиқилган;

совутиш цикли орқали бир вақтда иситиш ва совутиш амалга ошириладиган энергия самарадор “Сабзаёт омбори - гелиоиссиқхона” қўшма термодинамик тизими ишлаб чиқилган;

совутиш камераси ва маҳсулотлар штабелида нобарқарор иссиқлик-намлик режимини чуқур тадқиқот қилиш имконини берадиган, маҳсулотларни табiiй совуқлик билан совутишда иссиқлик ва масса алмашинуви жараёнларининг такомиллаштирилган математик модели ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

паст потенциалли вентиляция чиқинди иссиқлиги, маҳсулотларнинг “нафас олиш иссиқлиги” ва совутиш агентининг конденсацияланиш иссиқлигини утилизация қилишга асосланган ва қўшимча иссиқ сув олинадиган иссиқлик насосли иссиқлик-совуқлик таъминоти тизими ишлаб чиқилган ва анъанавий тизимларга нисбатан 23,4% бирламчи энергия ёки 88,7 кг ш.ё./тонна ёқилғи тежалишига эришилган (№ IAP 2010 0134 рақамли Ўзбекистон Республикаси патенти билан ҳимояланган);

омборларда оптимал намлик режимини сақлаш учун қуёш энергияси ва совутиш камерасининг паст потенциалли чиқинди иссиқлиги қўлланиладиган ҳавони намлантириш усули ишлаб чиқилган ҳамда омборларнинг технологик эҳтиёжи учун ишлатиладиган иссиқ сувга бўлган талабини тўлиқ таъминлаш ва 14068 м<sup>3</sup> табиий газни ёки 17,28 тонна шартли ёқилғини тежашга эришилган (№ IAP 2010 0226 рақамли Ўзбекистон Республикаси патенти билан ҳимояланган);

мева-сабзавот маҳсулотлари йўқотилишини камайтириш имконини берадиган чуқурлаштирилган омборларда маҳсулотларни табиий совуқлик билан совутилишида содир бўладиган иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларини ҳисоблаш методикаси ишлаб чиқилган ҳамда мажбурий ва эркин конвекция шароитида мева-сабзавотлар штабелини совутилишида иссиқлик бериш ва масса алмашинуви коэффициентларини аниқлаш учун мезонли тенгламалар таклиф этилган;

ноанъанавий энергия манбаларидан самарали фойдаланиш имконини берадиган энергия самарадор “Сабзавот омбори - гелиоиссиқхона” қўшма тизими ишлаб чиқилган (№ 00683 UZ FAP 2009 0120 рақамли Ўзбекистон Республикаси патенти олинган).

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги** математик физика ва иссиқлик-масса алмашинуви назариясининг мос бўлимлари асосида ишлаб чиқилган адекват математик моделларга асосланган замонавий тадқиқот методларини қўлланилиши билан таъминланган. Мева-сабзавот совутиш камераларида олинган тажриба ва ҳисоб маълумотларининг қиёсий таҳлили ва уларнинг ўзаро мослиги тадқиқот натижаларини ишончилигини тасдиқлайди.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқотда олинган натижаларининг илмий аҳамияти ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиб, мева-сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг энергетик самарадорлигини ошириш усуллари ва илмий асосларини яратиш, совутиш камераларида маҳсулотларни табиий совуқлик билан совутишда иссиқлик ва масса алмашинуви жараёнларининг математик моделларини ишлаб чиқиш ҳамда эркин ва мажбурий конвекция шароитида иссиқлик бериш коэффициентини ҳисоблаш учун мезонли тенгламаларни таклиф этилишидан иборат.

Олинган натижаларнинг амалий аҳамияти қуёш-иссиқлик насосли қурилмали совутиш камераларининг энергия сарфи ва ноанъанавий энергия манбалари қўлланиладиган “Сабзавот омбори - гелиоиссиқхона” янги қўшма

тизимнинг энергетик самарадорлигини муҳандислик ҳисоблаш методикаларини ишлаб чиқишдан иборат. Тадқиқот натижалари мева-сабзавот омборларининг анъанавий тизимларига нисбатан маҳсулот исрофи кам ва кичик энергия сарфига эга бўлган, юқори энергия самарадор иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларини ишлаб чиқишга имкон беради.

**Тадқиқот натижаларнинг жорий қилиниши.** Иссиқлик насосли иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг схемалари, мева-сабзавот омборларнинг энергетик самарадорлигини ошириш усуллари, энергия самарадор “Сабзавот омбори-гелиоиссиқхона” қўшма тизими ва пиролиз қурилмалари Ўзбекистон Республикаси қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлиги тизимига кирувчи корхоналар, жумладан, Қашқадарё вилоятининг «Бахт», «Довруғ» ва «Нишонбой Алламуратович» фермер хўжаликларида жорий этилган бўлиб, мева-сабзавот омборларининг энергия таъминотида 23,4 % (721,8 кВт.соат/тонна) энергия сарфи камайиши ва омборларнинг технологик эҳтиёжи учун ишлатиладиган иссиқ сув таъминотида 14068 м<sup>3</sup> табиий газ (17,28 тонна шартли ёқилғи) тежалиши ҳисобига умумий ўртача йиллик иқтисодий самара 104 млн. сўмни ташкил этган (Ўзбекистон Республикаси қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлигининг 2015 йил 27 апрелдаги 02/15-350-сон маълумотномаси).

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 30 та илмий-амалий конференцияларда апробациядан ўтган, шулар жумласидан, 18 та халқаро конференция, симпозиум, конгресс ва семинарларда, хусусан, халқаро: «Инновация» (Бухоро, 2000; Тошкент, 2001, 2008, 2009); «Физиканинг фундаментал ва амалий масалалари» (Тошкент, 2004-2010); «Қайта тикланувчи энергия манбалари ва гелиоматериалшунослик» (Тошкент, 2005); «Энергетиканинг ривожланиш истиқболлари ва замонавий ҳолати» (Тошкент, 2006); «Муқобил энергетика ва энергия хавфсизлиги муаммолари» (Бишкек, 2008); «Техник фанлар: муаммолар ва истиқболлар» (Санкт-Петербург, 2011); «Техник фанлар: Россия ва чет элларда» (Москва, 2011); «Қишлоқ хўжалигида энергия тежамкорлик ва энергия таъминоти» (Москва, 2012); «Энергия тежамкор технологиялар ва улардан самарали фойдаланиш муаммолари» (Волгоград, 2013); International Scientific and Practical Conference «Science and Society» (London, 2014).

**Тадқиқот натижаларнинг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 66 та илмий иш, шу жумладан, 3 та монография, улардан 2 таси хорижда чоп этилган, 27 та илмий мақолалар, улардан 13 таси хорижий журналларда нашр қилинган ҳамда 3 та илмий ихтиро учун патент олинган.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, 197 саҳифадан иборат матн, 51 та расм, 19 та жадвал ва 16 та иловадан иборат.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, ҳамда объект ва предметлари шакллантирилган, республика фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамиятлари очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий қилиш рўйхати, ишнинг апробацияси натижалари, эълон қилинган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг биринчи **«Мева-сабзавот омборларининг замонавий иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимлари таҳлили»** бобида совутиш камералари ва сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларининг замонавий ҳолати таҳлил қилинган, уларнинг энергетик ва техник-иқтисодий кўрсаткичлари ва мева-сабзавот омборларида энергия тежамкорликнинг замонавий усуллари баҳоланган.

Сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти бўйича бажарилган илмий тадқиқотларнинг таҳлили натижалари шуни кўрсатадики, жуда кўплаб илмий ишлар асосан совутиладиган биналарни микроиклимнинг иссиқлик-техникавий ҳисоби ва озик-овқат маҳсулотларини сақлашнинг иссиқлик-намлик режимини тадқиқот қилишга бағишланган.

Шуни таъкидлаш керакки, бажарилган илмий тадқиқотларда мева-сабзавотлар сақланадиган совутиш камераларида иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларини чуқур тадқиқот қилиш асосида ноанъанавий энергия манбалари (НЭМ) дан фойдаланиб сабзавот омборларининг иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг энергетик самарадорлигини ошириш масалалари етарлича ўрганилмаган.

Бажарилган илмий таҳлил асосида ва НЭМдан фойдаланиб мева-сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларида энергия тежаш соҳасидаги тадқиқотлар кўламининг кенгайиш тенденцияларини ҳисобга олиб диссертациянинг мақсади ва вазифалари шакллантирилди.

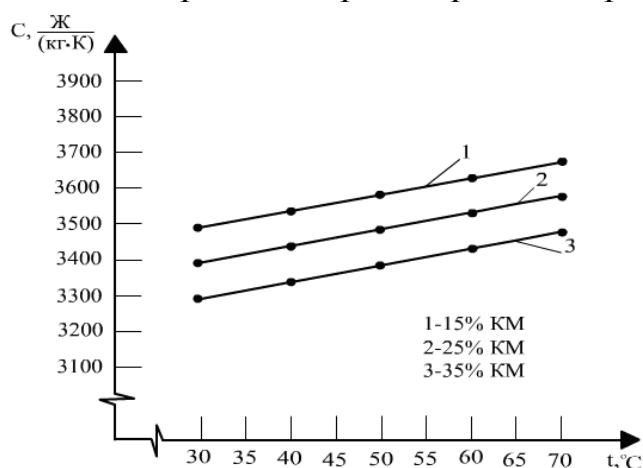
Иккинчи **«Совутиладиган мева-сабзавот омборларида сақланадиган мева-сабзавот маҳсулотларининг иссиқлик-физикавий тавсифлари»** бобида маҳсулотларни совутиш жараёнида намлик йўқотиши, омборларнинг энергия балансига ва иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларига таъсир қилувчи иссиқлик-физикавий характеристикалари (ИФХ)ни тадқиқ қилиш натижалари келтирилган.

Мева-сабзавот омборларида содир бўладиган иссиқлик-масса алмашинуви жараёнлари, маҳсулот ва совутовчи ҳаво ўртасидаги иссиқлик алмашинуви, камеранинг энергетик режими, энергия баланси, сақлаш жараёнида маҳсулотнинг намлик йўқотиши, камераларда оптимал ҳарорат режимини ўрнатилишида совуқлик ва иссиқлик сарфи асосан сақлаш объектлари (мева ва сабзавотлар)нинг ИФХга боғлиқ бўлади.

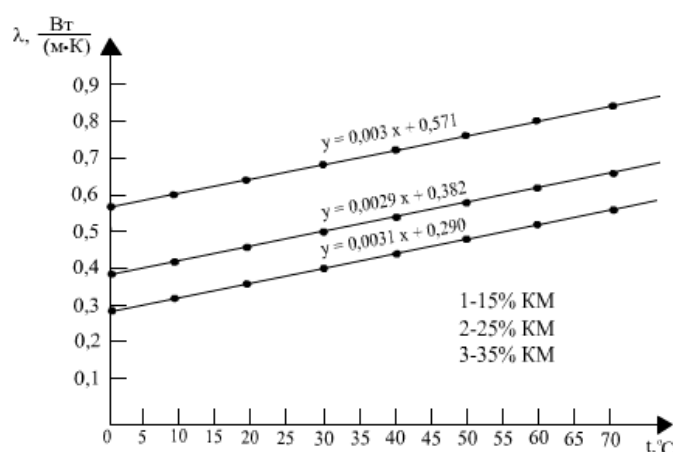
Кўп ҳолларда озиқ-овқат маҳсулотларининг ИФХ, яъни иссиқлик сиғими, иссиқлик ўтказувчанлик ва ҳарорат ўтказувчанлик коэффициентлари ( $c$ ,  $\lambda$ ,  $a$ ) тадқиқотларда адабиётлардан турли тадқиқотчилар томонидан аниқланган жадвал маълумотлари сифатида қабул қилинади.

Лекин бу маълумотлар ҳамини ҳам амалиётда аниқ натижаларга мос келмайди, баъзи маҳсулотларнинг ИФХ ҳақида маълумотлар маълум эмас ва ўрганилмаган. Шу сабабли, диссертацияда омборларда иссиқлик-намлик режими ва иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларини тадқиқот қилишдан аввал, сақланадиган маҳсулотларнинг ИФХни тажрибада тадқиқ қилиш ва ҳаққоний натижалар олиш мақсади белгиланди.

Картошкани ҳарорат ўзгариши ва таркибидаги қуруқ модда миқдорига боғлиқ равишда иссиқлик сиғими калориметрик ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти эса цилиндрик зонд методлари ёрдамида тажрибада аниқланди. Тажриба натижалари 1 ва 2- расмларда келтирилган.



1-расм. Ҳарорат ва қуруқ модда миқдорига боғлиқ ҳолда картошка солиштирма иссиқлик сиғимининг ўзгариш графиги



2-расм. Ҳарорат ва қуруқ модда миқдорига боғлиқ ҳолда картошка иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг ўзгариш графиги

Омборларнинг энергия баланси ва энергетик режимининг тўлақонли тадқиқот қилиш учун алоҳида олинган баъзи маҳсулотлар (сабзи, олма ва лимон)нинг ИФХлари аниқланди. Олинган натижалар таҳлили шуни

кўрсатдики, картошка маҳсулотининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ва иссиқлик сифими камера ҳавосининг ҳарорати ва маҳсулотдаги қуруқ модда миқдорига боғлиқ бўлади. Мева-сабзавотларнинг тажрибада олинган ИФХлари сабзавотлар штабелини мажбурий ва эркин конвекция шароитида совутишда иссиқлик ва масса алмашинувини реал моделларини тузишга имкон беради.

Учинчи «**Ноанъанавий энергия манбалари қўлланиладиган мева-сабзавот совутиш камераларида иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларини моделлаштириш ва ҳисоблаш**» бобида совутиш камерасида маҳсулотларни мажбурий ва табиий конвекция шароитида совутилишида содир бўладиган иссиқлик ва масса алмашинуви жараёнларини моделлаштириш ва тадқиқот қилишга бағишланган ҳамда Қашқадарё вилояти иқлим шароитида маҳсулотларнинг намлик йўқотишига қуёш нурланиши интенсивлигининг таъсири масалалари кўриб чиқилган.

Тажрибавий совутиш камерасида мажбурий ва табиий конвекция шароитида картошкани совутишда конвектив иссиқлик алмашинуви жараёнлари тажрибада тадқиқот қилинган.

Иссиқлик бериш юзаси  $F=1,92 \text{ м}^2$  бўлган тажрибавий штабелни актив вентиляция қилиш орқали совутишда олинган тадқиқот натижалари ўхшашлик назарияси ва ўлчамликлар методи асосида умумлаштирилган ва қуйидаги мезонли тенглама ҳосил қилинган:

$$Nu = 0,027 Re^{0,98}, \text{ бунда } 180 \leq Re \leq 1800. \quad (1)$$

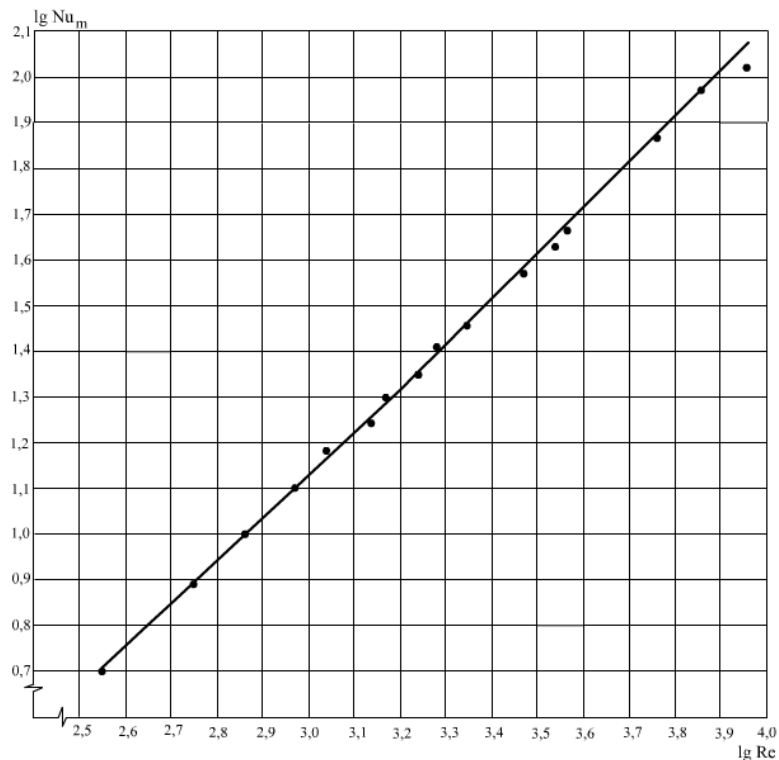
Совутиш камерасида ҳавонинг эркин конвекция шароитида ўтказилган тажрибалар орқали иссиқлик алмашинувини ифодаловчи қуйидаги мезонли тенглама олинган:

$$Nu = 0,02(Gr \cdot Pr)^{0,5}, \text{ бунда } 35 \cdot 10^3 \leq (Gr, Pr)_{жс} \leq 35,4 \cdot 10^4. \quad (2)$$

Олиб борилган тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатдики, эркин конвекция шароитида картошка сиртидан ҳавога иссиқлик бериш коэффициенти асосан маҳсулот сирти билан шу сиртни ювувчи ҳаво ҳарорати фарқига, ҳамда маҳсулотнинг геометрик ўлчамларига ва уюмнинг ғоваклигига боғлиқ бўлади. Қаралаётган ҳолатда картошка сиртидан ҳавога иссиқлик бериш коэффициенти эркин конвекция шароитида  $\alpha=2,2 \div 7,92 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{к})$ , мажбурий конвекция шароитида эса  $\alpha=4,4 \div 22,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{к})$ га тенг бўлиши аниқланди.

Мева-сабзавотлар штабелида содир бўладиган иссиқлик алмашинуви жараёнлари намлик массасининг кўчиши билан бирга кечади.

Масса алмашинуви коэффициетини аниқлаш учун тажрибавий картошка штабелини ҳарорати  $t_x=0^\circ\text{C}$  табиий совуқ ҳаво билан совутишда тадқиқотлар ўтказилди. Бериладиган ҳавонинг параметрлари амалиётда кенг қўлланиладиган ораликда ўзгартирилди (тезлик  $0,1 \div 2,5 \text{ м/с}$ ; ҳавонинг нисбий намлиги  $80 \div 90 \%$ ). Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, ҳавонинг ҳарорати  $0 \div 15^\circ\text{C}$  ораликда ўзгаришида Прандтл мезони ўзгармасдан қолади, яъни,  $Pr_m = 0,55$  га тенг бўлади. Тажрибавий тадқиқотлар натижалари 3-расмда келтирилган.



3-расм.  $Nu_m=f(Re)$  боғлиқлик графиги

3-расмда келтирилган натижалар ва тажриба маълумотларини ўхшашлик назарияси методи билан умумлаштириш ва ишлов бериш орқали қуйидаги мезонли тенгламалар олинди:

$$Nu_m = 0,0238 Re^{0,93}, \quad \text{бунда } Re = 3,65 \cdot 10^2 \div 9,12 \cdot 10^3. \quad (3)$$

Тажриба натижалари шуни кўрсатадики, ҳаво билан совутиш жараёнида маҳсулот сиртидан масса алмашинув коэффиценти ҳаво оқимининг тезлигига кўпроқ боғлиқ бўлади. Ҳавонинг нисбий намлиги ўзгармас ҳолатда ҳаво оқимининг тезлиги 0,1÷2,0 м/с га ортиб боришида масса алмашинуви коэффиценти 23,6 мартага ортади.

Диссертацияда совутиш камерасида маҳсулотларни табиий совуқлик билан совутилишида иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларининг математик модели таклиф этилган.

Иссиқлик-масса алмашинуви ва иссиқлик ўтказувчанлик билан боғлиқ дифференциал тенгламалар Рунге-Кутта методи ёрдамида сонли усулда ечилган. Маҳсулотни совутиш масаласини сонли ечими қуйидаги чекланишлар асосида амалга оширилган: криоскопик ҳароратдан юқори ҳароратларда маҳсулотларнинг (олма) иссиқлик-физикавий характеристикалари ( $\lambda$ ,  $c_p$ ,  $\rho$ ,  $a$ ) ўзгармайди; қатламни алоҳида элементларининг тегиб туришидаги иссиқлик ўтказувчанлиги ҳисобга олинмайди; мевалар (қишги навли олма) эквивалент диаметрли шарсимон модда сифатида қаралади; маҳсулотларнинг ҳақиқий сирти эмас, балки иссиқлик ва масса алмашинувининг эффектив сирти ҳисобга олинади.

Мева-сабзавотлар қатламида иссиқлик алмашинуви жараёнини маҳсулотни алоҳида олинган элементининг нобарқарор ҳарорат режими билан биргаликда ўрганиш зарур. Мева-сабзавотлар қатлаmidан ўтаётган

хаво ҳарорати ҳам фазода ва ҳам вақт давомида ўзгариб боради. Шу сабабли масаланинг ечими ўзаро боғлиқ бўлган иккита ҳарорат майдонини ўз ичига олади, яъни биринчиси маҳсулот элементлари учун, иккинчиси эса совуtuvчи ҳавога тегишлидир.

Юқорида қабул қилинган чекланишларга мувофиқ мева-сабзавотлар сиртини ҳарорати ва совутиш давомийлигини аниқлаш масаласи шарсимон жисмнинг иссиқлик ўтказувчанлик дифференциал тенгламасини ечишга келтирилади:

$$\rho \frac{\partial i}{\partial \tau} = \lambda \left[ \frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right]; \quad (4)$$

$$\partial i = c_p \cdot \partial t, \quad (5)$$

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}, \quad (6)$$

(5) ва (6) ифодаларни ҳисобга олсак:

$$\frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} = a \left[ \frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right]; \quad (7)$$

бошланғич шартларни қуйидаги ёзиш мумкин:

$$\tau=0, t(r, 0) = t_m^0; \quad (8)$$

учинчи тур чегара шартлари:

$$\alpha [t(R, \tau) - t_x] = -\lambda \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r}, \quad (9)$$

бунда,  $i$  – солиштирма энтальпия, Дж/кг;  $a$  – маҳсулотнинг ҳарорат ўтказувчанлик коэффиценти, м<sup>2</sup>/с;  $c_p$  – маҳсулотнинг изобарик иссиқлик сифими, ж/(кг·к);  $\rho$  – маҳсулотнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $t_m^0$  – маҳсулотнинг ўртача бошланғич ҳарорати,  $t_m^0=25$  °С;  $t(r, \tau)$  – маҳсулотнинг радиуси ( $r$ ) ва вақтга ( $\tau$ ) боғлиқ ҳарорати, °С;  $\tau$  – вақт, сек;  $t_x^0$  – совутиш учун бериладиган ҳаво ҳарорати, °С;  $t_x^0=0$ °С;  $\alpha$  – маҳсулот сиртидан ҳавога иссиқлик бориш коэффиценти, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Олмани совутилишида камерада содир бўладиган иссиқлик ва масса алмашинуви жараёнларини моделлаштиришда қуйидаги чекланишлар қабул қилинган:

- совутиш камераси тўпланган параметрларга эга объект сифатида каралади;

- камерага кирадиган умумий иссиқлик ўзгармас;

-ҳисобий  $\Delta t$  вақт ичида иссиқлик ва масса алмашинуви коэффицентилари, ҳамда камерага киритиладиган совуtuvчи ҳавонинг иссиқлик физикавий параметрлари ўзгармасдан қолади.

Қабул қилинган чекланишларга мувофиқ совутиш камерасининг иссиқлик ва намлик баланси қуйидаги дифференциал тенгламалар билан ифодаланади:

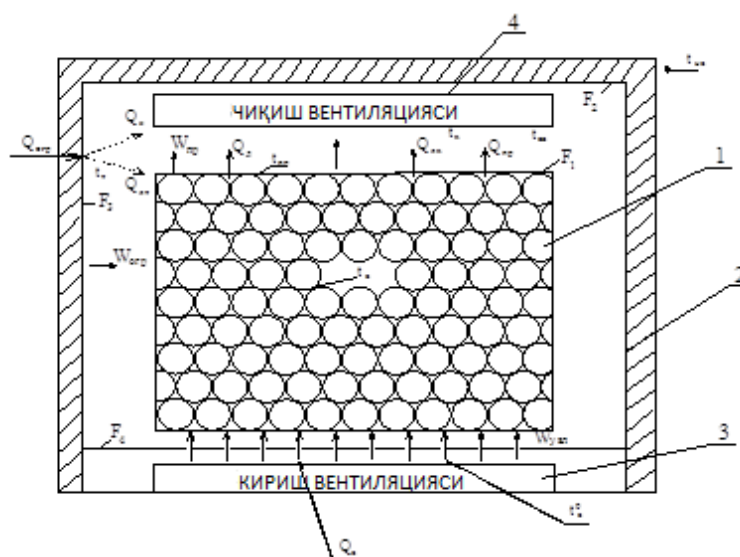
$$c_x \cdot \rho_x \cdot V_{кам} \cdot \left( \frac{dt_x}{d\tau} \right) = Q_m + Q_k + Q_{hx} + Q_x + Q_n + Q_{экс}, \quad (10)$$



$$\rho_x \cdot V_{кам} \cdot \left( \frac{d(d_x)}{d\tau} \right) = W_k + W_m + W_{нам}, \quad (11)$$

бунда  $V_{кам}$  – камера ҳажми, м<sup>3</sup>;  $\rho_x$  – ҳавонинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $c_x$  – ҳавонинг иссиқлик сифими, Ж/(кг·°С);  $Q_k$  – совутиладиган маҳсулотдан ҳавога ўтадиган иссиқлик, Вт;  $Q_t$  – ташқи вентиляция ҳавоси билан кирадиган иссиқлик оқими, Вт;  $Q_x$  – деворлар орқали кирадиган иссиқлик, Вт;  $Q_{нх}$  – маҳсулотдан нурланиш орқали чиқадиган иссиқлик, Вт;  $Q_n$  – маҳсулотларнинг нафас олиш иссиқлиги, Вт;  $Q_{экс}$  – эксплуатацион иссиқлик оқимлари, Вт;  $W_k$  – маҳсулотнинг намлик йўқотиш миқдори, кг/с;  $W_m$  – девор орқали кирадиган намлик, кг/с;  $W_{нам}$  – намлантирилган вентиляция ҳавоси билан кирадиган намлик, кг/с.

Камеранинг иссиқлик-намлик балансининг ҳисобий схемаси 4-расмда келтирилган.

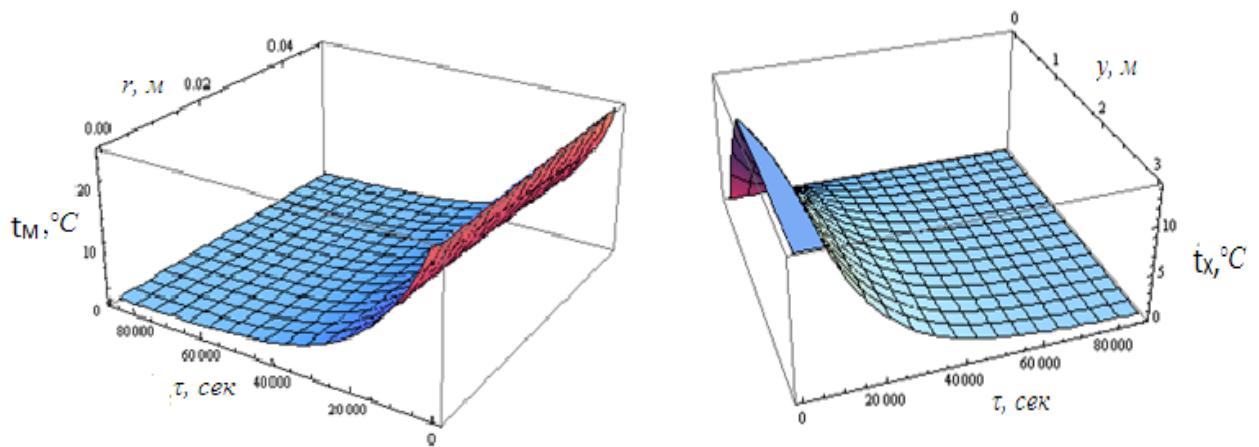


1–маҳсулот; 2–камеранинг ташқи девори; 3–кириш вентиляцияси;  
4–чиқиш вентиляцияси.

**4-расм. Камерани табиий совуқлик билан актив вентиляция қилишда иссиқлик-намлик балансининг ҳисобий схемаси**

Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси (7), совутиш камерасининг иссиқлик ва намлик балансини ифодаловчи дифференциал тенгламалар (10) ва (11) камеранинг технологик ва конструктив параметрлари ўзаро боғлиқлигини ва уларни вақт давомида ўзгаришини аниқлайди (совутиш камерасида ҳавонинг намлиги ва ҳарорати, маҳсулотнинг ўртача интеграл ҳарорати ва намлик йўқотиш миқдори).

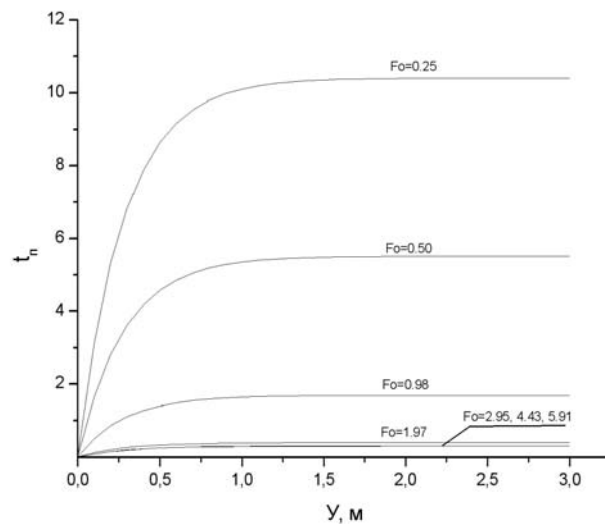
Сонли тажрибалар натижалари 5-6-расмларда келтирилган. Табиий совуқлик билан совутиш шароити таҳлили шуни кўрсатадики, маҳсулотни совутиш давомийлигига совутувчи ҳавонинг ҳарорати, намлиги ва тезлиги катта таъсир қилади. Ҳароратнинг камайиши ва ҳаво оқимининг тезлиги ортиши билан совутиш жараёни тезлашади, лекин бунда маҳсулотнинг намлик йўқотиши орта бошлайди.



а) б)

а – маҳсулот ҳароратининг ўзгариши;  
 б – штабель ичидаги ҳаво ҳароратининг ўзгариши.

**5-расм. Актив вентиляция шароитида табиий совуқлик билан совутилишида олма штабелини ҳарорат режими**



**6-расм. Маҳсулот сирти ҳароратининг штабел баландлиги ва совутиш давомийлигига боғлиқ ўзгариши**

Қуёш радиацияси интенсивлигини ҳисобга олиб омбор деворида иссиқлик алмашинуви жараёнларини тадқиқот қилиш натижалари келтирилган. Мева-сабзавот омборларида қуёш нурланиш интенсивлигининг камеранинг иссиқлик баланси ва маҳсулотлар намлигини йўқотишига таъсири тадқиқот қилинган.

Тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатадики, камера ички ҳавоси ва ташқи атроф-муҳит ҳароратлари фарқи таъсирида девор орқали (том қисми) кирадиган штабелга йўналган максимал иссиқлик оқими ( $9 \text{ Вт/м}^2$ ) ва қуёш радиацияси ҳосил қилган қўшимча иссиқлик ( $8,25 \text{ Вт/м}^2$ ) июнь-июль ойларида тўғри келади. Қуёш радиацияси туфайли юзага келган ва девор орқали ўтадиган иссиқлик оқимининг улуши кузги мавсумда (октябрь) 60%

ни ташкил қилади. Шундай қилиб, совутиш камераларида иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларини тадқиқот қилишда олинган натижалар мева-сабзавот омборларининг энергия самарадор иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларини ишлаб чиқиш учун назарий асос бўлиб ҳисобланади.

Тўртинчи «**Ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиб мева-сабзавот омборларининг иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимини ишлаб чиқиш ва тадқиқот қилиш**» бобида ишлаб чиқилган НЭМдан фойдаланиб сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг тадқиқот натижалари ва совутиш камерасининг иссиқлик-намлик балансини иссиқлик-техникавий ҳисоби келтирилган.

Сабзавот омборларининг энергетик самарадорлигини ошириш мақсадида иссиқлик насосли иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг принципиал схемаси ва совутиш машинасининг конденсаторига кийдирилган аккумулятор-бақда қўшимча иссиқ сув олиш учун маҳсулотларни “нафас олиш иссиқлиги” ва вентиляция ҳавосининг ташландиқ иссиқлигини утилизация қилиш усуллари ишлаб чиқилган. Шу мақсадда қурилиш ҳажми  $V_{\text{куп}}=180\text{м}^3$  (ХК-180) бўлган тажрибавий чуқурлаштирилган сабзавот омбори тадқиқот қилинди (7-расм).

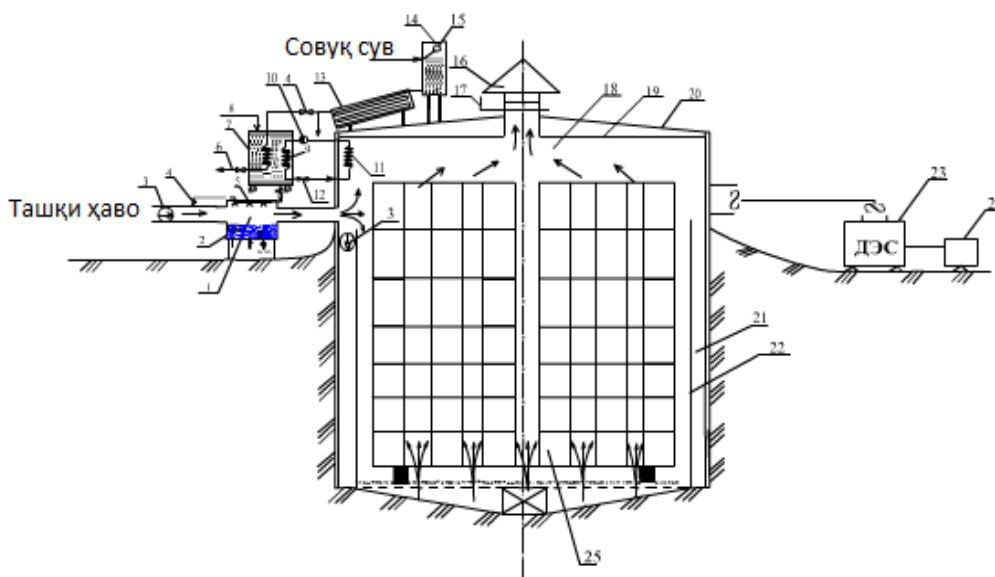
Таклиф этилган ХК-180 совутиш камерасининг иссиқлик-совуқлик таъминоти тизими иссиқлик насосли қурилма (ИНҚ), пиролиз қурилмаси, вентиляция ва ҳавони намлантириш тизимларидан ташкил топган. Ушбу тизим табиий-иқлим шароитига қараб икки режимда яъни, совутиш ва иситиш режимларида ишлайди. Совутиш режимида ИНҚнинг буғлатгичи 11 камерадан иссиқлик олиб, ички ҳавони совутади. Сўнгра совутиш агенти компрессорда 10 сиқилади ва ўта қизиган буғ шаклида 9 конденсаторга ўтади. Конденсаторда совутиш агентининг конденсацияланиши натижасида ажралган иссиқлик 7 аккумулятор-бақдаги совуқ сувни иситади. Иссиқлик насосининг конденсатор қисмида олинган қўшимча иссиқ сув форсункалар орқали камерага киритиладиган ҳавони намлантириш учун пуркалади. Маҳсулотларнинг “нафас олиш иссиқлиги” ва вентиляция ташландиқ ҳавосининг паст потенциалли иссиқлигини утилизация қилиб иссиқ сув олиш натижасида ҳавони буғ билан намлантириш усулига нисбатан бирламчи энергия ва сув ресурсларини тежаш имконияти яратилади.

Совутиш камерасининг ташқи юқори қисмида ясси қуёш коллекторлари 13 ўрнатилган бўлиб, омборнинг технологик ва маиший эҳтиёжи учун қўшимча иссиқ сув олишга мўлжалланган. Совутиш режимида кран 4 ёпик ҳолатда бўлади. Камерани тунги совуқ ҳаво билан вентиляция қилиш заруратида актив вентиляция тизими ишга туширилади. Камерани иситиш режимида ИНҚда совутиш агенти тескари йўналишда ҳаракатга келтирилади, бунда ИНҚнинг камерада жойлашган буғлатгичи конденсатор, бак-аккумулятордаги конденсатор эга буғлатгич вазифасини бажаради. Иситиш режимида 4 кран очик ҳолатга келтирилади ва қуёш коллекторларидан иссиқ сув бак-аккумуляторга келади, натижада қуёш энергиясининг ишлатилиши билан ИНҚнинг паст потенциалли манбасининг ҳароратини ошириш таъминланади. Совутиш камерасининг иситиш

режимда иссиқлик насоси, қуёш коллектори ва пиролиз қурилмаси билан уйғун ишлатилиши натижасида тизимнинг энергетик самарадорлигини оширишга имкон яратилади.

Олиб борилган тадқиқотлар натижаларини таҳлили шуни кўрсатадики, базавий камеранинг энергия истеъмоли 3079,8 кВт.соат/тонна, таклиф этилган совутиш камерада эса 2358 кВт.соат/тонна га тенг бўлади. Натижада таклиф этилган камера базавий камерага нисбатан 23,4% ёки 88,7 кг.ш.ё./тонна энергияни тежашга имкон беради.

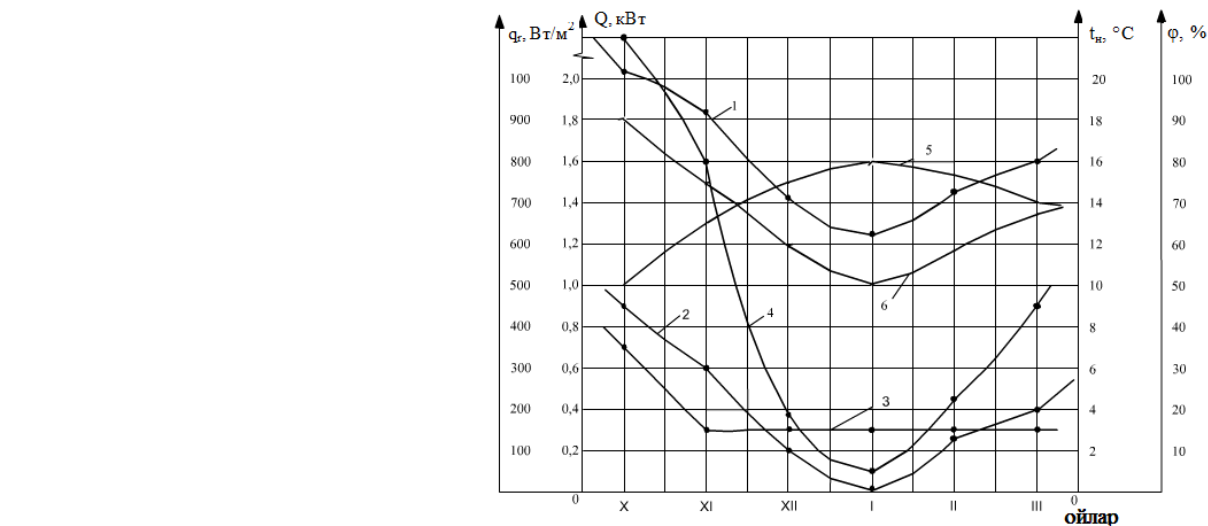
ИНҚли иссиқлик – совуқлик таъминоти тизимини самарадорлигини аниқлаш учун омборнинг иссиқлик-техникавий ҳисоби бажарилди. Омборни энергетик яхлит тизим сифатида қабул қилиш асосида шунга ўхшаш биналарни иссиқлик-техник лойиҳалаш билан боғлиқ бўлган ҳар қандай масалани ечиш мумкин. Шу сабабли омборнинг иссиқлик ва намлик баланси тенгламалари асосида иссиқлик-техникавий ҳисоби амалга оширилди.



1 – ҳавони намлантириш блоки; 2 – оқиб тушиш мосламаси; 3 – вентилятор; 4 – кран; 5 – форсункалар; 6 – иссиқ сув; 7 – бак-аккумулятор; 8 – таъминот суви; 9 – ИНҚнинг конденсатори; 10 – ИНҚнинг компрессори; 11 – ИНҚнинг буғлатгичи; 12 – ростлаш крани; 13 – ясси қуёш коллектори; 14 – совуқ сув баки; 15 – сув сатҳини ростлаш қурилмаси; 16 – чиқариш канали; 17 – шибер; 18 – совутиш камераси; 19 – ПВД экран; 20 – камеранинг томи; 21 – ҳаво қатламчаси; 22 – камерани ҳаво канали; 23 – ДЭС; 24 – пиролиз қурилмаси; 25 – маҳсулотлар штабели.

**7-расм. Тажрибавий чуқурлаштирилган мева-сабзавот омбори иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг принцинал схемаси**

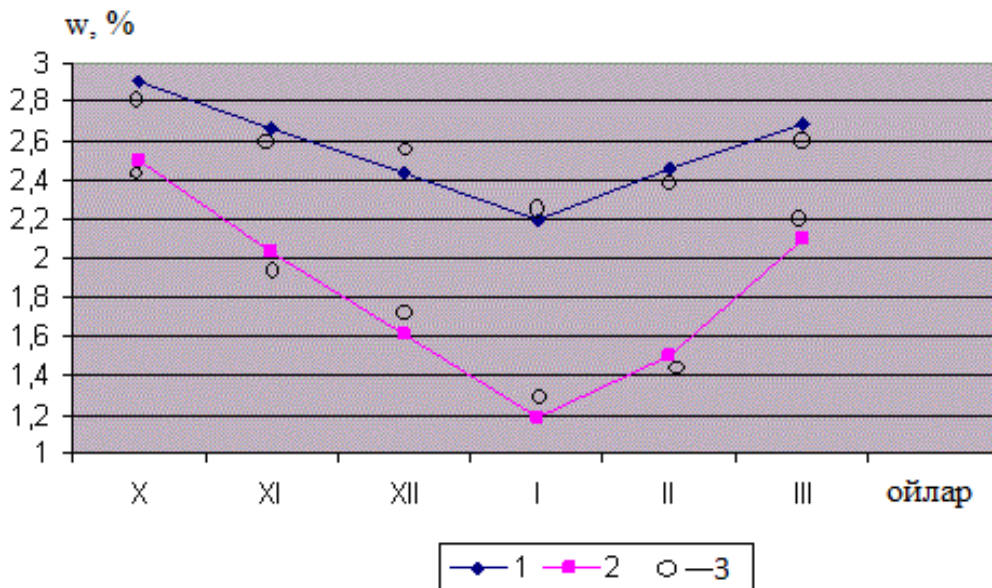
8-расмда ташқи ҳаво параметрларига боғлиқ иссиқлик оқими ўзгариши динамикасини ҳисобга олган ҳолда иссиқлик балансини тадқиқот қилиш натижалари келтирилган.



1 – умумий кирадиган иссиқлик; 2 – деворлар орқали кирадиган иссиқлик; 3 – маҳсулотларнинг “нафас олиш иссиқлиги”; 4 – ташқи ҳаво ҳароратининг ўзгариши; 5 – ташқи ҳаво нисбий намлигининг ўзгариши; 6 – умумий куёш радиациясининг ўзгариши.

**8-расм. Қарши шахри шароитида совутиш камерасида олмани сақлаш даврида иссиқлик оқимининг ўзгариш динамикаси**

Қишки олма навларини сақлаш даврида маҳсулотларни намлик йўқотиши ҳисоб-тажриба усули билан аниқланган ва натижалар 9-расмда келтирилган.



1–ер усти омбори; 2–чуқурлаштирилган омбор ХК – 180; 3–эксперимент натижалари.

**9-расм. Омборларда маҳсулот (олма)ни намлик йўқотилиш графиги**

Қишги олмани сақлаш бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари ва қиёсланаётган омборларнинг иссиқлик-намлик режимлари таҳлили шуни кўрсатадики, тақлиф этилган чуқурлаштирилган омборда маҳсулот намлигини йўқолиши сақлаш даврида (октябрь-март) 11%, ер усти омборида -16,2%, анъанавий омборларда эса 20-30%ни ташкил қилди.

Олмани минимал нисбий ойлик намлик йўқотиш даражаси (қуриши) январь ойда  $1,5 \div 2,0\%$  ни ташкил этди. Совутиш камерасида ИНҚ ёрдамида вентиляция ҳавосининг ташландиқ паст потенциалли иссиқлигини ишлатиш самарадорлиги илмий асосланди. Таклиф этилган иссиқлик-совуқлик таъминоти тизими бир вақтда камерани совутиш ва ҳавони намлантириш, технологик эҳтиёж учун сувни қиздириш имконияти мавжудлиги билан анъанавий совутиш камераларидан принципиал фарк қилади, бундан ташқари бак-аккумуляторда вентиляция ташландиқ ҳавосининг иссиқлиги ва маҳсулотларнинг “нафас олиш иссиқлиги”ни утилизация қилиш имконияти яратилган.

Қарши шаҳрининг табиий-иқлим шароитида 24 т сиғимли олмани совутиш камерасида ИНҚнинг буғлатгичига иссиқлик юклама 25 кВт ни ташкил қилади, шу билан бир вақтда 31,9 кВт иссиқлик конденсатордан бак-аккумулятордаги сувни  $18^{\circ}\text{C}$  дан  $60^{\circ}\text{C}$  гача қиздириш учун ишлатилади.

Тадқиқотлар ва ҳисоблар натижаси шуни кўрсатадики, вентиляция ташландиқ ҳавосининг иссиқлигини иссиқлик насосли утилизация қилиш сабзавот омборининг технологик ва маиший эҳтиёжи учун зарур бўлган иссиқ сувни тўлиқ қопланишига имкон яратади.

Конденсаторда  $Q_k = 31,9$  кВт ташландиқ иссиқликдан сувни иситишда фойдаланиш натижасида соатига 4 кг шартли ёқилғи тежаланишига эришилади. Натижада бир суткада  $15,6 \text{ м}^3$  сувни иситиш орқали 96 кг шартли ёқилғи тежалади. Шундай қилиб, маҳсулотларни сақлаш даврида вентиляция ташландиқ ҳаво иссиқлигини утилизация қилиш орқали бак-аккумуляторда сувни иситиш натижасида 17,28 тонна шартли ёқилғи ёки  $14068 \text{ м}^3$  табиий газни тежаш мумкин.

Бешинчи **«Иккиламчи энергия ресурслари ва ноанъанавий энергия манбалари қўлланиладиган “сабзавот омбори-гелиоиссиқхона” энергия самарадор тизимини ишлаб чиқиш»** бобида НЭМ ва иккиламчи энергия ресурсларидан фойдаланиб ишлайдиган “сабзавот омбори-гелиоиссиқхона” кўшма тизими таклиф этилган ва унинг энергетик самарадорлиги таҳлил қилинган.

10-расмда “сабзавот омбори-гелиоиссиқхона” энергия самарадор кўшма тизимнинг принципиал схемаси келтирилган.

Қурилиш ҳажми  $180 \text{ м}^3$ , 24 тонна қишги нав олмани сақлаш сиғимига эга бўлган мева-сабзавот омбори ва фойдали майдони  $200 \text{ м}^2$  бўлган гелиоиссиқхона тадқиқот қилинди. Сабзавот омборлари ва гелиоиссиқхоналарни биргаликда ишлатилиши бир вақтнинг ўзида қуёш энергияси, вентиляция ташландиқ иссиқлиги ва совутиш камерасидан ташланадиган иссиқликдан фойдаланиш ҳамда анъанавий энергия манбаларининг чиқариб юбориладиган тутун газларини утилизация қилиш имконини беради.

Сабзавот омбори ва гелиоиссиқхонани биргаликда ишлатилишининг энергетик самарадорлигини аниқлаш учун тизимнинг иссиқлик баланси ва асосий энергетик характеристикалари аниқланди. Иссиқхонанинг иситиш

тизимини иссиқлик қувватини тупроқ, деворлар ва ўсимликлар сиртида содир бўладиган иссиқлик-масса алмашинувини ҳисобга олган ҳолда тузилган иссиқлик баланси тенгламасини ечиш орқали аниқланди.

Иссиқхона иситиш тизимининг иссиқлик қуввати қуйидаги тенглама орқали аниқланди:

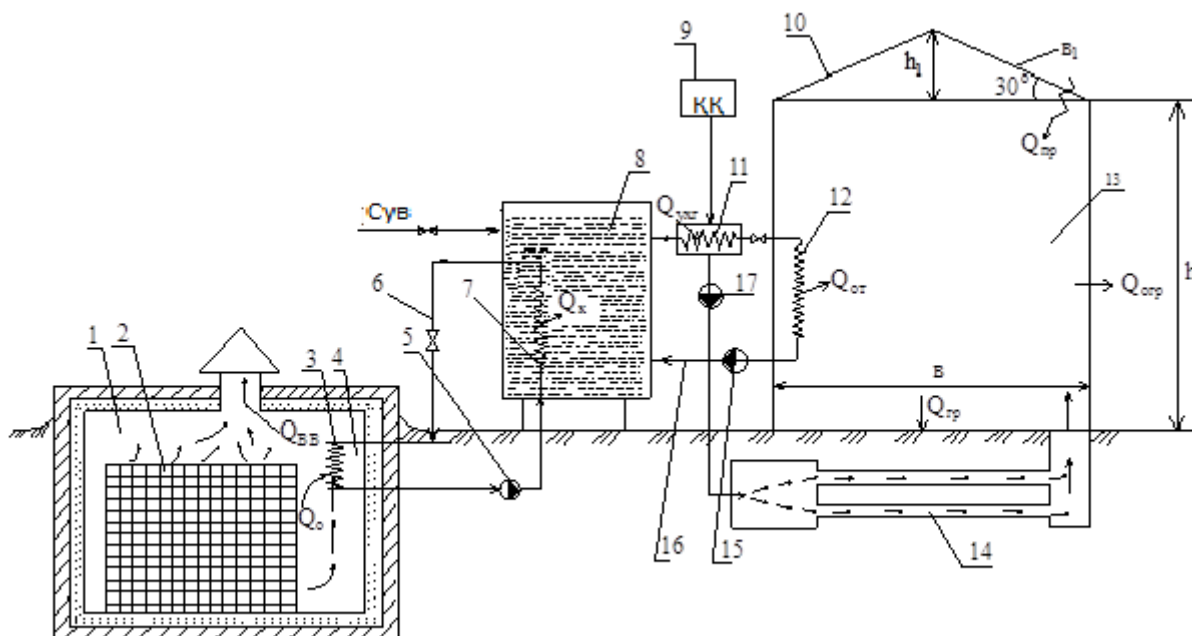
$$Q_{уст} = Q_m + Q_{zp} + Q_{инф} \quad (12)$$

бунда  $Q_m$  – ташқи деворлар орқали йўқотиладиган иссиқлик;  $Q_{zp}$  – тупроқ (грунт) орқали йўқотиладиган иссиқлик;  $Q_{инф}$  – инфильтрация ҳавосини қиздиришга сарфланадиган иссиқлик.

Маълумки, иссиқхонадан йўқотиладиган иссиқлик девор коэффициентига боғлиқ бўлади

$$K_m = \frac{F_r}{F_u} \quad (13)$$

бунда  $F_m$  – шаффоф деворларнинг умумий юзаси,  $m^2$ ;  $F_u$  – гелиоиссиқхонанинг инвентар (фойдали) майдони,  $m^2$ .



1–мева-сабзавот омбори; 2–маҳсулотлар штабели; 3–иссиқлик насосининг штабели; 4–иссиқлик насоси; 5–компрессор; 6–хладагент кувури; 7–конденсатор; 8–бак–иссиқлик аккумулятори; 9–қозон қурилмаси; 10–ёруғлик шаффоф қоплама; 11–иссиқлик алмаштиргич; 12–иситиш қурилмаси; 13–қуёш иссиқхонаси; 14–иссиқлик жамловчи канал; 15–марказдан қочма насос; 16–иситиш тизимининг қувурлари; 17–газ вентилятори.

**10-расм. “Сабзавот омбори-гелиоиссиқхона” энергия самарадор қўшма тизимнинг принциал схемаси**

Иссиқхона иссиқлик балансини ҳисоблашни содда усулини қўллаб ва химояланган тупроқ орқали иссиқлик оқимини таъсирини ҳисобга олмасдан иситиш тизимининг иссиқлик қувватини қуйидагича аниқлаш мумкин

$$Q_{уст} = Q_m + Q_x - Q_o = KF_u(t_x - t_{маи})K_m K_{инф} - Q_o, \quad (14)$$

ёки

$$Q_{уст} = Q_{m.n} - Q_o, \quad (15)$$

бунда  $Q_{уст}$  – иситиш тизимининг иссиқлик қуввати,  $Q_m$  – девор орқали йўқотиладиган иссиқлик;  $Q_x$  – ҳаво алмашинуви орқали йўқотиладиган иссиқлик,  $Q_o$  – иситиш мавсумида иссиқхона ичига кирадиган қуёш радиацияси оқими,  $K$ –деворнинг иссиқлик узатиш коэффициенти,  $K_{кел} = F_T K / F_i$ ,  $K_{кел}$ –деворнинг келтирилган иссиқлик узатиш коэффициенти;  $t_x$ –иссиқхона ичидаги ҳавонинг ҳисобий ҳарорати,  $t_b = 17,2^\circ\text{C}$ ;  $t_{таш}$ –иситиш мавсуми (ноябрь–март)да ташқи ҳавонинг ўртача суткалик ҳарорати,  $t_n = 4,6^\circ\text{C}$ ;  $K_{инф}$ –инфилтрация коэффициенти,  $1,1 \div 1,2$  га тенг.

Иситиш даврида иссиқхонага кирадиган қуёш радиациясининг иссиқлик оқими:

$$Q_o = \bar{q}_{муш} K_{ymk} \alpha_n F \tau, \quad (16)$$

бунда,  $\bar{q}_{муш}$  – иситиш даврида умумий қуёш радиациясининг ўртача суткалик қиймати;  $\alpha_n$  – тупроқ ва ўсимлик баргларининг сиртини нур ютиш коэффициенти;  $K_{ymk}$  – иссиқхона шаффоф деворининг қуёш радиациясини ўтказиш коэффициенти;  $F$  – иссиқхона полининг юзаси;  $\tau$  – иситиш мавсумининг давомийлиги.

Агар  $Q_{m.n} \leq Q_o$ , у ҳолда очик ҳавода иссиқхонани анъанавий иситиш тизими орқали қўшимча иситиш талаб қилинмайди. Агар  $Q_{m.n} > Q_o$ , у ҳолда иссиқхонани қозонхонада органик ёқилғини ёқиш орқали қўшимча иситиш талаб этилади.

Бизнинг ҳолда тўсиқ коэффициенти  $K_m = 1,76$ , шаффоф деворларнинг иссиқлик узатиш коэффициенти  $K = 6,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $K_{ymk} = 0,62$ ,  $\alpha_n = 0,8$ .

Сабзавот омборлари ва гелиоиссиқхоналарни биргаликда ишлатилиши натижасида тунги вақтларда совутиш камерасининг ташландиқ вентиляция иссиқлиги, иссиқлик насоси хладагентининг конденсацияланиш иссиқлигини утилизацияси орқали бак-аккумуляторда олинган иссиқ сув ва чиқаётган ёниш маҳсулотларининг иссиқлигидан иситишда фойдаланиш гелиоиссиқхонада талаб этиладиган ҳарорат режимини таъминлайди. У ҳолда иссиқхона иншооти иситиш тизимининг иссиқлик қуввати куйидаги ифода орқали аниқланади:

$$Q_{уст} = Q_{m.n} - Q_{вв} - Q_{гв}, \quad (17)$$

бунда,  $Q_{вв}$  – совутиш камерасининг вентиляция ташландиқ иссиқлиги;  $Q_{гв}$  – чиқувчи газларнинг иссиқлигини утилизация қилиш орқали олинган иссиқ сув қуввати.

Фойдали майдони  $200 \text{ м}^2$  бўлган иссиқхонанинг иситиш тизимида йиллик (мавсумий) ёқилғи сарфи (табiiй газ):

$$B = 1,15 Q_{уст} \tau / Q_k^u \eta \quad (18)$$

бунда  $1,15$  – қувурларда иссиқлик йўқолишини ҳисобга олувчи коэффициент;  $\tau$  – Қарши шаҳри учун иситиш мавсумининг давомийлиги,  $132$  суткага тенг;  $Q_k^u$  – ёқилғининг қуйи ёниш иссиқлигининг ҳисобий қиймати (Шўртан



конининг табиий газ) 8626 Ккал/нм<sup>3</sup>га тенг;  $\eta$ –қозон қурилмасининг фойдали иш коэффициенти,  $\eta=0,8$ .

(18) формулага асосан иситиш мавсумида кечаси табиий газнинг сарфи 15563,08 м<sup>3</sup> га тенг бўлди, демак иссиқхона ичкарасида меъёрдаги ҳароратни сақлаб туриш учун 117,9 м<sup>3</sup>/сут табиий газ ёқилиши зарур.

Энергетик самарадорликни ҳисоблаш натижалари таҳлили шуни кўрсатадики, таклиф қилинган тизимда иссиқхонани иситишда йиллик тежаладиган энергия 5904,1 м<sup>3</sup> табиий газни ёки 7,26 тонна шартли ёқилғини ташкил қилади. Гелиоиссиқхонани иситиш учун сарфланадиган ёқилғи сарфини аниқлаш ҳисоблари 1-жадвалда келтирилган.

Қарши шаҳри шароитида 24 тонна сиғимли қишги олмани совутиш камерасини совутиш режимида хладагентни конденсацияланиш 31,9 кВт иссиқлигини утилизациялаш натижасида  $G_v = 0,18$  кг/сек сарф билан 60 °С ҳароратли иссиқ сув олиш мумкин. Иссиқлик алмаштиргичда чиқиб кетаётган тутун газининг иссиқлигидан фойдаланиб қўшимча равишда сув  $\Delta t = 30$  °С, гача қиздирилади. Олиб борилган тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатдики, қишги шароитда (декабрь-февраль) очик ҳавода иссиқхона иссиқлик юкламасининг 30-35 % қуёш энергияси, 37-40% и эса ташландик иссиқлик энергиясидан фойдаланиш ҳисобига қопланади.

1-жадвал.

**Қарши шаҳри шароитида майдони 200 м<sup>2</sup> бўлган гелиоиссиқхонани иситиш учун ёқилғи сарфи**

Ойлар	Очик об-ҳаво шароитида гелиоиссиқхонани иситиш учун ёқилғи сарфи (кундузги иш режимида), м <sup>3</sup> /ой.	Тунги режимда гелиоиссиқхонани иситиш учун ёқилғи сарфи, м <sup>3</sup> /ой.	“Сабзавот омбори-гелиоиссиқхона” бирлашган вариантида гелиоиссиқхонани иситиш учун ёқилғи сарфи (ИЭРдан фойдаланиш ва ташландик иссиқликни утилизация қилиш) м <sup>3</sup> /ой.	Гелиоиссиқхонани тунги иш режимида ёқилғи иқтисоди, %
XI	449,12	2099,55	811,15	61
XII	2512,87	3745,14	2578,8	31,1
I	2874,70	4085,61	2919,34	28,5
II	2027,57	3363,06	2274,55	32,3
III	344,96	2241,41	1075,14	52
Жами мавсум бўйича	8209,22	15563,08	9658,99	37,9

Шундай қилиб, сабзавот омбори-гелиоиссиқхона қўшма термодинамик тизимида ташландик иссиқликни утилизация қилиш орқали иссиқхонанинг тунги иситиш вақтида ўртача 25–38 % гача энергияни тежаш мумкин.

## Хулоса

Иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимларини энергетик самарадорлигини янада ошириш, мева-сабзавот маҳсулотларини узоқ муддат сақланишида энергия ресурсларини тежаш ва кам исрофлар билан ишончли сақланишини таъминлаш учун мавжуд мева-сабзавот совутиш камераларининг иссиқлик-совуқлик таъминоти, ҳавони намлантириш ва вентиляция тизимларини такомиллаштириш ҳамда НЭМдан фойдаланиб энергия ва ресурс тежамкор технологияларни омборларнинг энергия балансини ва мева-сабзавот совутиш камераларида содир бўладиган иссиқлик-масса алмашинув жараёнларини чуқур тадқиқот қилишга асосланиб яратиш лозим.

Маҳсулотларнинг нафас олиш ва вентиляция чиқинди иссиқликларини утилизация қилинадиган, НЭМлар қўлланиладиган иссиқлик-совуқлик таъминоти тизими ишлаб чиқилган бўлиб, мева-сабзавот омборларида оптимал иссиқлик-намлик режимини таъминлаш учун сарфланадиган энергия ва сув ресурсларини тежаш имконини беради.

“Мева-сабзавот омбори-гелиоиссиқхона” кўшма термодинамик тизимнинг энергетик самарадорлиги асосланган бўлиб, мева-сабзавот маҳсулотларини етиштириш ва сақлаш учун биоэнергетик комплекс сифатида мева-сабзавот омборларининг энергия тежамкор энергия таъминоти тизимларини лойиҳалаш имконини беради.

Мева-сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимлари энергетик самарадорлигини оширишнинг муҳим долзарб муаммоларидан бирини ечишга бағишланган диссертациянинг асосий натижалари кўйидагилардан иборат:

1. Жаҳон амалиётида, шу жумладан бизнинг Республикамизда ҳам совуқхона ва сабзавот омборларида энергия ресурсларини тежашнинг замонавий ҳолатини таҳлил қилиш асосида ҳозирги вақтда энергия тежаш муаммолари кўп ҳолларда совутиладиган биноларнинг энергия балансини ва совутиш камераларида иссиқлик ва масса алмашинуви жараёнларини илмий асосланган ҳолда чуқур тадқиқот қилинмасдан ечилмоқда, бундан ташқари мева-сабзавот омборларида энергетик жараёнларни ўзгаришини миқдорий аниқ таҳлил қилиш учун муҳандислик ҳисобларини бажаришга имкон берадиган зарур маълумотлар ва илмий тавсиялар мавжуд эмас. Ҳозирги вақтгача НЭМдан фойдаланиш асосида сабзавот омборлари иссиқлик-совуқлик таъминоти тизимининг энергетик самарадорлигини ошириш муаммоларининг ечимига етарлича эътибор қаратилмаган.

2. Маҳсулотларнинг намлик йўқотиши ва иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларига таъсир қиладиган асосий ИФХлари ( $\lambda$ ,  $c$ ,  $a$ ) тажрибада тадқиқот қилинди, маҳсулотдаги қуруқ модда миқдорига боғлиқ равишда ИФХларнинг ўзгариш динамикаси аниқланди. Картошкани иссиқлик сиғими ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентларини маҳсулотдаги қуруқ модда миқдори ва ҳароратга боғлиқ ўзгаришини тавсифловчи эмпирик ифодалар олинди.

3. Маҳсулотлар штабелини мажбурий конвекция шароитида совутишда иссиқлик бериш коэффициентини аниқлаш учун  $Nu = 0,027 Re^{0,98}$  – мезонли

тенглама олинган, эркин конвекция шароитида штабел сирти ва ҳаво ўртасидаги иссиқлик алмашинувини ифодалайдиган  $Nu = 0,02 \cdot (Gr Pr)^{0,5}$  мезонли тенглама таклиф қилинди. Тажриба натижаларини ўхшашлик назарияси методи билан умумлаштириш ва ишлов бериш орқали ҳаво билан совутиш жараёнида маҳсулот сиртидан ҳавога масса алмашинуви коэффицентини аниқлаш имконини берадиган мезонли тенглама олинди:

$$Nu_m = 0,0238 Re^{0,93}, \text{ при } Re = 3,65 \cdot 10^2 \div 9,12 \cdot 10^3$$

Ўтказилган тажрибалар натижалар таҳлили шуни кўрсатдики, маҳсулотни ҳаво билан совутишда масса алмашинуви коэффицентини асосан ҳаво оқимининг тезлигига боғлиқ бўлиб, ҳавонинг нисбий намлиги ўзгармас ҳолатда бериладиган ҳавонинг тезлиги 0,1÷2,0 м/с гача ортишида масса алмашинуви коэффицентини 23,6 марта ортади.

4. Совутиш камерасининг конструктив ва технологик параметрлари орасидаги ўзаро боғлиқликни аниқлаш имконини берадиган, табиий совуқлик билан маҳсулотларни совутиш камерасида совутишда содир бўладиган иссиқлик-масса алмашинуви жараёнларини математик модели ишлаб чиқилди ва таклиф этилди. Табиий совуқлик билан совутиш шароити таҳлили шуни кўрсатдики, жараёни давомийлигига ҳавонинг ҳарорати энг кўп таъсир қилади. Ҳаво оқимининг тезлиги ортиши ва намлигининг камайиши билан совутиш жараёни тезлашади, лекин маҳсулотнинг намлик йўқотиши (масса йўқотиши) орта бошлайди.

5. Қуёш радиацияси интенсивлиги таъсирида омбор деворларида содир бўладиган иссиқлик алмашинуви жараёнининг математик модели ишлаб чиқилди. Қуёш радиацияси таъсирида кирадиган қўшимча иссиқлик оқими миқдорини маҳсулотнинг намлик йўқотишига таъсири тадқиқ қилинди. Ҳисоблар натижалари шуни кўрсатдики, ташқи атроф-муҳит ва камера ичидаги ҳаво ҳароратлари фарқи туфайли камерага кирадиган иссиқликнинг максимал қиймати омборнинг юқори том қисмига тўғри келади, яъни 9 Вт/м<sup>2</sup>; қуёш радиацияси таъсирида камерага кирган иссиқлик июнь-июль ойларида максимум бўлиб, 8,25 Вт/м<sup>2</sup> тенг бўлади. Қуёш радиацияси таъсирида камера девори орқали ўтадиган иссиқликнинг улуши кузги даврда (октябрь) 60 % ни ташкил этди.

6. Маҳсулотлар штабелли ва камера девори орасига экран қўлланилиши ёрдамида нурланиш орқали иссиқлик алмашинувини камайтириш усули таклиф қилинди. Ички девор сирти ва маҳсулотлар орасига қоралик даражаси  $\varepsilon = 0,2$  рухланган листдан тайёрланган экранни ўрнатилиши натижасида ҳосил қилинган келтирилган қоралик даражаси  $\varepsilon_{\text{орп.пр}}^{\text{нрод}} = 0,18$  бўлган “Девор-маҳсулот” тизими маҳсулотга йўналган нурий иссиқлик оқимини интенсивлигини қум сувоқ қилинган сиртга нисбатан 2,8-3,0 камайтириши аниқланди.

7. Вентиляция ташландиқ иссиқлиги ва маҳсулотларнинг “нафас олиш иссиқлиги”ни утилизация қилиш орқали совутиш камерасида оптимал иссиқлик-намлик режимини ўрнатиш учун энергетик ва сув ресурсларини тежаш имконини берадиган, НЭМдан фойдаланиб сабзавот омборларининг иссиқлик насосли иссиқлик-совуқлик таъминоти тизими таклиф қилинди.

Тадқиқотлар натижасида базавий камерада солиштирма эксплуатацион энергия сифими 3079,8 кВт·соат/тонна, таклиф этилган камерада эса 2358 кВт·соат/тонна ни ташкил этди. Натижада таклиф этилган камерада базавий камерага нисбатан 23,4% ёки 88,7 кг.ш.ё/т энергияни тежашга эришилди.

8. Қурилиш ҳажми 180 м<sup>3</sup> бўлган тажрибавий чуқурлаштирилган мева-сабзавот омборининг иссиқлик-намлик баланси ташқи ҳаво параметрлари ва камерага кирадиган иссиқлик оқими ўзгариши динамикасига боғлиқ равишда тадқиқот қилинди. Таққосланаётган омборларнинг иссиқлик-намлик режими ва баланси таҳлили шуни кўрсатдики, таклиф қилинган чуқурлаштирилган омборда маҳсулотларнинг намлик йўқотиши – 11%, ер усти омборида – 16,2%, анъанавий камерада эса 20-30% га тенг бўлади.

9. Олиб борилган тадқиқотлар ва ҳисоблар натижалари шуни кўрсатдики, вентиляция ташландиқ иссиқлигини иссиқлик насоси орқали утилизация қилиш натижасида олинган иссиқ сув сабзавот омборининг технологик ва маиший эҳтиёжи учун керак бўладиган иссиқ сув билан тўлиқ таъминлаш имконини беради ва маҳсулотларни омборда сақлаш даврида вентиляция ташландиқ ҳаво иссиқлигини бак-аккумуляторда сувни қиздиришда фойдаланиш натижасида 17,28 тонна шартли ёқилғи ёки 14068 м<sup>3</sup> табиий газни тежаш мумкин.

10. Олиб борилган тадқиқотлар асосида биринчи марта “сабзавот омбори-гелиоиссиқхона” қўшма термодинамик тизим таклиф қилинди ва комплексни бир вақтнинг ўзида соғутиш – иситишда соғутиш циклини қўлланилишининг энергетик самарадорлиги илмий асосланди.

11. Тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатдики, қишги шароитда (декабрь-февраль) очик об-ҳавода иссиқхонани иситиш юкламасининг 30-35% қисми қуёш энергияси, 37-40% юкламаси эса ташландиқ иссиқликни ишлатиш орқали қопланади. Сабзавот омбори-гелиоиссиқхона бирлашган вариантда соғутиш камерасидан вентиляция ташландиқ иссиқлиги ва соғутиладиган маҳсулотларнинг “нафас олиш иссиқлиги”ни тўлиқ утилизация қилиш асосида иссиқхонани кечаси иситиш вақтида ўртача 25-38% гача энергияни тежаш имконияти яратилди.

Шундай қилиб, ишда келтирилган янги илмий ҳолатларни назарий умумлаштириш ва амалиётга жорий қилиш асосида НЭМ қўлланиладиган мева-сабзавот омборлари энергия самарадор иссиқлик-соғуқлик таъминоти тизимларини яратиш, мева-сабзавот маҳсулотларини сақланишидаги технологик жараёнларнинг энергия сифимини қисқартириш ва маҳсулотлар исрофини камайтиришнинг илмий асосларини ишлаб чиқиш каби халқ хўжалиги аҳамиятига молик бўлган йирик илмий муаммо ечилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК 16.07.2013.Т.02.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ и  
ИНСТИТУТЕ ЭНЕРГЕТИКИ И АВТОМАТИКИ**

---

**КАРШИНСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**УЗАКОВ ГУЛОМ НОРБОЕВИЧ**

**СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
СИСТЕМ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ ПЛОДООВОЩЕХРАНИЛИЩ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

05.05.04 – Промышленная теплоэнергетика  
(технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Ташкент – 2016

**Тема докторской диссертации зарегистрирована за №12.05.2015/B2015.1.T468 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.**

Докторская диссертация выполнена в Каршинском инженерно – экономическом институте. Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещен на веб-странице Научного совета ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZIYONET» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

<b>Научный консультант:</b>	<b>Захидов Ромэн Абдуллаевич</b> академик АН РУз, доктор технических наук, профессор
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Мухиддинов Джалолиддин Насирович</b> доктор технических наук, профессор <b>Авезов Раббанакул Рахмонович</b> доктор технических наук, профессор <b>Искандаров Зафар Самандарович</b> доктор технических наук, профессор
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Специализированное конструкторско-технологическое бюро при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан</b>

Защита диссертации состоится «20» февраль 2016 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании научного совета 16.07.2013.T.02.01 при Ташкентском государственном техническом университете и Институте энергетики и автоматики. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул.Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно – ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер 09). (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул.Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан «18» января 2016 года.  
(протокол рассылки №02 от «18» января 2016 г.).

**Н.Р.Юсупбеков**

Председатель научного совета по присуждению  
учёной степени доктора наук  
д.т.н., профессор, академик АН РУз

**О.О.Зарипов**

Учёный секретарь научного совета по  
присуждению учёной степени доктора наук, д.т.н., доцент

**Ф.А.Хошимов**

Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению  
учёной степени доктора наук, д.т.н., профессор

## Введение (Аннотация докторской диссертации)

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В современном мире проблемы энергосбережения при использовании топливно-энергетических ресурсов приобрели особую актуальность, что обусловлена сокращением запасов традиционных топливно-энергетических ресурсов и обострением экологических нагрузок в окружающую среду. В настоящее время в мире 20% потребляемой энергии производится за счет нетрадиционных источников энергии и до 30% всего добываемого органического топлива расходуется на нужды систем теплоснабжения. Поэтому проведение комплекса мероприятий по решению проблем энергосбережения и развитие использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии являются актуальными.

В условиях резко континентального климата почти 49,6 % всего энергопотребления, т.е. 24,5 т.н.э. в год приходится на долю систем теплоснабжения. В сельском хозяйстве в год расходуется свыше 6,8 % первичной энергии. Системы теплоснабжения плодоовощехранилищ также считаются одними из крупных потребителей топливно-энергетических ресурсов в сельскохозяйственном производстве. Все технологические процессы в плодоовощехранилищах (предварительная обработка продуктов перед хранением, охлаждение, вентиляция, увлажнение воздуха и длительное холодильное хранение) являются энергоемкими процессами. Анализ энергетического баланса хранилищ показывает, что энергоемкость эксплуатируемых плодоовощехранилищ составляет 3000-3500 кВт.час/тонну, при этом затраты электроэнергии достигают до 70 %. В связи с этим снижение энергоемкости холодильных камер и разработка энергоэффективной системы теплоснабжения плодоовощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии является актуальной научно-технической проблемой.

Исходя из этого, решение перечисленных задач требует проведения специальных научных исследований, направленных на дальнейшее повышение энергетической эффективности систем теплоснабжения плодоовощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии.

При этом практическая реализация указанных способов повышения энергоэффективности систем теплоснабжения плодоовощехранилищ сталкивается с необходимостью решения разнообразных задач нестационарного процесса тепло-и массообмена в холодильных камерах с учетом всех параметров, которые существенно влияют на сохранность продукции и затраты энергии на обеспечение оптимального тепловлажностного режима камеры. Поэтому широкое внедрение современных холодильных камер и хранилищ, уменьшение потерь плодоовощных продуктов при хранении и снижение энергоёмкости технологических процессов в плодоовощехранилищах связано с решением важных научно-технических задач по повышению энергоэффективности

систем теплохладоснабжения с использованием нетрадиционных источников энергии.

Данная исследовательская работа в определенной мере служит для реализации задач, определенных Указом Президента Республики Узбекистан от 1 марта 2013 года №УП-4512 «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии» и Постановлением Президента Республики Узбекистан от 1 марта 2013 года №ПП-1929 «О создании Международного института солнечной энергии», в котором отмечается, что одними из важнейших задач являются разработка и внедрение в практику современных высокоэффективных способов, технологий и установок использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Диссертация выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии ППИ-4- «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологий, фотоники и других передовых технологий».

**Обзор международных научных исследований по теме диссертации.** Теоретические и практические исследования по созданию новых энерго- и ресурсосберегающих технологий хранения плодоовощных продуктов, математических моделей тепломассообменных процессов и разработки оптимальных гигротермических условий в плодоовощных холодильных камерах велись крупными фирмами, компаниями, научными центрами, университетами и научно-исследовательскими институтами зарубежных стран, такими как университет Кентукки (США), FranceAgriMer, Aereco SA (Франция), Shanghai Kingram Refrigeration.CO (Китай), университет Ямагата (Япония), Международная академия холода (МАХ, Россия), Институт плодоовощпроект НПЦ (НАН Беларусь), Mitsubishi (Япония), Gigroterm LLC (Россия), Agrofresh (Испания), Eliwell Controls SRL (Италия), и др.

В качестве результатов научно-исследовательских работ, проведенных в последние годы в научных центрах, университетах и научно-исследовательских институтах, можно отметить следующие: разработаны современные технологии хранения плодоовощных продуктов на основе совершенствования систем охлаждения и оборудования («Wecan Acrotexservis», Южная Корея); разработаны холодильные и теплонасосные системы кондиционирования воздуха плодоовощных холодильных камер, методы оптимизации теплотехнических характеристик ограждающих конструкций и энергосберегающие режимы хранилищ, холодильные камеры с системами увлажнения и контроля внутренней среды (Тессо, ОБЕН, МАХ, Россия); разработаны энергосберегающие системы вентиляции хранилищ (East Ref ou, Голландия); разработаны современные энергосберегающие технологии «шоковая заморозка» и хранение в регулируемой газовой среде (Shanghai Kingram Refrigeration.CO, Китай); разработаны новые энергоэффективные холодильные камеры для хранения плодоовощных продуктов (Agrofresh, Испания); разработаны системы охлаждения с



рекуператорными воздухоохладителями холодильных камер и методы хранения плодоовощных продуктов в нейтральной газовой среде (Eliwell Controls SRL, Италия).

На сегодняшний день осуществляются приоритетные научно-исследовательские работы по разработке энергоэффективных систем теплоснабжения плодоовощехранилищ и оптимизации тепловлажностных процессов, основанных на совершенствовании системы активного вентилирования, увлажнения вентиляционного воздуха, аккумуляирования естественного холода и эффективного использования альтернативных источников энергии.

**Степень изученности проблемы.** Анализ научно-технической литературы последних лет, касающийся исследований по разработке способов повышения энергоэффективности систем теплоснабжения помещений для хранения плодоовощных продуктов, свидетельствует о достижении значительных теоретических и практических результатов в этой области.

Опубликовано большое количество научных работ, посвященных проблемам энергосбережения и повышения энергоэффективности плодоовощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии. Во всех развитых странах мира разрабатываются и внедряются эффективные системы теплоснабжения, методы хранения, оптимизации и управления тепловлажностных процессов, а также энергосберегающие технологии хранения пищевых продуктов в охлаждаемых плодоовощехранилищах. Большие заслуги в решении этих проблем принадлежат ученым разных стран, таким как: Levy F.A., Tamm W., Turgi A., Knabe G., Алмаши Э., Нестеренко А.В., Дячек П.И., Волков М.А., Жадан В.З., Чижов Г.Б., Волкинд И.Л., Тихонов Б.С., Худайбердиев Б.Х., Магтымов Г.М., Чумак И.Г., Янюк В.А и других. Исследования по разработке теплонасосных систем теплоснабжения проведены Захидовым Р.А., Аvezовым Р.Р., Мухиддиновым Д.Н., Вардияшвили А.Б. и другими узбекскими учеными.

Анализ показывает, что постоянное увеличение объемов производства плодоовощных продуктов и расширение круга проблем её надежного хранения требует разработки новых энерго-и ресурсосберегающих способов и технологий в современных плодоовощехранилищах. Общеизвестны успехи, достигнутые учеными в области изучения теплотехнических условий хранения плодоовощных продуктов, но инженерное обеспечение этих условий находится все ещё на недостаточном уровне. Вместе с тем, в литературе недостаточно оценены особенности теплообмена плодоовощных продуктов с внутриштабельным воздухом. Необходимым считается исследование энергетического режима и энергобаланса плодоовощехранилищ с учетом изменения внешних факторов наружного воздуха, малоизученными остаются вопросы повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения плодоовощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии (солнце, биомасса,

теплонасосная установка, и.т.п.). Недостаточно исследован энергетический режим и теплоэнергетические показатели комбинированной системы «овощехранилище–гелиотеплица» с использованием теплонасосной установки. В связи с вышеотмеченным возникает необходимость дальнейшего исследования и разработки научных и инженерных основ повышения энергетической эффективности систем теплохладоснабжения плодоовощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация,** отражена в следующих проектах: А-12-135 – «Разработка и исследование систем теплохладоснабжения овощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии» (2006-2008 гг.) и А-13-031–«Энергосбережение при выращивании и хранении овощей в гелиотехническом комплексе с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии» (2009-2011 гг.); ОТ-ИД/11-4-3– «Производство передвижной установки для хранения плодов и овощей с собственным энергобалансом» (2011–2012 гг.) и ИТД-4-06 – «Разработка энергосберегающей замкнутой системы энергоснабжения и вентиляции холодильных камер с использованием возобновляемых источников энергии» (2012-2014 гг.).

**Цель исследования** состоит в разработке энергоэффективных систем теплохладоснабжения плодоовощехранилищ на основе использования нетрадиционных источников энергии.

**Задачи исследования:**

анализ современного состояния систем теплохладоснабжения плодоовощехранилищ, сопоставление их энергетических и технико-экономических показателей;

исследование энергетического баланса и определение основных направлений повышения энергоэффективности систем теплохладоснабжения плодоовощехранилищ;

экспериментальное исследование теплофизических характеристик плодоовощных продуктов, влияющих на интенсивность тепломассообменных процессов и усушку продуктов;

моделирование и исследование тепломассообменных процессов в холодильной камере, получение критериальных уравнений подобия для расчета коэффициента теплоотдачи и массообмена при естественной и вынужденной конвекции;

разработка принципиальной схемы и исследование энергоэффективности систем теплохладоснабжения плодоовощехранилищ с применением нетрадиционных источников энергии;

анализ природно–климатических условий и расчет тепло- и влажностного баланса холодильной камеры;

разработка научных основ повышения энергоэффективности систем утилизации теплоты вентиляционных выбросов с применением теплонасосной установки;

разработка и оценка энергетической эффективности энергосберегающей совмещенной системы «овощехранилище – гелиотеплица» с использованием нетрадиционных источников энергии.

**Объектом исследования** являются системы энергоснабжения плодоовощехранилищ, основанные на использовании нетрадиционных источников энергии.

**Предмет исследования:** процессы тепло-и массообмена, энергоэффективные системы теплоснабжения.

**Методы исследований.** В диссертационной работе использованы методы феноменологической термодинамики; теория тепло- и массообмена; физико-математическое моделирование; теплотехнический расчет и эксперимент; метод теории подобия и размерностей.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработаны принципиальные схемы использования нетрадиционных источников энергии в системах теплоснабжения плодоовощехранилищ на основе проведенного анализа энергобаланса хранилищ и изменения внешних факторов;

разработана теплонасосная система теплоснабжения плодоовощехранилищ с утилизацией низкопотенциального тепла вентиляционных выбросов, теплоты дыхания плодоовощных продуктов и конденсации хладагента с получением горячей воды;

впервые разработана энергоэффективная система доувлажнения воздуха с использованием отходного низкопотенциального тепла холодильной камеры и солнечной энергии для поддержания оптимального влажностного режима хранилища;

разработана энергоэффективная система «овощехранилище–гелиотеплица» с холодильным циклом для одновременного отопления и охлаждения комплекса;

разработана усовершенствованная математическая модель процессов тепло – и массообмена при охлаждении продуктов естественным холодом, позволяющая осуществить глубокие исследования нестационарных тепловлажностных режимов в штабеле продуктов и холодильной камере.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана теплонасосная система теплоснабжения плодоовощехранилищ с утилизацией низкопотенциального тепла вентиляционных выбросов, теплоты дыхания плодоовощных продуктов и конденсации хладагента с получением горячей воды, которая позволит уменьшить расход первичной энергии на 23,4 % или 88,7 кг.у.т/т.(защищен патентом Республики Узбекистан № IAP 2010 0134);

разработан способ доувлажнения воздуха с использованием отходного низкопотенциального тепла холодильной камеры и солнечной энергии для поддержания оптимального влажностного режима хранилища, который

позволяет полностью обеспечивать потребности горячей воды для технологических нужд хранилища и сэкономить 14068 м<sup>3</sup> природного газа (защищен патентом Республики Узбекистан № IAP 2010 0226);

разработана методика расчета процесса тепло-и массообмена при охлаждении продуктов естественным холодом в хранилищах углубленного типа, позволяющая существенно сократить потери продуктов, и предложены критериальные уравнения для определения коэффициента теплоотдачи и массообмена при охлаждении штабеля плодоовощной продукции в условиях вынужденной и свободной конвекции;

разработана энергоэффективная совмещенная система «овощехранилище–гелиотеплица», обеспечивающая рациональное использование нетрадиционных источников энергии (получен патент Республики Узбекистан № 00683 UZ FAP 2009 0120).

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обоснована применением современных методов исследований, основанных на адекватных математических моделях с привлечением соответствующих разделов теории тепломассообмена и математической физики, апробированных методов обработки экспериментальных данных. Достоверность результатов подтверждена на основе сравнительного анализа расчетных и экспериментальных данных, полученных в холодильных камерах для хранения плодоовощных продуктов.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость полученных результатов исследования заключается в том, что разработаны научные основы и способы повышения энергоэффективности систем теплохладоснабжения плодоовощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии, математические модели процессов тепло – и массообмена в холодильных камерах, а также предложены критериальные уравнения для расчета коэффициентов теплообмена и массообмена в условиях вынужденной и свободной конвекции.

Практическая значимость полученных результатов работы заключается в разработке методики инженерных расчетов энергоёмкости холодильных камер с солнечно-теплонасосной установкой, энергетической эффективности совмещенной системы «овощехранилище-гелиотеплица» с использованием нетрадиционных источников энергии. Результаты выполненных научных исследований позволяют разработать автономные системы теплохладоснабжения плодоовощехранилищ с повышенной энергетической эффективностью, имеющие малые расходы энергии и потери продуктов по сравнению с традиционными системами.

**Внедрение результатов исследования.** Принципиальные схемы использования нетрадиционных источников энергии в системах теплохладоснабжения плодоовощехранилищ, разработанная теплонасосная система теплохладоснабжения плодоовощехранилищ с утилизацией низкопотенциального тепла вентиляционных выбросов, теплоты дыхания плодоовощных продуктов и конденсации хладагента, способы повышения

энергоэффективности, энергоэффективная совмещенная система «овощехранилище–гелиотеплица» и пиролизные установки внедрены в предприятиях Министерства сельского и водного хозяйства Республики Узбекистан, в том числе в фермерских хозяйствах «Бахт», «Довруг» и «Нишонбой Алламуратович» Кашкадарьинской области. Средний годовой экономический эффект за счет уменьшения расхода первичной энергии на 23,4 % (721,8 кВт.час/тонна) и экономии 14068 м<sup>3</sup> природного газа (17,28 тонна условного топлива) в системах энергоснабжения хранилищ составил 104 млн. сумов (Справка Министерства сельского и водного хозяйства Республики Узбекистан о внедрении за №02/15-350 от 27.04.2015 г.).

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования апробированы на 30 научно-практических конференциях, в том числе на 18 международных конференциях, симпозиумах, конгрессах и семинарах, в частности, международных: «Инновация» (Бухара, 2000; Ташкент, 2001, 2008, 2009); «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» (Ташкент, 2004-2010); «Возобновляемые источники энергии и гелиоматериаловедение» (Ташкент, 2005); «Современное состояние и перспективы развития энергетики» (Ташкент, 2006); «Альтернативная энергетика и проблемы энергобезопасности» (Бишкек, 2008); «Технические науки: проблемы и перспективы» (Санкт–Петербург, 2011); «Технические науки: в России и за рубежом» (Москва, 2011); «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» (Москва, 2012); «Энергосберегающие технологии. Проблемы их эффективного использования» (Волгоград, 2013); International Scientific and Practical Conference «Science and Society» (London, 2014).

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 66 научных работ, в том числе 3 монографии, 27 журнальных статей, из них 13 - в иностранных журналах и получено 3 патента на изобретение Республики Узбекистан.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, 16 приложений и содержит 197 страниц текста, включает 51 рисунок и 19 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во **введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведен перечень внедрений в практику результатов исследования, представлены результаты апробации работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

**В первой главе «Анализ современных систем теплоснабжения плодоовощехранилищ»** проведен анализ современного состояния систем теплоснабжения плодоовощехранилищ с холодильной камерой, сопоставлены их энергетические и технико-экономические показатели и перспективные способы энергосбережения в плодоовощехранилищах с использованием нетрадиционных источников энергии.

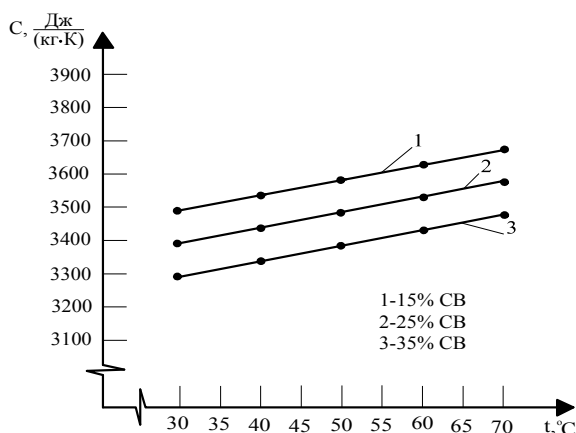
Результаты анализа выполненных исследований по теплоснабжению овощехранилища с холодильной камерой, как в нашей Республике, так и за рубежом показывают, что большинство научных работ посвящены исследованию тепловлажностных режимов хранения пищевых продуктов и теплотехническому расчету микроклимата охлаждаемых помещений. Анализ проведенных исследований показал, что одной из причин высоких потерь хранимых плодоовощных продуктов (ПОП) служит недостаточная изученность процессов тепло-и массообмена в плодоовощехранилищах. Следует отметить, что в выполненных исследованиях недостаточно изученными являются вопросы повышения энергоэффективности систем теплоснабжения овощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии (НИЭ) на основе глубокого исследования тепломассообменных процессов в холодильных камерах хранения плодов и овощей.

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

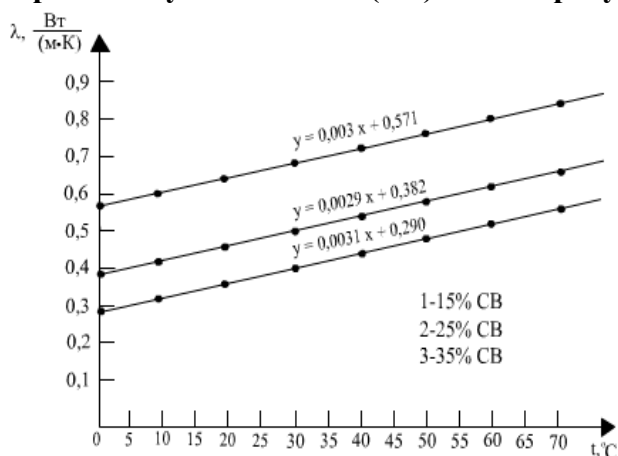
**Во второй главе «Теплофизические характеристики плодоовощных продуктов при хранении в охлаждаемых плодоовощехранилищах»** приведены результаты исследования теплофизических характеристик (ТФХ) плодоовощных продуктов, как факторы, влияющие на тепломассообменные процессы и усушку продуктов при охлаждении. Тепломассообменные процессы в плодоовощехранилищах, теплообмен между охлаждающим воздухом и продуктом, энергетический режим камеры, усушка продуктов при хранении, а также расход холода и тепла при установлении оптимального температурного режима в камерах зависит от ТФХ объектов хранения (плодов и овощей).

В большинстве случаев ТФХ пищевых продуктов, т.е. теплоемкость, теплопроводность, и температуропроводность ( $c$ ,  $\lambda$ ,  $a$ ) при исследованиях принимаются из справочников как табличные данные, определенные различными авторами – исследователями. Однако эти данные не всегда хорошо согласуются, для некоторых продуктов отсутствуют достоверные данные о ТФХ. Поэтому в работе, прежде чем исследовать тепломассообмен и тепловлажностный режим в хранилищах, была поставлена цель – экспериментально исследовать, уточнить и конкретизировать ТФХ хранимых продуктов и получить достоверные результаты.

Экспериментально определены динамика изменения теплоёмкости картофеля калориметрическим методом, а теплопроводность - методом цилиндрического зонда в зависимости от содержания в продукции сухих веществ и изменения температуры. Результаты экспериментов приведены на рис.1 и 2.



**Рис.1. График изменения удельной теплоемкости картофеля в зависимости от содержания сухих веществ (СВ) и температуры.**



**Рис.2. График изменения теплопроводности картофеля в зависимости от содержания сухих веществ (СВ) и температуры.**

Для исследования энергетического режима и энергобаланса хранилищ также определены ТФХ отдельных плодоовощных продуктов (морковь, яблоки и лимоны). Анализ полученных данных показывает, что коэффициент теплопроводности и температуропроводности картофеля зависит от температуры воздуха камеры и содержания в продукции сухих веществ. Полученные ТФХ плодов и овощей позволили получить реальную модель тепло – и массообмена в штабеле овощей в процессе охлаждения при естественной и вынужденной конвекции.

Третья глава «Моделирование и расчет тепломассообменных процессов в плодоовощных холодильных камерах, использующих нетрадиционные источники энергии» посвящена моделированию и исследованию процессов тепло – и массообмена при охлаждении холодильных камер и продуктов в условиях естественной и вынужденной конвекции, рассмотрены вопросы влияния интенсивности солнечного

излучения на усушку продуктов в климатических условиях Кашкадарьинской области.

Экспериментально исследованы процессы конвективного теплообмена, происходящие в опытной холодильной камере при охлаждении картофеля в условиях вынужденной и естественной конвекции. По результатам исследования охлаждения опытного штабеля с теплоотдающей поверхностью  $F=1,92 \text{ м}^2$  при активном вентилировании и на основании метода теории подобия и размерностей, обобщением опытных данных с использованием метода наименьших квадратов установлена следующая критериальная зависимость:

$$Nu = 0,027 Re^{0,98}, \text{ при } 180 \leq Re \leq 1800. \quad (1)$$

Получено критериальное уравнение, описывающее теплообмен при свободном движении воздуха в холодильной камере:

$$Nu_{\text{св}} = 0,02(Gr \cdot Pr)^{0,5}, \text{ при } 35 \cdot 10^3 \leq (Gr, Pr)_{\text{св}} \leq 35,4 \cdot 10^4. \quad (2)$$

Анализ проведенных исследований показывает, что коэффициент теплоотдачи с поверхности картофеля в условиях свободной конвекции в основном зависит от температурного напора между поверхностью продукта и омывающим воздухом, от геометрических размеров продукта и пористости (скважистости) поверхности картофельной насыпи. В рассматриваемом случае коэффициент теплоотдачи с поверхности картофельной насыпи при свободной конвекции изменяется в пределах

$$\alpha = 2,2 - 7,92 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

а при вынужденной конвекции коэффициент теплоотдачи от поверхности продуктов

$$\alpha = 4,4 - 22,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Теплообменные процессы, происходящие в штабелях плодов и овощей сопровождаются процессами переноса массы влаги. Для определения значений коэффициента массообмена эксперименты проводились при охлаждении опытного штабеля картофеля естественным холодным воздухом с температурой  $t_{\text{в}}=0^\circ\text{C}$ . Параметры подаваемого воздуха изменяли в пределах часто встречающихся в производственных условиях (скорость  $0,1 \div 2,5 \text{ м}/\text{с}$ ; относительная влажность воздуха  $80 \div 90 \%$ ). Критерий  $Pr_m = 0,55$ , как показали эксперименты, в пределах изменения температуры  $0 \div 15^\circ\text{C}$   $Pr_m$  является постоянной величиной.

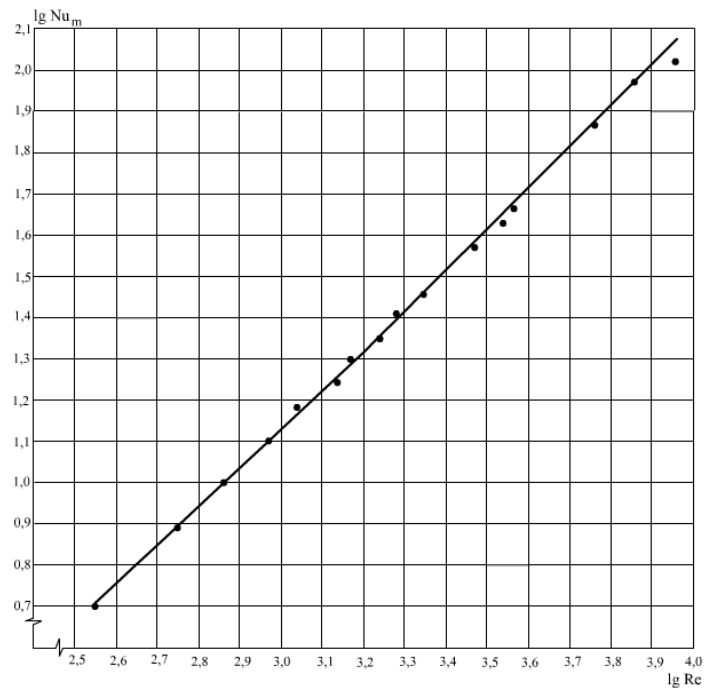
Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 3.

На основе рис.3. и обработки опытных данных методом теории подобия получена следующая критериальная зависимость:

$$Nu_m = 0,0238 Re^{0,93}, \text{ при } Re = 3,65 \cdot 10^2 \div 9,12 \cdot 10^3. \quad (3)$$

Анализ экспериментальных данных показывает, что коэффициент массообмена от поверхности продукта при охлаждении воздухом существенно зависит от скорости потока воздуха. В случае постоянной относительной влажности при росте скорости подаваемого воздуха от  $0,1 \div 2,0 \text{ м}/\text{с}$  коэффициент массообмена увеличивается примерно в 23,6 раз.





**Рис. 3. Зависимость  $Nu_m=f(Re)$**

В диссертационной работе предложена математическая модель процессов теплообмена в холодильной камере при охлаждении продуктов естественным холодом.

Дифференциальные уравнения, связанные с теплопроводностью и теплообменом, были решены численно, с применением метода Рунге-Кутты. Численные решения задачи охлаждения продукта проводились при следующих допущениях:

- теплофизические характеристики ( $\lambda$ ,  $c_p$ ,  $\rho$ ,  $a$ ) продуктов (яблок) при температурах выше криоскопических постоянны;
- пренебрежение контактной теплопроводностью отдельных элементов слоя;
- плоды (яблоки зимних сортов) рассматриваются как шары с эквивалентным диаметром;
- рассматривается не действительная поверхность продуктов, а эффективная поверхность тепло – и массопереноса.

Теплообмен в слое плодов и овощей необходимо рассматривать в совокупности с температурным режимом отдельных элементов сырья, который является нестационарным. Температура воздуха, проходящего через слой плодов и овощей, изменяется как в пространстве, так и во времени. Поэтому решение задачи будет включать два взаимосвязанных выражения температурного поля, первое - для элементов продукта, а второе - для охлаждающего воздуха.

При ранее принятых допущениях определение продолжительности охлаждения и температуры поверхности плодов и овощей (яблок и картофеля) сводится к решению дифференциального уравнения теплопроводности шара:

$$\rho \frac{\partial i}{\partial \tau} = \lambda \left[ \frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right]; \quad (4)$$

$$\partial i = c_p \cdot \partial t, \quad (5)$$

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}, \quad (6)$$

где  $i$  – удельная энтальпия, Дж/кг. С учетом (5) и (6) получим:

$$\frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} = a \left[ \frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right]; \quad (7)$$

граничные условия третьего рода можно записать в следующем виде:

$$\tau=0, t(r, 0) = t_n^0; \quad (8)$$

$$\alpha [t(R, \tau) - t_e] = -\lambda \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r}, \quad (9)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности продукта, м<sup>2</sup>/с;  $c_p$  – изобарная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность продукта, кг/м<sup>3</sup>;  $t_n^0$  – средняя начальная температура продукта,  $t_n^0=25$  °С;  $t(r, \tau)$  – температура продукта зависящая от времени ( $\tau$ ) и радиуса ( $r$ );  $\tau$  – время, сек;  $t_e^0$  – температура приточного воздуха  $t_e^0=0$  °С;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

При моделировании процессов тепло – и массообмена в камере охлаждения яблок и картофеля были приняты следующие допущения:

- холодильная камера рассматривается как объект с сосредоточенными параметрами;
- суммарные теплопритоки в камере постоянны;
- теплофизические параметры охлаждающего воздуха в камере, а также коэффициенты тепло – и массообмена в течение расчетного времени  $\Delta t$  остаются постоянными.

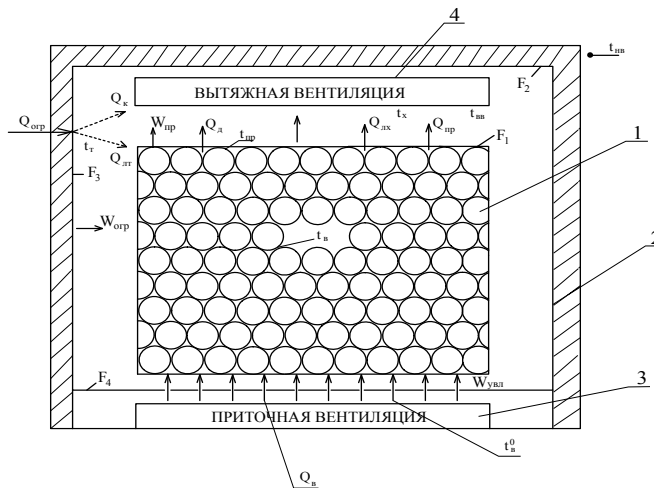
При принятых допущениях изменения температуры и относительной влажности воздуха в хранилище тепловой и влажностный баланс камеры описываются следующими дифференциальными уравнениями:

$$c_v \cdot \rho_v \cdot V_{кам} \cdot \left( \frac{dt_v}{d\tau} \right) = Q_{огр} + Q_{пр} + Q_{лх} + Q_v + Q_d + Q_{экс}, \quad (10)$$

$$\rho_v \cdot V_{кам} \cdot \left( \frac{d(d_v)}{d\tau} \right) = W_{пр} + W_{огр} + W_{ув}, \quad (11)$$

где  $V_{кам}$  –объем камеры, м<sup>3</sup>;  $\rho_v$ –плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $c_v$ –теплоемкость воздуха Дж/(кг·°С);  $Q_{пр}$ –теплоприток от охлаждаемых продуктов к воздуху, Вт;  $Q_{огр}$  –теплопритоки через ограждения, Вт;  $Q_v$  –тепловой поток поступающий с наружным вентиляционным воздухом, Вт;  $Q_{лх}$  –теплота отводимая от продукта излучением, Вт;  $Q_d$ –теплота дыхания продуктов, Вт;  $Q_{экс}$  –эксплуатационные теплопритоки, Вт;  $W_{пр}$  – потеря влаги продукцией, кг/с;  $W_{огр}$  – влагоприток через ограждения, кг/с;  $W_{ув}$  – влагоприток с увлажненным приточным вентиляционным воздухом, кг/с.

Расчетная схема тепловлажностного баланса хранилища приведена на рис. 4.

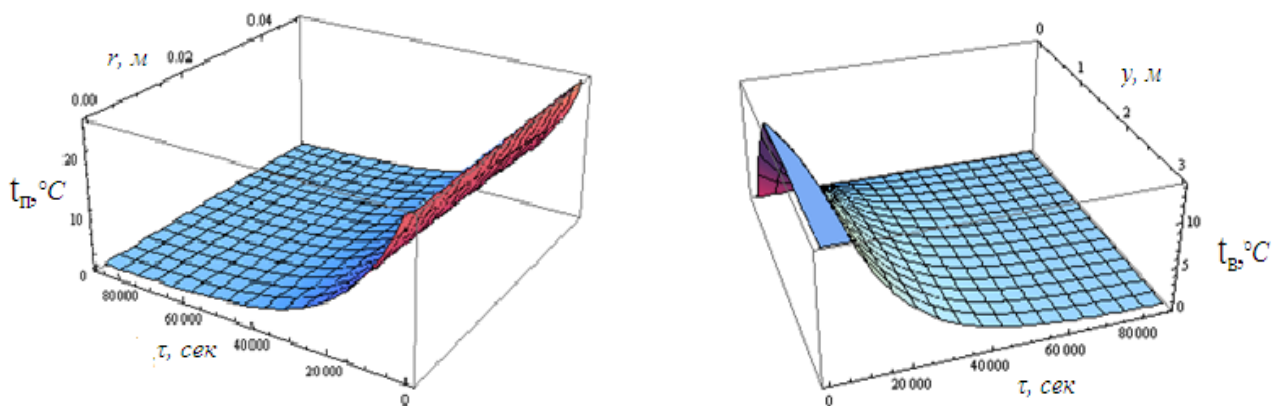


1—продукт; 2—наружное ограждение камеры; 3—приточная вентиляция; 4—вытяжная вентиляция.

**Рис. 4. Расчетная схема тепловлажностного баланса камеры при активном вентилировании с использованием естественного холода.**

Совместное численное решение дифференциального уравнения теплопроводности (7) и дифференциальных уравнений, описывающих тепловой и влажностный баланс камеры охлаждения (10) и (11) позволяет определить взаимосвязь между конструктивными и технологическими параметрами и их изменениями во времени (температурой и влажностью воздуха в камере, среднеинтегральной температурой продукта и величиной усушки).

Результаты численного эксперимента представлены на рис. 5 – 6.



а)

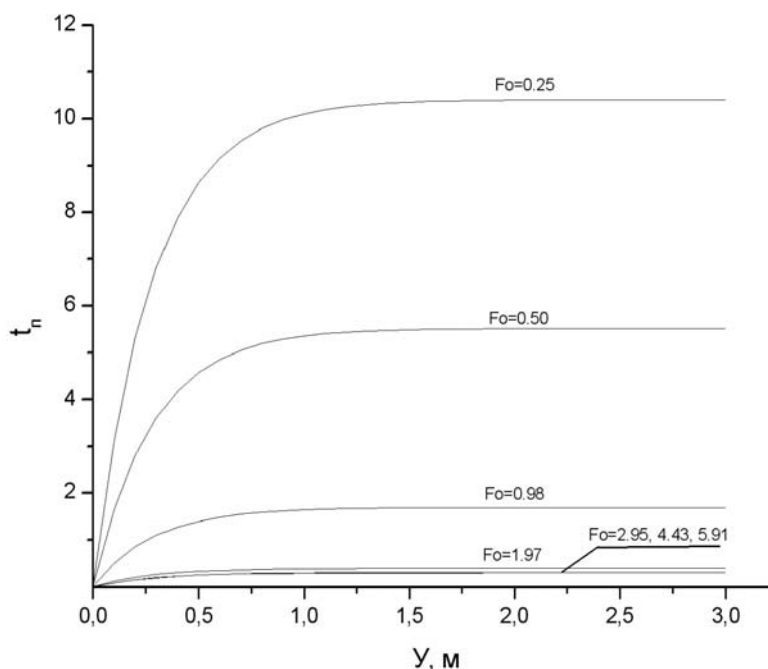
б)

а – изменение температуры продукта;  
б – изменение температуры внутриштабельного воздуха.

**Рис. 5. Температурный режим в штабеле яблок при охлаждении естественным холодом в условиях активной вентиляции.**

Анализ результатов численного эксперимента и условий охлаждения естественным холодом показывает, что наибольшее влияние на

продолжительность процесса оказывают температура, влажность и скорость движения охлаждающего воздуха. С понижением температуры и повышением скорости движения воздуха процесс охлаждения ускоряется, однако при этом может увеличиться усушка продукта.



**Рис. 6. Изменение температуры поверхности продукта в зависимости от высоты штабеля и продолжительности охлаждения.**

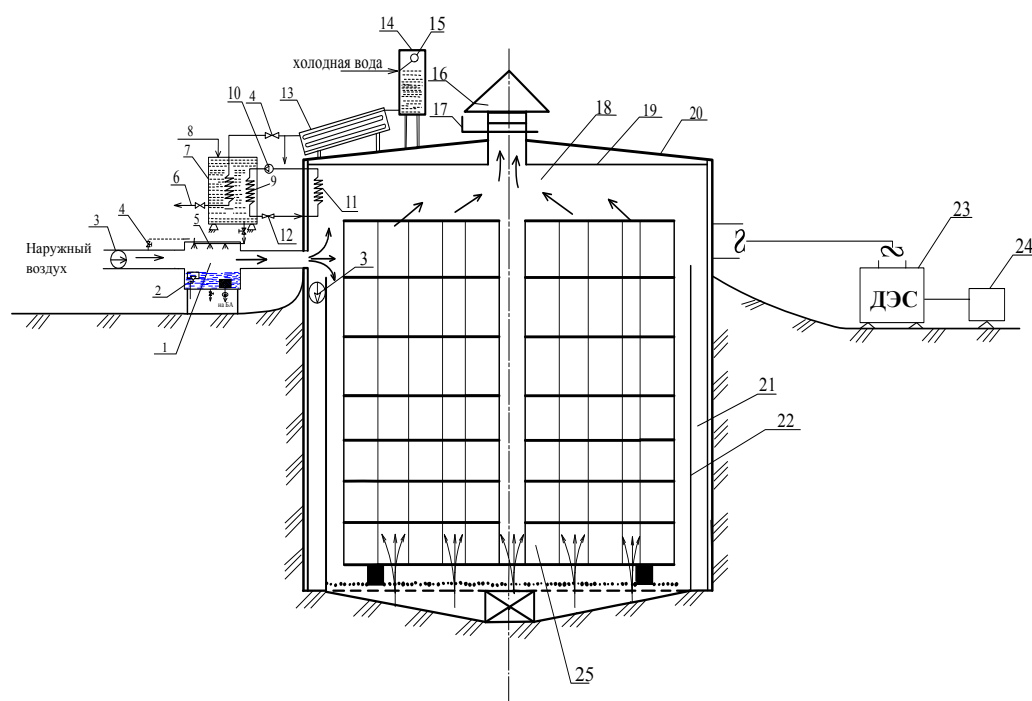
Приводятся результаты исследования процессов теплообмена в ограждении хранилищ с учетом интенсивности солнечной радиации. Исследовано влияние интенсивности солнечного излучения на усушку продуктов в плодоовощехранилище.

Результаты исследований показывают, что максимальные тепловые потоки, проходящие через ограждение (кровли) под действием разности температур окружающей среды и внутрикамерного воздуха ( $9 \text{ Вт/м}^2$ ) и вызванные солнечной радиацией ( $8,25 \text{ Вт/м}^2$ ) по направлению к штабелю, соответствуют показателям на июнь – июль. Доля теплового потока, проходящего через ограждение, вызванного действием солнечной радиации в осенний период (октябрь), составляет 60 %. Снижение степени черноты с применением экрана между ограждением и продукцией позволяет снизить интенсивность лучистого теплопритока к продукту в 2,8 – 3,0 раза по сравнению с оштукатуренной поверхностью ограждения, что даёт возможность уменьшить энергетические расходы на охлаждение камеры.

Таким образом, полученные результаты при исследовании тепломассообменных процессов в холодильных камерах, являются теоретической основой для разработки энергоэффективных систем теплоснабжения плодоовощехранилищ.

В четвертой главе «Разработка и исследование систем теплохладоснабжения плодоовощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии» приведены результаты исследования разработанной системы теплохладоснабжения плодоовощехранилищ с использованием НИЭ и теплотехнический расчет тепловлажностного баланса холодильной камеры с учетом динамики теплопритоков.

С целью повышения энергетической эффективности разработана принципиальная схема систем теплохладоснабжения плодоовощехранилищ с ТНУ и способы утилизации теплоты вентиляционных выбросов и «дыхания» продуктов для получения горячей воды в аккумуляторном баке, со встроенным конденсатором холодильной машины. Исследовано экспериментальное углубленное плодоовощехранилище со строительным объемом  $V_{стр}=180 \text{ м}^3$  (ХК–180) (рис.7).



1 – блок увлажнения воздуха; 2 – перелив; 3 – вентилятор; 4 – задвижка; 5 – форсунки; 6 – горячая вода; 7 – бак аккумулятор; 8 – подпитка; 9 – конденсатор ТНУ; 10 – компрессор ТНУ; 11 – испаритель ТНУ; 12 – регулирующий вентиль ТНУ; 13 – плоский солнечный коллектор; 14 – расходной бак холодной воды; 15 – поплавковый регулятор уровня воды; 16 – вытяжной канал; 17 – шибер; 18 – холодильная камера; 19 – экран ПВД; 20 – кровли камеры; 21 – воздушная прослойка; 22 –воздуховод камеры; 23 – ДЭС; 24 – пиролизная установка; 25 – штабель продуктов.

**Рис. 7. Принципиальная схема систем теплохладоснабжения экспериментального углубленного плодоовощехранилища с ТНУ.**

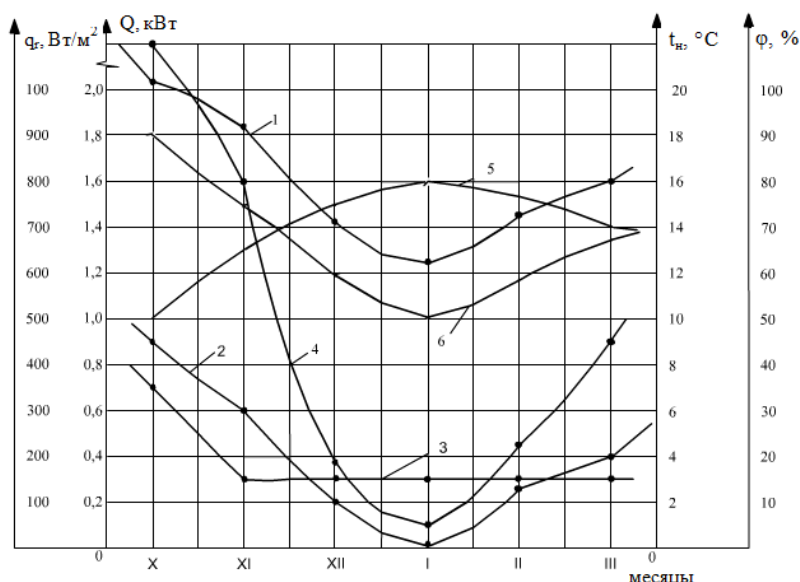
Система теплохладоснабжения холодильной камеры ХК – 180 состоит из ТНУ, пиролизной установки, систем увлажнения воздуха и вентиляции. Предложенная система работает на двух режимах, т.е. в режиме охлаждения и отопления в зависимости от природно–климатических условий местности. В режиме охлаждения испаритель ТНУ 11 отбирает теплоту из камеры и

охлаждает внутренний воздух камеры. Затем холодильный агент сжимается в компрессоре 10 и перегретый пар поступает в конденсатор 9. Теплота конденсации холодильного агента в конденсаторе нагревает воду в бак – аккумуляторе 7. Полученная подогретая вода в конденсаторном узле теплового насоса форсунками разбрызгивается для увлажнения приточного воздуха. После конденсации жидкий холодильный агент поступает в регулирующий вентиль 12 и затем в испаритель ТНУ 11. Использование низкопотенциальной теплоты вентиляционных выбросов и теплоты дыхания продуктов для подогрева воды позволяет сэкономить первичную энергию по сравнению с паровым увлажнением приточного воздуха. На крыше камеры установлены плоские солнечные коллекторы 13, которые позволяют дополнительно получить горячую воду для технологических и бытовых нужд хранилища. В режиме охлаждения задвижка 4 находится в закрытом положении. При необходимости вентилирования камеры естественным холодом ночного воздуха включается система активной вентиляции. В режиме отопления камеры холодильный агент в ТНУ циркулируется в противоположном направлении, при этом испаритель ТНУ в камере выполняет функции конденсатора, а конденсатор в баке – аккумуляторе испарителя. В этом режиме задвижка 4 имеет открытое положение, и горячая вода от солнечных коллекторов поступает в бак – аккумулятор, тем самым поддерживая повышение температурного уровня низкопотенциальной среды. Комбинированный способ использования солнечных коллекторов, теплового насоса и пиролизной установки в режиме отопления камеры позволяет повысить энергетическую эффективность системы.

Установлено что, удельная эксплуатационная энергоёмкость при хранении яблок зимних сортов составляет в базовой камере 3079,8 кВт·час/тонн, а в предложенной холодильной камере – 2358 кВт·час/тонн. При этом экономия энергии по сравнению с базовой камерой составила 23,4 %. Таким образом, энергетический эффект достигает 721,8 кВт·час/тонн или 88,7 кг. у. т/т.

Для выявления эффективности систем теплохладоснабжения с ТНУ произведен теплотехнический расчет хранилища. Теплотехнический расчет основывается на составлении теплового и влажностного баланса хранилища, т.к. хранилище можно рассмотреть как единое энергетическое целое и решать все задачи, связанные с теплотехническим проектированием зданий такого типа.

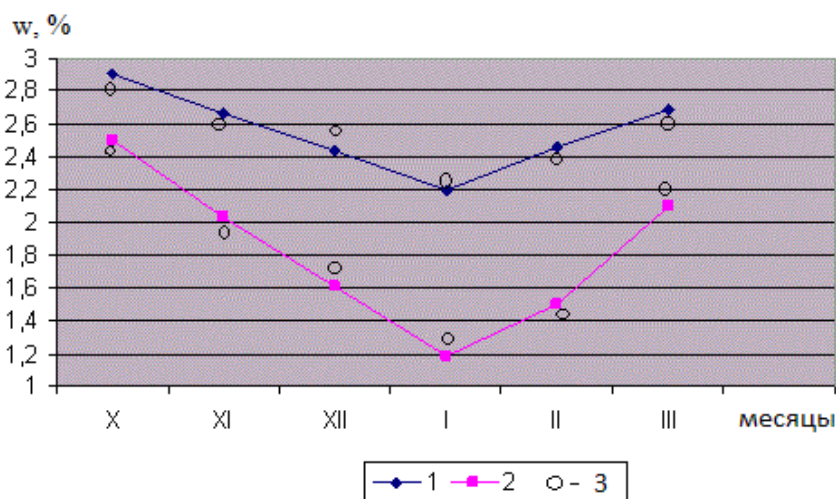
На рис. 8 приведены результаты исследования теплового баланса опытного углубленного плодоовощехранилища с учетом динамики изменения теплопритоков в зависимости от параметров наружного воздуха.



1 – суммарные теплопритоки; 2 – теплопритоки через ограждения; 3 – теплоприток от продуктов при «дыхании»; 4 – изменение температуры наружного воздуха; 5 – изменение относительной влажности наружного воздуха; 6 – изменение суммарной солнечной радиации.

**Рис. 8. Динамика изменения теплопритоков в период хранения яблок в холодильной камере в климатических условиях г. Карши.**

Расчетно–экспериментальным путем определены потери влаги продукцией в период хранения яблок зимних сортов, результаты представлены на рис. 9.



1–надземное хранилище; 2–углубленное хранилище ХК – 180 с ТНУ; 3- экспериментальные значения.

**Рис.9. Сопоставление потери влаги продукцией (яблок) в хранилищах.**

Результаты проведенных исследований при хранении яблок зимних сортов и анализ тепловлажностных режимов сравниваемых хранилищ показывают, что в предложенном углубленном хранилище потери влаги продукцией в период хранения (октябрь – март) составляют – 11%, в

надземном хранилище – 16,2 %, а в типовом хранилище 20 – 30 %. Минимальная относительная месячная усушка продукта (яблок) составляет 1,5 – 2,0 % в январе. Таким образом, в предложенной камере потери ПОП снижаются в 1,8-2,72 раза по сравнению с типовой камерой.

Обоснована эффективность использования низкопотенциальной сбросной теплоты вентиляционных выбросов с ТНУ. Предложенная система теплохладоснабжения отличается наличием возможности охлаждения камеры и одновременного нагрева воды для технологических нужд, увлажнения приточного воздуха, а также утилизации теплоты вентиляционных выбросов и теплоты «дыхания» продуктов в баке – аккумуляторе. В режиме охлаждения камеры емкостью 24 т яблок зимних сортов в природно–климатических условиях г. Карши тепловая нагрузка на испаритель ТНУ составляет 25 кВт, одновременно 31,9 кВт тепла от конденсатора используется для нагрева воды от 18 до 60 °С в баке – аккумуляторе.

По результатам исследований и расчетов установлено, что теплонасосная утилизация теплоты вентиляционных выбросов позволяет полностью обеспечивать потребности горячей воды для бытовых и технологических нужд овощехранилища. При этом расход воды на увлажнение воздуха уменьшается в 1,3 – 1,5 раза. Использование  $Q_k = 31,9$  кВт сбрасываемого тепла для подогрева воды в конденсаторе позволяет сэкономить за час  $v = 4$  кг условного топлива. Количество подогретой воды за сутки составит – 15,6 м<sup>3</sup>, а экономия условного топлива - 96 кг. Таким образом, в период хранения за счет одновременного нагрева воды в баке – аккумуляторе с утилизацией теплоты вентиляционных выбросов можно сэкономить 17,28 т условного топлива, или 14068 м<sup>3</sup> природного газа.

В пятой главе **«Разработка энергоэффективной системы «овощехранилище - гелиотеплица» с использованием нетрадиционных источников энергии и вторичных энергоресурсов»** проведен анализ энергетической эффективности предложенной совмещенной системы «овощехранилище – гелиотеплица» с использованием НИЭ и вторичных энергоресурсов. На рис.10. приведена принципиальная схема совмещенной энергоэффективной системы «овощехранилище – гелиотеплица».

Исследовано плодоовощехранилище со строительным объемом 180 м<sup>3</sup>, вместимостью 24 т для хранения яблок зимних сортов и гелиотеплица полезной площадью 200 м<sup>2</sup>. Совместная эксплуатация овощехранилищ и гелиотеплиц позволяет одновременно использовать солнечную энергию, теплоту вентиляционных выбросов и отходного тепла холодильной камеры, а также утилизацию уходящих газов от традиционных источников энергии.

Для оценки энергетической эффективности использования овощехранилища совместно с гелиотеплицей составлен тепловой баланс и определены основные энергетические характеристики системы. Тепловую мощность системы отопления теплицы следует определять в результате решения уравнений теплового баланса с учетом происходящего теплообмена на поверхности почвы, ограждений и растений.



Практически мощность системы отопления теплицы определяется по уравнению

$$Q_{om} = Q_{оэп} + Q_{эп} + Q_{инф}, \quad (12)$$

где  $Q_{оэп}$  – теплопотери через наружные ограждения – стены и покрытия (скаты);  $Q_{эп}$  – теплопотери через грунт, рассчитанные по известному способу с разделением его площади на зоны (ориентировочно  $Q_{эп}$  составляют около 0,2  $Q_{оэп}$ );  $Q_{инф}$  – теплозатраты на нагревание инфильтрующегося воздуха.

Известно, что тепловые потери гелиотеплицы зависят от коэффициента ограждения, который вычисляли по соотношению

$$K_{оэп} = F_{оэп} / F_u, \quad (13)$$

где  $F_{оэп}$  – общая светопрозрачная поверхность ограждения;  $F_u$  – инвентарная (полезная) площадь гелиотеплицы.

Применив упрощенный способ расчета теплового баланса теплицы, пренебрегая влиянием тепловых потоков через защищенный грунт, можно определить тепловую мощность системы отопления

$$Q_{om} = Q_{оэп} + Q_в - Q_{np} = KF_u (t_в - t_n) K_{оэп} K_{инф} - Q_{np}, \quad (14)$$

или

$$Q_{om} = Q_{m.n} - Q_{np}, \quad (15)$$

где  $Q_{om}$  – тепловая мощность системы отопления,  $Q_{оэп}$  – потери тепла через ограждение,  $Q_в$  – потери тепла вследствие воздухообмена,  $Q_{np}$  – приток солнечной радиации внутрь теплиц за отопительный период,  $K$  – коэффициент теплопередачи ограждения,  $K_{пр} = F_{огр} K / F_u$ ,  $K_{пр}$  – приведенный коэффициент теплопередачи ограждения;  $t_в$  – расчетная температура воздуха внутри теплицы, 17,2 °С;  $t_n$  – среднесуточная температура наружного воздуха за отапливаемый период (ноябрь–март), 4,6°С;  $K_{инф}$  – коэффициент инфильтрации равный 1,1...1,2.

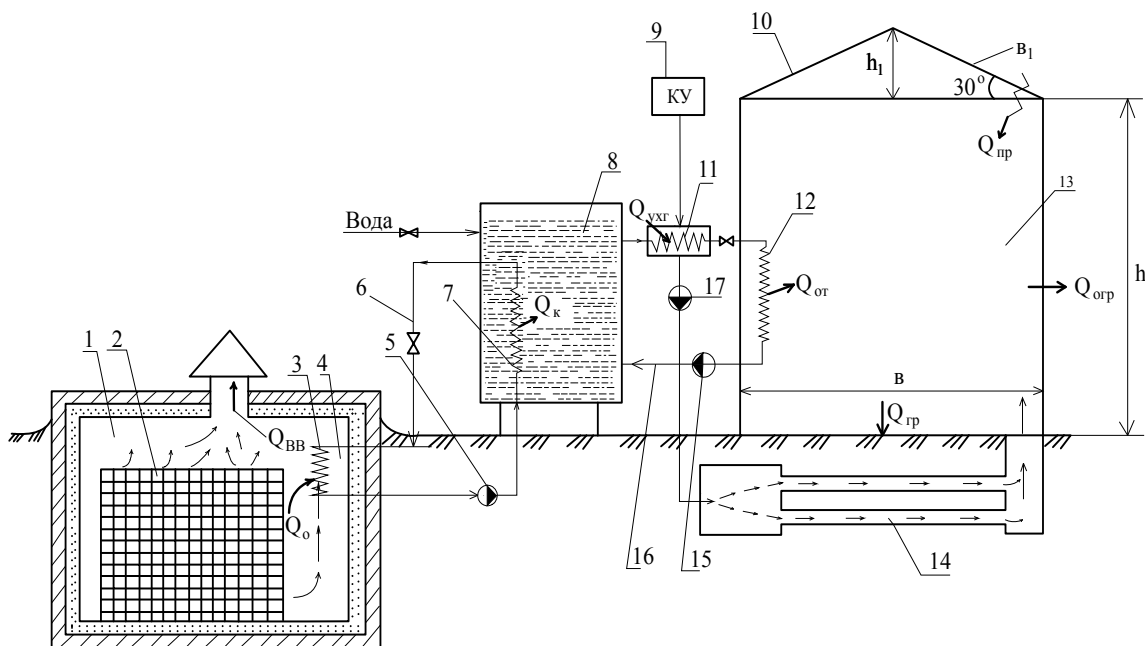
Приток солнечной радиации внутри теплиц за отопительный период:

$$Q_{np} = \bar{q}_{над} K_{проп} \alpha_n F \tau, \quad (16)$$

где,  $\bar{q}_{над}$  – среднесуточное значение падающей за отопительный период суммарной солнечной радиации;  $\alpha_n$  – коэффициент лучепоглощения поверхности листьев растений и почвы;  $K_{проп}$  – коэффициент пропускания солнечной радиации светопрозрачного ограждения теплицы;  $F$  – площадь пола теплицы;  $\tau$  – продолжительность отопительного периода.

Если  $Q_{m.n} \leq Q_{np}$ , тогда при ясной погоде не требуется дополнительный обогрев теплицы с применением традиционных систем отопления. Если  $Q_{m.n} > Q_{np}$ , тогда требуется дополнительный обогрев теплицы с использованием органического топлива в котельной.

В нашем случае коэффициент ограждения  $K_{оэп} = 1,76$ , среднее значение коэффициента теплопередачи светопрозрачного ограждения  $K = 6,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $K_{проп} = 0,62$ ,  $\alpha_n = 0,8$ .



1–плодоовощехранилище; 2–штабель продукции; 3–испаритель теплового насоса; 4–тепловой насос; 5–компрессор; 6–трубка хладагента; 7–конденсатор; 8–бак–аккумулятор тепла; 9–котельная установка; 10–светопрозрачное покрытие; 11–теплообменник; 12–отопительное устройство; 13–солнечная теплица; 14–теплоаккумулирующий канал; 15–центробежный насос; 16–трубопроводы систем отопления; 17–газового вентилятора.

**Рис. 10. Принципиальная схема совмещенной энергоэффективной системы «овощехранилище–гелиотеплица».**

При совместном использовании овощехранилища и гелиотеплицы в ночное время теплота вентиляционных выбросов холодильной камеры, а также горячая вода, полученная в бак – аккумуляторе за счет теплоты конденсации хладагента теплового насоса и обогрева уходящими продуктами сгорания топлива, обеспечивает требуемый температурный режим в гелиотеплице. Тогда мощность отопительной системы для тепличной части сооружения определяется по формуле:

$$Q_{от} = Q_{m.n} - Q_{вв} - Q_{зв}, \quad (17)$$

где  $Q_{вв}$  – тепловой поток вентиляционных выбросов холодильной камеры;  $Q_{зв}$  – тепловая мощность горячей воды, полученная при утилизации тепла уходящих газов.

Сезонный расход топлива (природного газа) на отопление теплицы полезной площадью 200 м<sup>2</sup> определяли по формуле:

$$B = 1,15 Q_{от} \tau / Q_n^p \eta, \quad (18)$$

где 1,15 – коэффициент, учитывающий потери тепла в трубопроводах;  $\tau$  – продолжительность отопительного периода для г. Карши равная 132 суток;  $Q_n^p$  – рабочая низшая теплота сгорания топлива (природной газ Шуртанского месторождения) равна 8626 Ккал/нм<sup>3</sup>,  $\eta$ –коэффициент полезного действия котельной 0,8.

В соответствии с формулой (18) расход газа в отопительный период при ночном режиме составил 15563,08 м<sup>3</sup>, следовательно, для поддержания нормальной температуры внутри теплицы нужно 117,9 м<sup>3</sup>/сутки.

Результаты расчетов энергетической эффективности показали, что в предложенной системе годовая экономия энергии на отопление теплицы составляет 5904,1 м<sup>3</sup> природного газа или 7,26 тонн условного топлива (т.у.т.). Результаты расчета расходов топлива на отопление гелиотеплицы приведены в табл.1.

В режиме охлаждения холодильной камеры ёмкостью 24 тонны яблок зимних сортов в условиях г. Карши, при утилизации теплоты конденсации хладагента 31,9 кВт тепла, можно получить горячую воду температурой 60 °С и расходом  $G_B = 0,18$  кг/сек. В теплообменнике 11 вода дополнительно нагревается на  $\Delta t = 30$  °С, используя теплоту уходящих газов. При этом расход газов составляет  $G_G = 0,29$  кг/сек. Результаты проведенных исследований показывают, что в зимних условиях (декабрь–февраль) при ясной погоде 30–35 % тепловой нагрузки теплицы покрывается солнечной энергией, а 37–40 % - за счет использования отходного тепла.

Таблица 1.

**Расход топлива на отопление гелиотеплицы  
с площадью 200 м<sup>2</sup> в условиях г. Карши**

Месяцы	Расход топлива на отопление гелиотеплицы при ясной погоде (при дневной работе теплицы), м <sup>3</sup> /мес.	Расход топлива на отопление гелиотеплицы при ночном режиме, м <sup>3</sup> /мес.	Расход топлива на отопление гелиотеплицы при совмещенном варианте с овощехранилище (с утилизацией отходного тепла и использование ВЭР) м <sup>3</sup> /мес.	Экономия топлива в ночном режиме гелиотеплицы, %
XI	449,12	2099,55	811,15	61
XII	2512,87	3745,14	2578,8	31,1
I	2874,70	4085,61	2919,34	28,5
II	2027,57	3363,06	2274,55	32,3
III	344,96	2241,41	1075,14	52
Всего за сезон	8209,22	15563,08	9658,99	37,9

Таким образом, совмещенный вариант овощехранилище – гелиотеплица с утилизацией отходного тепла позволит сэкономить расход энергии на отопление гелиотеплицы в ночное время в среднем до 25–38 %.

## Заключение

Для дальнейшего повышения энергоэффективности систем теплоснабжения, экономии энергоресурсов при длительном хранении ПОП и обеспечения надежного хранения с наименьшими потерями необходимо совершенствование существующих систем теплоснабжения плодоовощных холодильных камер, вентиляции и увлажнения воздуха в хранилищах, а также создание энерго- и ресурсосберегающих технологий с использованием НИЭ, которые базируются на основе глубокого исследования энергоданса хранилища и процессов теплообмена, происходящих в массе продукции и в плодоовощных холодильных камерах.

Разработана теплонасосная система теплоснабжения плодоовощехранилищ с использованием НИЭ, с утилизацией теплоты дыхания продуктов и вентиляционных выбросов, позволяющая сэкономить энергетические и водные ресурсы для поддержания тепло – и влажностного режима в плодоовощехранилищах. Обоснована энергетическая эффективность совмещенной термодинамической системы «плодоовощехранилище-гелиотеплица», что позволяет реализовать проектирование энергосберегающих систем энергоснабжения плодоовощехранилищ как биоэнергетического комплекса для выращивания и хранения ПОП.

Основные результаты диссертационной работы, посвященной решению одной из важных и актуальных проблем повышения энергоэффективности систем теплоснабжения плодоовощехранилищ, состоят в следующем:

1. На основе проведенного анализа современного состояния экономии энергоресурсов в плодоовощехранилищах и холодильниках, как в нашей Республике, так и за рубежом, установлено, что в настоящее время проблемы энергосбережения в большинстве случаев решаются без научно-обоснованного исследования энергоданса охлаждаемых помещений и процессов тепло-и массообмена в холодильных камерах, а также отсутствуют необходимые исходные и научные рекомендации, которые позволили бы с достаточной для инженерных расчетов точностью дать количественный прогноз развития энергетических процессов в плодоовощехранилищах. Вопросам повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения овощехранилищ с использованием НИЭ до настоящего времени не уделено должного внимания.

2. Экспериментально исследованы основные ТФХ ( $\lambda$ ,  $c$ ,  $a$ ) картофеля и ПОП, которые влияют на скорость протекания процесса охлаждения, интенсивность теплообменных процессов и усушку продукции, а также динамику их изменения в зависимости от содержания в продукции сухих веществ. Получены эмпирические выражения, описывающие изменение теплопроводности картофеля в зависимости от содержания в продукции сухих веществ и изменения температуры.

3. Получены критериальные уравнения для определения коэффициента теплоотдачи при охлаждении опытного штабеля вынужденным потоком воздуха –  $Nu = 0,027 Re^{0,98}$  и для определения

теплообмена между окружающим воздухом и теплоотдающей поверхностью штабеля в условиях свободной конвекции –  $Nu = 0,02 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,5}$ . По результатам экспериментов и обработки опытных данных методом теории подобия получена обобщенная критериальная зависимость, позволяющая определить коэффициент массообмена от поверхности продукта при охлаждении воздухом:

$$Nu_m = 0,0238 Re^{0,93}, \text{ при } Re = 3,65 \cdot 10^2 \div 9,12 \cdot 10^3.$$

Анализ экспериментальных данных показывает, что коэффициент массообмена от поверхности продукта при охлаждении воздухом существенно зависит от скорости потока воздуха. В случае постоянной относительной влажности при росте скорости подаваемого воздуха от 0,1 ÷ 2,0 м/с коэффициент массообмена увеличивается примерно в 23,6 раз.

4. Разработана и предложена математическая модель процессов тепломассообмена в холодильной камере при охлаждении продуктов естественным холодом, позволяющая определить взаимосвязь между конструктивными и технологическими параметрами холодильной камеры. Анализ условий охлаждения естественным холодом показывает, что наибольшее влияние на продолжительность процесса оказывает температура, влажность и скорость движения охлаждающего воздуха. С понижением температуры и повышением скорости движения воздуха процесс охлаждения ускоряется, однако при этом может увеличиться усушка продукта.

5. Разработана математическая модель процессов теплообмена в ограждении хранилищ с учетом интенсивности солнечной радиации. Исследовано влияние теплопритока через ограждение на интенсивность усушки продуктов. Результаты расчетов показывают, что максимальные тепловые потоки, проходящие через ограждение (кровли) под действием разности температур окружающей среды и внутрикамерного воздуха (9 Вт/м<sup>2</sup>) и вызванные солнечной радиацией (8,25 Вт/м<sup>2</sup>) по направлению к штабелю, соответствуют показателям на июнь – июль. Доля теплового потока, проходящего через ограждение, вызванного действием солнечной радиации в осенний период (октябрь), составляет 60 %. Установлено, что усушка хранимых продуктов изменяется с изменением интенсивности теплопритоков через ограждение камеры, его максимальное значение доходит до 1,0 % (в июле) при суммарном теплопритоке 17,25 Вт/м<sup>2</sup> с учетом влияния солнечной радиации.

6. Предложен способ снижения лучистого теплообмена между поверхностью ограждения и продукцией с применением экрана между ними. Установка экрана из оцинкованного листа со степенью черноты  $\varepsilon = 0,2$  между внутренним ограждением и продуктом при приведенной степени черноты системы «ограждение – продукт»  $\varepsilon_{\text{огр.пр}}^{\text{прод}} = 0,18$  позволяет снизить интенсивность лучистого теплопритока к продукту в 2,8 – 3,0 раза по сравнению с оштукатуренной поверхностью ограждения.

7. Предложена теплонасосная система теплоснабжения овощехранилищ с использованием НИЭ, утилизацией теплоты дыхания продуктов и вентиляционных выбросов, позволяющей сэкономить

энергетические и водные ресурсы для поддержания тепло – и влажностного режима в холодильной камере. Установлено, что удельная эксплуатационная энергоёмкость составляет в базовой камере 3079,8 кВт·час/тонн, а в предложенной камере 2358 кВт·час/тонн. При этом экономия энергии по сравнению с базовой камерой составила 23,4 % или 88,7 кг.у.т/т.

8. Исследован тепловлажностный баланс опытного углубленного плодоовощехранилища со строительным объемом 180 м<sup>3</sup> с учетом динамики изменения теплопритоков в зависимости от параметров наружного воздуха. Анализом тепловлажностных режимов сравниваемых хранилищ установлено, что в предложенном углубленном хранилище потери влаги продукцией в период хранения составляют – 11%, в надземном хранилище – 16,2 %, а в типовом хранилище 20 – 30 %.

9. По результатам исследований и расчетов установлено, что теплонасосная утилизация теплоты вентиляционных выбросов позволяет полностью обеспечивать потребности горячей воды для бытовых и технологических нужд овощехранилищ и в периоде хранения за счет одновременного нагрева воды в баке – аккумуляторе можно сэкономить 17,28 т условного топлива или 14068 м<sup>3</sup> природного газа.

10. Впервые на основе проведенных исследований предложена совмещенная термодинамическая система «овощехранилище–гелиотеплица» и научно обоснована энергетическая эффективность применения холодильного цикла для одновременного отопления и охлаждения комплекса.

11. Результаты проведенных исследований показывают, что в зимних условиях (декабрь – февраль) при ясной погоде 30 – 35 % тепловой нагрузки теплицы покрывается солнечной энергией, а 37 – 40 % - за счет использования отходного тепла. Совмещенный вариант овощехранилище – гелиотеплица с утилизацией теплоты «дыхания» охлаждаемых продуктов и вентиляционных выбросов из холодильной камеры позволит сэкономить расход энергии на отопление гелиотеплицы в ночное время в среднем до 25–38 %.

Таким образом, на основе теоретического обобщения и практической реализации изложенных в работе новых научных положений, решена крупная научная проблема разработки энергоэффективных систем теплоснабжения плодоовощехранилищ, использующих НИЭ, а также разработаны научные основы сокращения энергоёмкости технологических процессов хранения ПОП и снижения потери продуктов, которые имеют важное народнохозяйственное значение.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD SCIENTIFIC DEGREE  
OF DOCTOR OF SCIENCES 16.07.2013.T.02.01 AT TASHKENT  
STATE TECHNICAL UNIVERSITY AND INSTITUTE OF ENERGY  
AND AUTOMATION**

---

**KARSHI ENGINEERING-ECONOMIC INSTITUTE**

**UZAKOV GULOM NORBOYEVICH**

**WAYS OF IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF HEAT-COLD  
FRUIT AND VEGETABLE STORAGES, USING ALTERNATIVE  
ENERGY SOURCES**

05.05.04 - Industrial power energy  
(technical sciences)

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION**

**Tashkent – 2016**

**The subject of doctoral dissertation in registered Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number 12.05.2015/B2015.1.T468.**

Doctoral thesis was carried out in Karshi Engineering - Economic Institute.

Abstract of the thesis in three languages (Uzbek, Russian, English) is available on the website of the Scientific Council ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and information-educational portal «ZIYONET» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific consultant:**     **Zakhidov Romen Abdullayevich**  
Academician of the AS RUz, doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:**     **Mukhiddinov Djaloliddin Nasirovich**  
doctor of the technical sciences, professor

**Avezov Rabbanakul Raxmonovich**  
doctor of the technical sciences, professor

**Iskandarov Zafar Samandarovich**  
doctor of the technical sciences, professor

**Leading organization:**     **UzAS Institute of ion-plazma and iazer technologies under the Special design and technology bureau**

Defense of dissertation will be taken place in “20” February 2016 at 10<sup>00</sup> o’clock at the meeting of the scientific council 16.07.2013.T.02.01 at the Tashkent State Technical university and the Institute of Energy and Automation. (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

Doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 09). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-03-41).

Abstract of dissertation sent out on “18” January 2016 year.  
(mailing report №02, on “18” January 2016 year)

**N.R.Yusupbekov**

Chairman of scientific council on award of  
scientific degree of doctor of sciences,  
Doctor of technical sciences, professor,  
Academician of the AS RUz

**O.O.Zaripov**

Scientific secretary of scientific council,  
Doctor of technical sciences.

**F.A.Khoshimov**

The chairman of scientific seminar under  
scientific council, doctor of technical sciences, professor



## **Introduction (Annotation of doctoral dissertation)**

**Topicality and demand of the subject of dissertation.** Problems of energy saving by using energy resources acquired special importance because of the reduction in conventional energy resources and the aggravation of environmental loads to the environment. Nowadays 20 % of energy is produced from the alternative energy sources and 30% of fossil fuels is used in the heat-cold supply systems. That's why the implementation of a set of actions on solution of energy saving problems and development of non-traditional renewable energy sources application are vital.

In the conditions of sharply continental climate almost 49.6 % of total energy consuming, i.e. 24.5 toe per year is the share of the heat-cold supply systems. The agricultural sector's use is 6.8 % of the primary energy. Systems of heat-cold supply of fruit and vegetable storage facilities are one of the largest consumers of energy resources in agricultural production. All processes in the fruit and vegetable storage facilities: pretreatment products before storage, cooling, ventilation, humidification and long-term cold storage are the energy-intensive processes. The analysis of energy balance in the fruit vegetable storage facility shows that energy intensity of premises used is 3000-3500 kWt.h/t, and the energy consumption is up to 70%. In this regard the reducing of energy intensity of refrigerating chambers and development of energy-efficient heat-cold supply system of fruit vegetable storage facilities using nonconventional sources of energy is one of the urgent problems.

On the basis of this the solution of these problems requires special research aimed at further improving the energy efficiency of the systems of heat-cold supply of fruit vegetable storage facilities and energy efficiency in thermal technological processes using the nonconventional sources of energy.

In this case, the practical realization of these methods to improve energy efficiency of heat and cold of fruit vegetable storage is faced with the necessity of solving various problems of unsteady heat and mass transfer in cold rooms with all the parameters that significantly affect the safety of products and energy consumption for optimal heat and humidity of the camera mode. Demand for the thesis is characterized by the fact that the widespread introduction of modern cold stores and warehouses, reducing the loss of fruit and vegetable products during storage and reduction of energy intensity of production processes in the fruit storages, connected with solving important scientific and technical problems to improve the energy efficiency of heat and cold using nonconventional sources of energy on the basis of in-depth study of the energy balance of cold rooms and heat and mass transfer processes occurring in fruit stacks.

This research work serves the implementation of the tasks specified by Presidential Decree of March 1, 2013 DP-4512 "On measures for further development of alternative energy sources" and the Resolution of the President of March 1, 2013 RP-1929 "On establishment of the International institute of solar energy" which underlines the most important tasks as the development and

introduction of modern high-performance methods, technologies and installations of alternative energy sources.

### **Relevant research priority areas of Science and Technology of the**

Thesis was made in accordance with the priority areas of science and technology: PAR-4: "Development of methods for the use of renewable energy sources, the development of technologies and devices based on nanotechnology, photonics and other advanced technologies."

### **International review of scientific researches on the theme of dissertation.**

Theoretical and practical research to develop new energy-saving technologies and storage FVP mathematical models of heat and mass transfer processes and the development of methods to maintain optimum conditions of hygrothermal fruit cold rooms were carried out by large firms, companies, research centers, universities and research institutes in foreign countries, such as, Kentucky university (USA), FranceAgriMer, Aereco SA (France), Shanghai Kingram Refrigeration.CO (China), Yamagata university (Japan), the International Academy of Refrigeration (MAX, Russia), Institute Plodoovoschproekt NPC (National Academy of Sciences of Belarus), Mitsubishi (Japan), Gigroterm LLC (Russia), Agrofresh (Spain), Eliwell Controls SRL (Italy) and others.

As the results of scientific researches carried out recently in scientific centres, universities and research and development institutes can be mentioned the following: developed advanced storage technology of fruit and vegetable products by improving the cooling systems of refrigeration chambers and equipment (FAO, UN); refrigeration and heat pump designed air-conditioning system of fruit and vegetable refrigeration chambers, thermal performance optimization techniques walling of fruit vegetable storage and energy-saving modes of storage (MAX, Russia); developed advanced energy-saving technologies "shock freezing" and storage in the controlled gas environment (Shanghai Kingram Refrigeration.CO, China); development of new energy-efficient refrigerators to store fruit products (Agrofresh, Spain); designed cooling system with heat recovery air coolers and cold stores storage methods FVP into neutral gas environment (Eliwell Controls SRL, Italy).

Today the priority is carried out research work on the development of energy-efficient heat and cold of fruit vegetable storage and optimization of processes of heat and humidity based on the perfection of the system of active ventilation, humidification of ventilation air, natural cold storage and efficient use of alternative energy sources.

**Degree of study of problem.** The analysis of scientific and technical literature of the last years concerning researches on development of ways of increase of energy efficiency of systems of heat-cold supply of rooms for storage of fruit and vegetable products testifies to achievement of considerable theoretical and practical results in this area.

A large number of the scientific works devoted to problems of energy saving and energy efficiency increase fruit-vegetable storage with using of

nonconventional sources of energy is published. In all developed countries, developed and implemented effective systems heat cold supply, storage methods, optimization and control of processes of heat and humidity, as well as energy-saving technology for storage of food in refrigerated storages are fruitful. Great achievements in solving these problems belong to scientists from different countries, such as: Volkov M.A., Jadan V.Z., Chizhov G.B., Volkind I.L., Shadiev S.S., Tikhonov B.S., Khudayberdiev B.H., Magtymov G.M., Chumak I.G., Yanyuk V.A. etc. Researches on development of heat pump systems of heat-cold supply are conducted by Zakhidov R.A., Avezov R.R., Mukhiddinov D.N., Vardiyashvili A.B. and other Uzbek scientists.

However the constant increase in production of fruit and vegetable products and expansion of a circle of problems of reliable storage demands its development new power - and resource-saving ways and technologies in modern storages. Success achieved by scientists in the field of studying of heat specifications of storage of fruit and vegetable products is well-known, but engineering support of these conditions is still at the insufficient level. At the same time that in literature features of a heat-mass exchange of fruit and vegetable products with inside stacking air are insufficiently estimated. Research of the power mode and an energy balance of fruit vegetable storehouse taking into account change of external factors of external air is considered necessary; low-studied are issues of increase of power efficiency of heat-cold supply systems of fruit-vegetable storage facilities with using nonconventional sources of energy. The investigation is not sufficient by the energy regime and thermal power performance of combined systems "Growers-solar greenhouses" using the heat pump unit. Due to the above-noted there is a need for further research and development of scientific and engineering bases of increase of power efficiency of heat-cold supply systems of fruit-vegetable storage facilities with using nonconventional sources of energy.

**Communication dissertation topic with the other plans of scientific research institution of higher education and research institution**, which made the thesis, is reflected in the following projects carried out in the framework of the state scientific and technical programs of the Republic of Uzbekistan: A-12-135- "Development and research of heat and cold vegetable storage systems using alternative energy sources" (2006-2008.); A-13-031- "Energy for growing and storing vegetables in helio processing facility using alternative and renewable sources of energy" (2009-2011); RT-ID / 11-4-3- "Production of a mobile unit for the storage of fruits and vegetables with their own energy balance" (2011-2012) and ITD-4-06- "Development of energy-efficient closed-loop system power supply and ventilation refrigeration chambers the use of renewable energy sources" (2012-2014).

**The purpose of the study** is to develop the energy efficient systems of heat-cold supply of fruit vegetable storage facilities on the basis of using nonconventional sources of energy.

To achieve this goal, the following **research objectives** have been set up:

- Analysis of the current state of the systems of heat and cold of fruit vegetable stores, a comparison of their energy and technical and economic indicators;
- The study of the energy balance of fruit and vegetable stores identification of key areas of energy saving systems of heat and cold;
- Experimental study of thermal characteristics of fruit and vegetable products affecting the intensity of heat and mass transfer processes and shrinkage products;
- Modeling and study of heat and mass transfer processes in the refrigerator, getting similarity criteria equations for calculating the coefficient of heat transfer and mass transfer at the natural and forced convection;
- Development of the concept and study of heat and cold of fruit vegetable storage systems using nonconventional sources of energy;
- Analysis of the climatic conditions and the calculation of the heat and moisture balance of the refrigerator compartment;
- Development of scientific bases of energy by heat recovery ventilation emissions using heat pumps;
- Development and evaluation of the energy efficiency of energy-efficient combined system "vegetable store - solar greenhouse" with the use of alternative energy sources.

**Object of research** is the power supply system of fruit vegetable storage with alternative energy sources.

**Subject of research** is development of theoretical bases of energy saving in the fruit vegetable stores, the study of heat and mass transfer, heat and cold systems with energy efficiency indicators.

**Methods of research.** The thesis used methods of phenomenological thermodynamics; theory of heat and mass transfer; physical and mathematical modeling; Thermal calculation and experiment; method of similarity theory and dimensional. Temperature and humidity conditions experienced object with an unconventional system of heat and cold were studied experimentally under natural conditions.

**Scientific novelty of the dissertational are following:**

developed a mathematical model of heat - and mass transfer during cooling products natural cold, heat and humidity allows us to study the unsteady mode in the stack of products and refrigerating chamber;

developed the concepts of non-conventional energy sources in the heat and cold of fruit vegetable storage systems based on the analysis of the energy balance storage and changes in external factors;

developed a heat pump system heat and cold of fruit vegetable stores simultaneously with the disposal of low-potential heat vent emissions, heat and condensation breathing fruit and vegetable products coolant with hot water;

first developed system of post-humidification of air using the waste heat of low-grade refrigerator compartment and solar energy to maintain optimal humidity conditions storage;

proposed an energy efficient system "solar greenhouse vegetable store," with the cooling cycle for simultaneous heating and cooling complex, scientific novelty, which is confirmed by patent number 00.683 of Uzbekistan UZ FAP 2009 0120 from 22.12.2009.

**Practical results of research** consist in the following:

- developed a heat pump system heat cold supply fruit vegetable stores with utilization of low potential heat vent emissions, heat and breathing fruit and vegetable products cold condensation agent to obtain hot water that will reduce primary energy consumption by 23.4% or 88.7 kg.c.f / t .;

- developed a method of post-humidification of air using the waste heat of low-grade refrigerator compartment and solar energy to maintain optimal humidity conditions repository, which allows you to fully meet the needs of hot water for technological needs of the vault and save 14068 m<sup>3</sup> of natural gas;

- the method of calculation of processes of heat and mass transfer during cooling products natural cold storage in-depth type, can significantly reduce the loss of fruit and vegetable products; as well as there have been proposed the criterion equations for determining the coefficient of heat and mass transfer at cooling the stockpile of fruit and vegetable products in the conditions of forced and free convection;

- developed energy-efficient system "vegetable store - solar greenhouse" with the cooling cycle for simultaneous heating and cooling of the complex, ensures the rational use of alternative energy sources, scientific novelty, which is confirmed by the patent number № 00683 Uzbekistan UZ FAP 2009 0120.

#### **Reliability of results**

The reliability of scientific statements, conclusions and recommendations justified the use of modern methods of research, based on appropriate mathematical models with the involvement of the relevant sections of the theory of heat and mass exchange of mathematical physics, proven methods of experimental data processing. The accuracy of the results was confirmed on the basis of a comparative analysis of the calculated and experimental data obtained in cold rooms for storage of fruit and vegetable products.

#### **Theoretical and practical value of the research results**

The theoretical significance of the results of the study is that the scientific bases and ways to improve the energy efficiency of heat and cold of fruit vegetable storage with nonconventional sources of energy, mathematical models of processes of heat - and mass transfer in refrigeration during cooling products natural cold, proposed criterion equation to calculate the convective heat transfer coefficient of heat transfer conditions of forced and natural convection.

The practical significance of the results of the work is to develop methods of engineering calculations of energy intensity of cold rooms with solar-heat pump system, the energy efficiency of a combined system of "vegetable store - solar greenhouse" using alternative energy sources. The results of the research allow the development of autonomous systems of heat and cold of fruit vegetable storage with high energy efficiency with low power consumption and loss of products as compared to conventional systems.

**Realization of the results.** Developed engineering methods of calculation of heat engineering, scientific - technical advice on the development and design of energy-efficient heat and cold of fruit vegetable storage system using nonconventional sources of energy, pyrolysis plants for energy embedded in the vegetable storehouse introduced in the farms "Baxt", "Dovrug" and "Nishonboy Allamuratovich" during storage of fruit and vegetable products with an annual economic effect of 104 million. sum (reference of the Ministry of Agriculture and Water Resources about introduction for №02/15-350 of 27.04.2015 y.).

**Approbation of the work** Results of the study were tested at 30 scientific conferences, including 18 international: "Innovation 2000" (Bukhari, 2000); "Innovation 2001" (Tashkent, 2001); "Fundamental and Applied Problems of Physics" (Tashkent, 2004-2010); "Renewable energy and helio-material" (Tashkent, 2005); "Current status and prospects of development of power" (Tashkent, 2006); "Alternative energy and energy security problem" (Bishkek, 2008); "Innovation 2008", "Innovation 2009" (Tashkent, 2008-2009); "Engineering: Problems and Prospects" (St. Petersburg, 2011); "Engineering: in Russia and abroad" (Moscow, 2011); "Energy supply and energy efficiency in agriculture" (Moscow, 2012); "Energy-saving technologies. Problems using them effectively" (Volgograd, 2013); 6th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» (London, 2014), 12 national conferences and Republican fair of innovative ideas, technologies and projects (2010-2011).

**Publication of the results** On the topic of the dissertation published 66 scientific papers, including 3 monographs, 27 journal articles, 13 of them in foreign journals and received patents for 2 inventions of Uzbekistan.

**The structure and scope of the thesis.** The thesis consists of introduction, five heads, the conclusion, the list of references, 16 appendices and contains 197 pages of the text, includes 51 drawings and 19 tables.

## **BASIC CONTENTS OF THESIS**

**In the introduction** the urgency and relevance of the dissertation topic were stated, the goal and objectives were formulated, a subject of study was identified, the appropriate research priority areas of Science and Technology of the Republic of Uzbekistan were determined, the scientific novelty and practical results of the study were outlined, the reliability of the results obtained were proved, theoretical and practical importance of the results obtained were disclosed, a list of implementing the findings of the study, the results of testing works, information on published papers and the structure of the thesis were presented.

In the first chapter «**Analysis of modern of heat-cold supply systems of fruit vegetable storage facilities**» of the thesis the analysis is carried out on the current state of heat-cold supply systems of fruit and vegetable storage facilities with cold box, a comparison of their energy and technical and economic indicators and advanced methods of energy conservation in the fruit and vegetable storage facilities using alternative energy sources.

Results of the analysis of the research on heat and cold vegetable store with a refrigeration chamber, in our Republic and abroad show that the majority of scientific papers are devoted to the study of heat and humidity regimes of food storage and thermal calculations of climate cooled rooms. Analysis of the studies showed that one of the reasons for the high losses of stored fruit and vegetable products (FVP) is insufficient knowledge of processes of heat and mass transfer in the fruit vegetable storage facilities.

It should be noted that in the studies performed poorly studied are the issues of improving the energy efficiency of heat and cold vegetable storage facilities using nonconventional sources of energy (NSE) based on a thorough study of heat and mass transfer processes in refrigeration storage of fruit and vegetables.

On the basis of scientific analysis, taking into account the tendency to expand the level of research in the field of energy saving using NSE in the heat-cold supply systems of fruit and vegetable storage facilities, the purpose and objectives of the thesis were formulated.

In the second chapter «**Thermo-physical characteristics of fruit and vegetable products at storage in the refrigerated fruit and vegetable storage facilities**» the results of the study of thermo-physical characteristics (TPC) of fruit and vegetable products, such as factors influencing the heat and mass transfer processes and product shrinkage during cooling were presented.

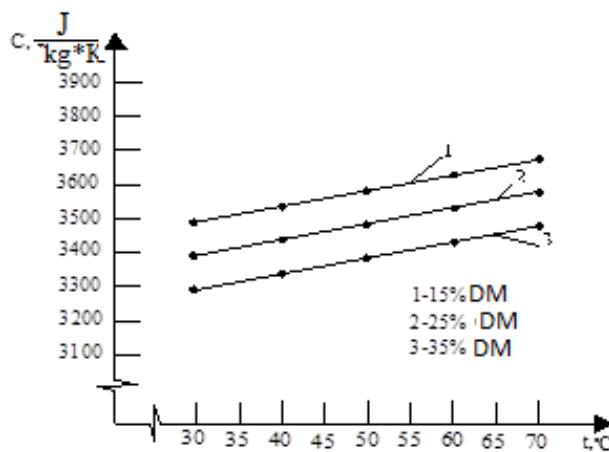
Heat and mass transfer processes in the fruit storages, heat exchange between the cooling air and the product energy camera mode, shrinkage products during storage and consumption of heat and cold in determining the optimum temperature in the chambers depends on the TPC storage objects (fruits and vegetables).

In most cases, the TPC foodstuffs, i.e. specific heat, thermal conductivity, thermal diffusivity and ( $c$ ,  $\lambda$ ,  $a$ ) for studies taken from handbooks as tabular data defined by different authors - researchers.

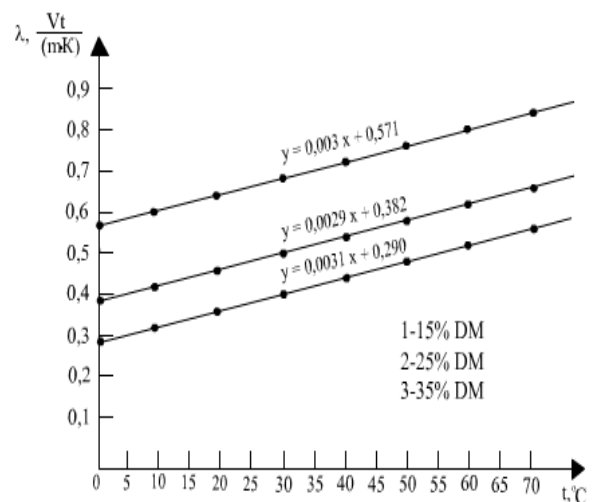
However, these data do not always agree well, for some products there are no reliable data on the TPC. Therefore, in the work before you explore the heat and mass transfer and heat and humidity in the storage mode, set a goal - to investigate experimentally, to clarify and specify the TPC of stored products and to obtain reliable results.

There have been experimentally determined the dynamics of change of heat capacity and thermal conductivity of potatoes depending on the content in the production of dry matter and temperature changes. The results of the experiments are shown in Fig. 1 and 2.

To study the energy storage mode and energy balance as defined TPC individual fruit vegetable products (carrots, apples and lemons). Analysis of the data shows that the coefficient of thermal conductivity and thermal diffusivity of the potato depends on the temperature of the air chamber and the contents of dry matter in the product. Received TPC allowed fruits and vegetables to get the real model of heat - and mass transfer in a pile of vegetables in the cooling process in the natural and forced convection.



**Fig.1. Schedule changes of the specific heat of potato depending on the content of dry matter (DM) and temperature.**



**Fig.2. Graph of the thermal conductivity of potato depending on the content of dry matter (DM) and temperature.**

The third chapter is «**Simulation and calculation of heat and mass transfer processes in the fruit and vegetable coolers using alternative energy sources**» devoted to the modeling and study of processes of heat - and mass transfer during cooling and refrigerating chambers of products in the natural and forced convection, issues influence the intensity of solar radiation on the shrinkage of products in the climatic conditions of Kashkadarya region.

The processes of convective heat transfer occurring in the experimental cooling chamber were studied at potatoes cooling in conditions of forced and natural convection. According to the survey experienced cooling stacks with the heat-transfer surface  $F = 1.92 \text{ m}^2$  with active ventilation and on the basis of the method of similarity theory and dimensional generalization of the experimental data using the least squares method there was established the following dependence of the criterion:

$$Nu = 0.027 Re^{0.98}, \text{ when } 180 \leq Re \leq 1800. \quad (1)$$

Obtained criterion equation describing heat transfer in the free movement of air in the refrigerator:

$$Nu_l = 0,02(Gr \cdot Pr)^{0,5}, \text{ at } 35 \cdot 10^3 \leq (Gr, Pr)_{oc} \leq 35,4 \cdot 10^4 \quad (2)$$

Analysis of the research shows that the coefficient of heat transfer from the surface of the potato in the conditions of natural convection depends mainly on the temperature difference between the surface of the product and the air flows from the geometric dimensions of the product and the porosity surface of the potato mound. In this case, the coefficient of heat transfer from the surface of the potato mound in free convection varies  $\alpha = 2.2 - 7.92 \text{ Wt} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , when forced convection heat transfer coefficient on the surface of the product  $\alpha = 4.4 - 22.0 \text{ Wt} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

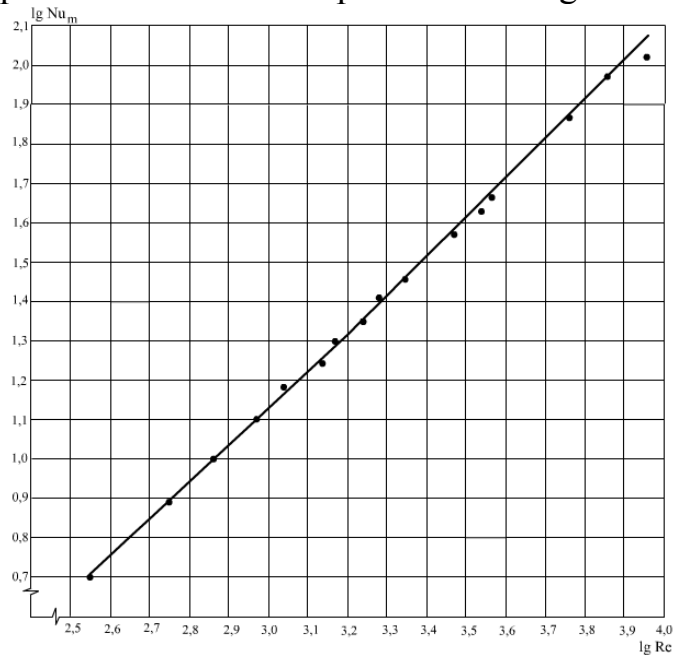
Heat exchange processes occurring in piles of fruits and vegetables accompanied by a process of mass transfer of moisture.

To determine the values of the coefficient of mass transfer experiments were carried out under cooling stacks of potatoes experienced natural cold air



temperature  $t_a = 0 \text{ }^\circ \text{C}$ . Parameters varied in the feed air within a common operating conditions (speed of  $0.1 \div 2.5 \text{ m / s}$ , relative humidity of  $80 \div 90\%$ ). Criterion  $Pr_m = 0,55$ , as experiments have shown, within the temperature change  $0 \div 15 \text{ }^\circ \text{C}$  is constant.

The results of experimental studies are presented in Figure 3.



**Fig. 3. Dependence  $Nu_m = f(Re)$**

Based on Fig.3.and processing of the experimental data obtained by the method of similarity theory following the criterion relationship:

$$Nu_m = 0.0238 Re^{0,93}, \quad \text{at } Re = 3.65 \cdot 10^2 \div 9.12 \cdot 10^3. \quad (3)$$

Analysis of the experimental data shows that the coefficient of mass transfer from the surface of the product under cooling air depends substantially on the flow rate of air. In the case of constant relative humidity during the growth rate of the air supplied  $0.1 \div 2.0 \text{ m / s}$  the mass transfer coefficient is increased by about 23.6 times.

In this thesis, a mathematical model of heat and mass transfer processes in the refrigerator when cooling products natural cold.

Differential equations associated with the thermal conductivity and heat and mass transfer were solved numerically using the Runge-Kutta method. Numerical solution of the problem of cooling the product was carried out under the following assumptions:

- Thermal characteristics ( $\lambda$ ,  $c_p$ ,  $\rho$ ,  $a$ ) foods (apples) at temperatures above the freezing point depression constant;
- Disregard the contact thermal conductivity of individual elements of the layer;
- Fruits (apples winter varieties) are treated as the equivalent diameter of the balls;
- Is not considered a valid surface of the product, and the effective surface of the heat - and mass transfer.

Heat transfer in a layer of fruit and vegetables should be considered in conjunction with temperature control of individual raw material components, which is time-dependent. The temperature of the air passing through the layer of

fruit and vegetables varies both in space and in time. Therefore, the solution of the problem will include two interrelated expressions of the temperature field, the first elements of the product, and the second cooling air.

Under the previous assumptions, the definition of the duration and temperature of cooling surface of fruits and vegetables is reduced to the solution of the differential equation of heat conduction of the ball:

$$\rho \frac{\partial i}{\partial \tau} = \lambda \left[ \frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right]; \quad (4)$$

$$\partial i = c_p \cdot \partial t, \quad (5)$$

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}, \quad (6)$$

Taking into account (5) and (6) we obtain:

$$\frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} = a \left[ \frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right]; \quad (7)$$

Initial conditions can be written as follows:

$$\tau = 0, t(r, 0) = t_p^0, \quad (8)$$

And the boundary conditions of the third kind:

$$\alpha [t(R, \tau) - t_a] = -\lambda \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r}, \quad (9)$$

where  $i$  - specific enthalpy, J / kg.  $a$  - thermal diffusivity product,  $m^2 / s$ ;  $C_p$  - isobaric heat capacity of the product, J / (kg · K);  $\rho$  - density of the product,  $kg/m^3$ ;  $t_p^0$  - average initial product temperature  $t_p^0 = 25^\circ C$ ;  $t(r, \tau)$  - Product temperature depending on time ( $\tau$ ) and the radius ( $r$ );  $\tau$  - time, s;  $t_a^0$  - supply air temperature,  $^\circ C$ ;  $t_a^0 = 0^\circ C$ ;  $\alpha$  - coefficient of heat transfer from the surface of the product to the air,  $Wt / (m^2 \cdot K)$ .

In the simulation of heat - and mass transfer in the cooling chamber of apples and potatoes were the following assumptions:

- Freezer treated as an object with lumped parameters;
- The total heat leakage in the cell constant;
- Thermal parameters of the cooling air in the chamber, as well as the coefficients of heat - and mass transfer within the estimated time  $\Delta\tau$  remain constant.

The assumptions made changes in temperature and relative humidity in the storage of heat and moisture balance chamber described by the following differential equations:

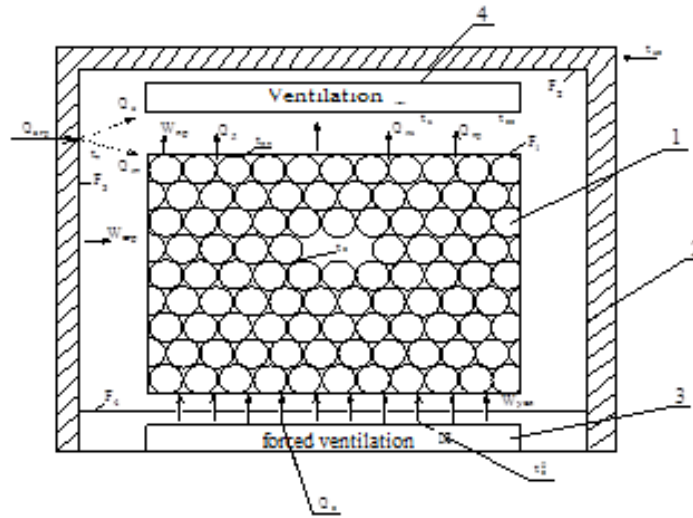
$$c_a \cdot \rho_a \cdot V_{cham} \cdot \left( \frac{dt_a}{d\tau} \right) = Q_f + Q_{pr} + Q_{rc} + Q_a + Q_b + Q_o, \quad (10)$$

$$\rho_a \cdot V_{cham} \cdot \left( \frac{d(d_a)}{d\tau} \right) = W_{pr} + W_f + W_h, \quad (11)$$

where  $V_{cham}$  -chamber volume,  $m^3$ ;  $\rho_a$  - in-air density,  $kg/m^3$ ;  $c_a$ -air heat capacity J / (kg ·  $^\circ C$ );  $Q_{pr}$  -cooled heat gain from products to air,  $Wt$ ;  $Q_f$  -heat leakage through fences,  $Wt$ ;  $Q_a$  -heat flux coming from the outside ventilation air,  $Wt$ ;  $Q_{rc}$  -heat rejection from the product radiation,  $Wt$ ;  $Q_b$ -heat product respiration,  $Wt$ ;  $Q_o$  -

performance heat leakage,  $W_t$ ;  $W_{pr}$  - moisture loss products,  $\text{kg} / \text{s}$ ;  $W_f$  - the influx of moisture through the fence  $\text{kg} / \text{s}$ ;  $W_h$  - the influx of moisture from humid air inlet air,  $\text{kg} / \text{s}$ .

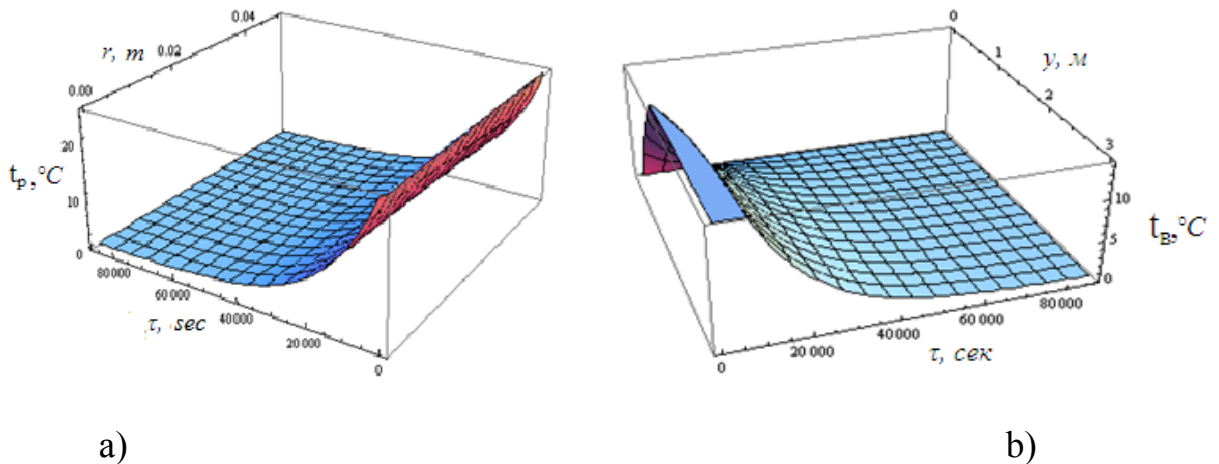
Design scheme of thermal-balance storage is shown in Fig. 4.



1-product, 2-chamber outside the fence, 3-forced ventilation; 4-ventilation.

**Fig. 4. Design scheme of thermal-balance the camera when active ventilation using natural cold.**

Results of the numerical experiment are shown in Fig. 5 - 6. Results comparing the calculated values with experimental data show that the mathematical model of the cooling chamber applies natural cold, on a joint solution of internal and external tasks satisfactorily describes the main processes at refrigeration processing product. Analysis of natural cold cooling conditions shows that the greatest impact on the duration of the process has a temperature, humidity and velocity of the cooling air. With decreasing temperature and increasing the speed of the air cooling process is accelerated, but it may increase the shrinkage of the product.

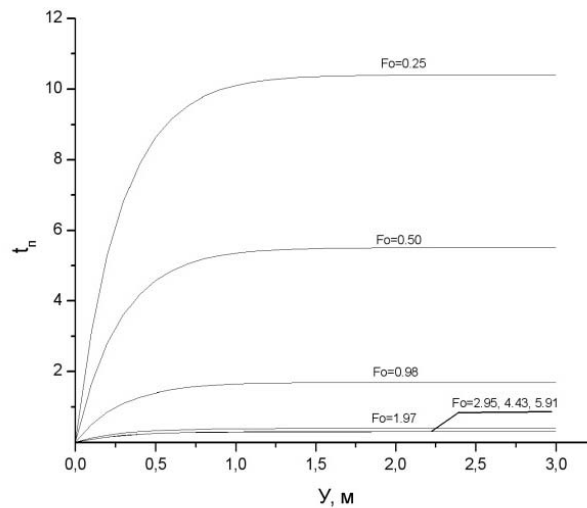


a)

b)

a - to change the temperature of the product;  
b - change the air temperature inside the Doka stacking.

**Fig. 5. Temperature in piles of apples under cooling natural cold in the active ventilation.**



**Fig. 6. Changes in the surface temperature of the product, depending on the height of the stack and the duration of cooling.**

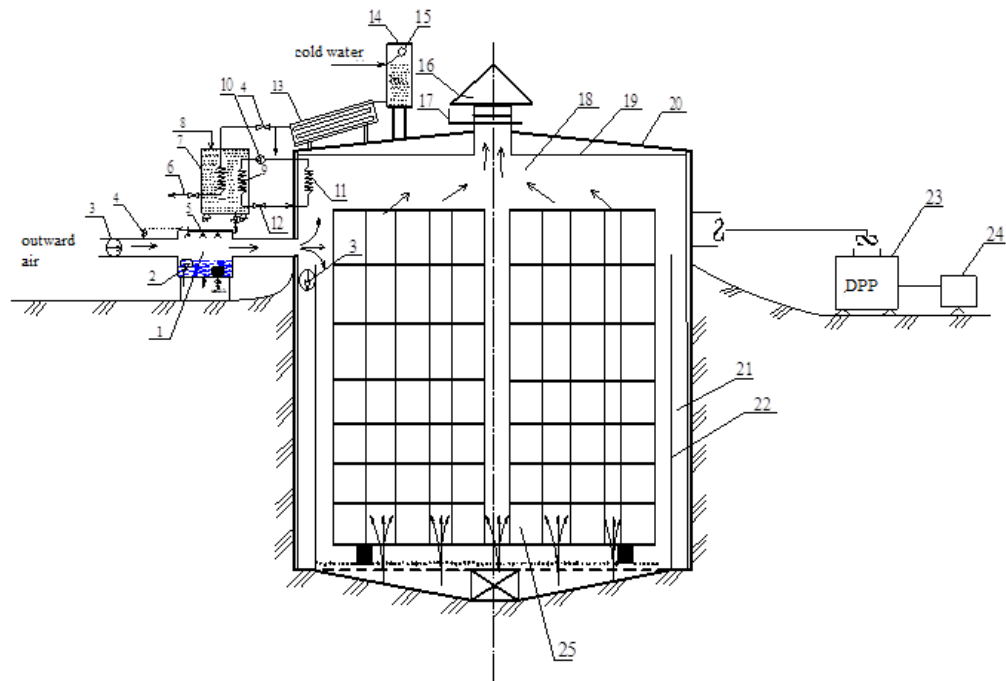
The results of investigation of heat transfer processes in the fence storage by the intensity of solar radiation. There has been studied the influence of solar radiation intensity on the products shrinkage in the fruit and vegetable storage facility. Research results show that the maximum heat flux passing through the fence (roof) due to the difference of ambient temperature and air-chamber ( $9 \text{ Wt/m}^2$ ) and caused by solar radiation ( $8.25 \text{ Wt/m}^2$ ) toward the stack correspond to June - July. Win the heat flow through the fence caused by the action of solar radiation in the fall (October) is 60%.

The fourth chapter «**Development and research of heat-cold supply systems of fruit and vegetable storage facilities using alternative energy sources**» of the thesis presents the results of studies designed system of heat-cold of fruit and vegetable storage with NSE and thermal calculation of heat and humidity balance of the refrigerating chamber, taking into account the dynamics of heat leakage.

In order to improve the energy efficiency concept developed systems of fruit vegetable storage of heat and cold with heat pump and heat recovery ventilation methods emissions and "breathing heat" for the preparation of hot water storage tank with built-in condenser cooling unit. Studied experimental depth of fruit vegetable storage with construction volume  $V_c = 180 \text{ m}^3$  (HC-180) (Fig. 7).

The system of heat and cold refrigerator compartment HC - 180 consists of a heat pump systems, humidification and ventilation. The proposed system operates in two modes, in cooling and heating depending on the climatic conditions of the area. In cooling mode, the evaporator heat pump 11 removes the heat from the chamber and cooled internal air chamber. Then, the refrigerant compressed in the compressor 10 and the superheated steam enters the condenser 9. The heat of condensation of the refrigerant in the condenser heats the water in the tank - accumulator 7. The resulting heated water in the condenser unit of the heat pump is sprayed jets for humidifying the supply air. Using low-potential heat vent emissions and heat respiratory products for water heating can save primary energy compared with the steam humidification of the supply air. Flat solar collectors 13

are installed on the roof of the camera, which allow obtaining additional hot water for technological and social needs of the storage facility. In cooling mode, the valve 4 is in the closed position.



1 - humidification unit 2 - overflow 3 - fan, 4 - valve, 5 - injector 6 - hot water 7 - Water Storage Tank, 8 – make up 9 - HPU capacitor; 10 - compressor heat pump, 11 - evaporator HPU, 12 - HPU control valve 13 - flat solar collector, 14 - the flow of cold water tank, 15 - float water level controller 16 - exhaust duct; 17 - Sliding, 18 - freezer, 19 - LDPE screen, 20 - the roof chamber, 21 - air gap; 22-duct chamber; 23 - DPP, 24 - paralysis installation; 25 - stack of products.

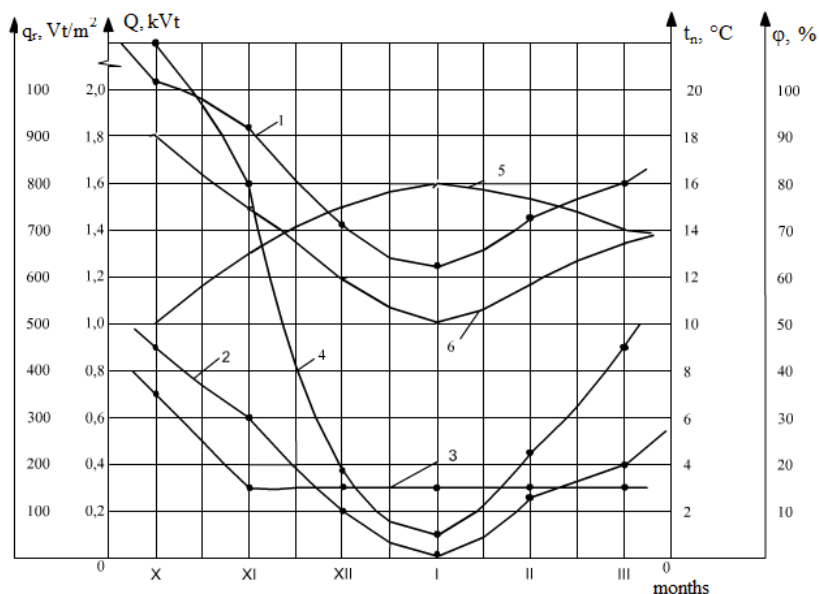
**Fig. 7. Schematic diagram of heat-cold supply system of an experimental deep fruit and vegetable storage facility with a heat pump**

If necessary, the ventilation chamber natural cold night air is switched active ventilation system. In the heating mode the refrigerant chambers are circulated in the heat pump in the opposite direction, the heat pump evaporator chamber serves as a condenser, and the condenser tank - accumulator evaporator. In this mode, the valve 4 has an open position and hot water from solar collectors is supplied to the tank - the accumulator, thereby increasing the temperature maintains low potential level of protection. Combined method of solar panels and heat pumps in heating mode the camera allows to increase the energy efficiency of the system.

It is established that the specific operational power consumption of apples during storage of winter varieties in the base chamber 3079.8 kWt · h / ton, and in 2358 kWt · h / ton proposed the refrigerator compartment. In this case, the energy savings compared to the base chamber was 23.4% or 88.7 kg.c.f / t.

To identify the effectiveness of heat and cold with heat pumps manufactured Thermal calculation repository. Thermal calculation is based on the preparation of the heat and moisture balance of storage, as storage can be considered as a whole and energy to solve all the problems related to heat engineering design of buildings of this type.

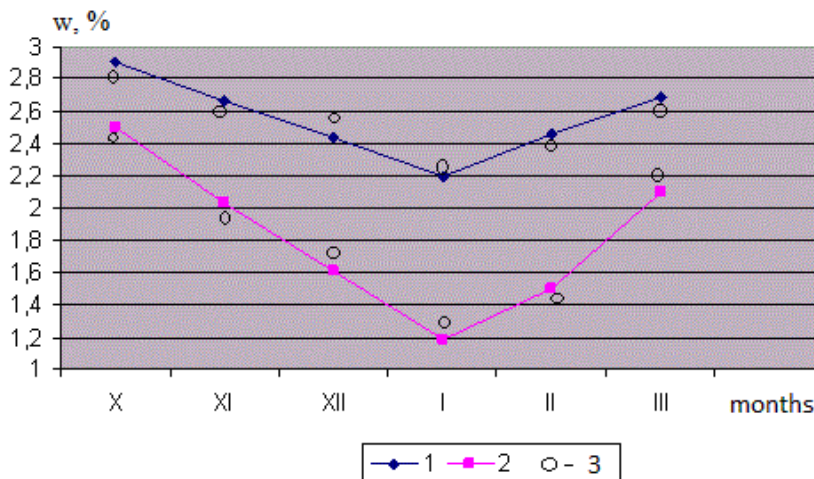
Fig. 8 results of the study of the heat balance of experienced depth of fruit vegetable storage with the dynamics of the heat gains, depending on the parameters of the outside air.



1 - total heat leakage, 2 - heat leakage through the fence, 3 - heat gain from the products with "breathing heat", 4 - change the outside temperature 5 - change in the relative humidity of outside air; 6 - change in total solar radiation.

**Fig. 8. Dynamics of change of heat leakage during storage of apples in the refrigerator in the climatic conditions of Karshi.**

Settlement and experimentally determined moisture loss products during storage of winter varieties of apples, and the results are presented in Fig. 9.



1-overhead storage, 2-depth storage HC - 180 HPU.  
**Fig. 9. Comparison of moisture loss products (apples) in storage.**

Results of studies on storage of winter varieties of apples and analysis of thermal-storage modes compared show that the proposed repository depth product moisture loss during storage (October - March) constitute - 11%, aboveground storage - 16.2%, and typically store 20 - 30%.

Minimum monthly relative shrinkage of the product (apples) is 1.5 – 2.0% in January. There has been substantiated the efficiency of use of low-grade waste heat from air emissions with HPU. The proposed system is characterized by the presence of heat cold supply cooling capabilities cameras and simultaneous heating of water for technological needs, supply air humidification and heat recovery ventilation and heat emission 'breathing heat' products in the tank - the battery.

In cooling mode, the camera capacity of 24 tons of winter varieties of apples in the climatic conditions of the Karshi heat load on the evaporator heat pump is 25 kWt, 31.9 kWt at the same time the heat from the condenser is used to heat water from 18 to 60 ° C in the tank - the battery. According to studies and calculations that the heat pump heat recovery ventilation emissions allows fully meet the needs of domestic hot water needs and technological vegetable store. The consumption of water for humidification decreased 1.3 – 1.5 times. Using  $Q_c = 31.9$  kWt waste heat to heat the water in the condenser can save an hour of conventional fuel. Amount of heated water per day will be – 15.6 m<sup>3</sup>, and fuel savings of 96 kg. Thus, during storage due to the simultaneous heating of water in the tank - the accumulator with heat recovery ventilation emissions can save 17.28 tons of fuel, or 14068 m<sup>3</sup> of natural gas.

The fifth chapter **“Development of energy-efficient system "vegetable store - solar greenhouse" with the use of alternative energy sources and waste energy»** analyzes the energy efficiency of the proposed combined system "vegetable store - solar greenhouses" using AES and secondary energy. Fig. 10 shows a schematic diagram of the combined energy-efficient system "vegetable store - solar greenhouse".

There has been investigated fruit and vegetable store with construction capacity of 180 m<sup>3</sup> of 24 tons for storage of apples of winter varieties and a solar greenhouse with usage area of 200 m<sup>2</sup>. Joint operation of solar greenhouses and vegetable storage allows the use of solar energy, heat vent emissions and waste heat cooling chamber, as well as recycling of exhaust gases from conventional energy sources.

To evaluate the energy efficiency together with the solar greenhouse vegetable store the heat balance has been made and the main energy characteristics of the system have been determined. Thermal heating power greenhouses should be determined by solving the heat balance equations taking into account what is happening on the surface of the soil heat and mass transfer, fences and plants.

Almost greenhouse heating power is determined by the equation:

$$Q_h = Q_f + Q_{gr} + Q_{inf} \quad (12)$$

where  $Q_f$  - the heat loss through the exterior fencing  $Q_{gr}$  - walls and coverings (ramps), the heat loss through the soil.  $Q_{inf}$  - Heat consumption for heating air infiltration.

It is known that the heat loss coefficient of solar green-houses depends on fencing, which was calculated by the ratio:

$$K_f = F_f / F_i \quad (13)$$

$F_f$  is the total surface of the translucent enclosures;  $F_i$ -inventory (usable) space solar greenhouse.

Applying a simplified method of calculation of the heat balance of the greenhouse, neglecting the influence of heat flow through a protected ground, we can determine the heat output of the heating system

$$Q_h = Q_f + Q_a - Q_{inf} = KF_i(t_a - t_p)K_f K_{inf} - Q_{inf}, \quad (14)$$

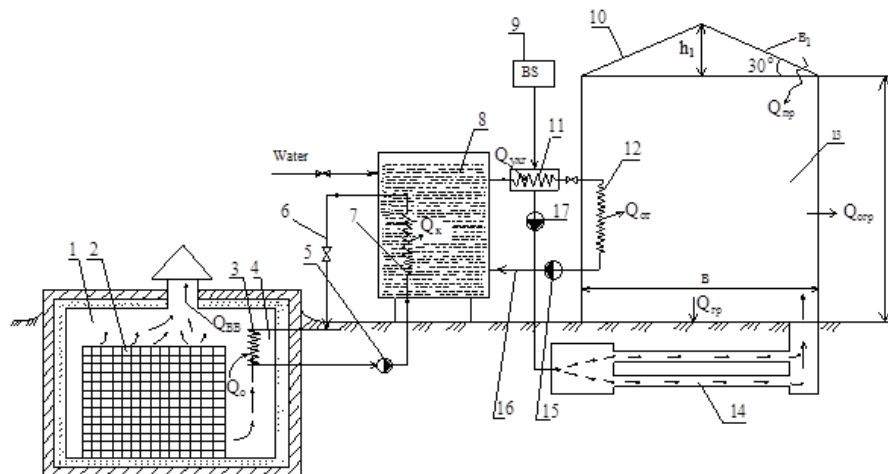
or

$$Q_h = Q_{h.l.} - Q_{inf}, \quad (15)$$

where  $Q_h$  - thermal capacity of the heating system  $Q_f$  - the heat loss through the fence,  $Q_a$  - heat losses due to ventilation,  $Q_{inf}$  - inflow of solar radiation inside the greenhouse during the heating period,  $K$  - coefficient of heat transfer fence,  $K_{bf} = F_f K / F_i$  and  $K_{bf}$ -powered heat transfer coefficient of the fence;  $t_b$  -calculated air temperature inside the greenhouse,  $t_b = 17.2$  °C;  $t_n$  -average outdoor temperature for the heated period (November-March),  $4.6$  °C;  $K_{inf}$ - infiltration coefficient equal to  $1.1 \dots 1.2$ . Inflow of solar radiation inside the greenhouses during the heating season:

$$Q_{inf} = \bar{q}_{inc} K_{trans} \alpha_{ab} F \tau \quad (16)$$

where the  $\bar{q}_{inc}$  average daily value-incident during the heating period the total solar radiation;  $\alpha_{ab}$  - coefficient ray absorbing leaf surfaces of plants and soil;  $K_{trans}$  - transmittance of solar radiation translucent fencing greenhouses;  $F$  – surface of greenhouse floor,  $\tau$  - the duration of the heating period. If  $Q_{h.l.} \leq Q_{inf}$  while in clear weather does not require additional heating greenhouses using conventional heating systems. If  $Q_{h.l.} > Q_{inf}$ , then requires additional heating greenhouses using fossil fuels in the boiler room. In this case, the coefficient fencing average  $K_f = 1,76$  heat transfer coefficient  $K$  translucent fencing  $K = 6.5$  Wt / (m<sup>2</sup> • °C);  $K_{trans} = 0,62$   $\alpha_{ab} = 0,8$



1-vegetable store; 2-stack products; 3-evaporator of the heat pump; 4-heat pump; 5-compressor, 6-tube refrigerant condenser; 7-condenser; 8-heat storage tank; 9-boiler system; 10- translucent coating; 11-exchanger; 12-heating equipment; 13-solar greenhouse; 14-channel heat storage; 15-centrifugal pump; 16-heating pipes; 17-gas fan.

**Fig. 10. Schematic diagram of the combined energy-efficient system "vegetable store-solar greenhouse".**



When used together, solar greenhouses and vegetable store at night heat ventilation exhaust cooling chamber, as well as hot water, resulting in the tank - the battery due to the heat of condensation of refrigerant heat pump heating and outgoing products of fuel combustion provides the required temperature in solar greenhouse. Then the capacity of the heating system for greenhouse part of the building is determined by the formula:

$$Q_h = Q_{h.l} - Q_{hf} - Q_{gh}, \quad (17)$$

where  $Q_{hf}$  -is the heat flux-vent emissions refrigerating chamber;  $Q_{gh}$  -is heat capacity of hot water, resulting in flue gas heat recovery.

Seasonal fuel (natural gas) for heating greenhouses usable area of 200 m<sup>2</sup> was determined by the formula:

$$B = 1,15 Q_h \tau / Q_n^\circ \eta \quad (18)$$

where 1.15 - coefficient taking into account the heat loss in the pipes;  $\tau$  - duration of the heating period to Karshi, equal to 132 days;  $Q_n^\circ$  - is operating net calorific value of the fuel (natural gas Shurtan field) is 8626 kcal/nm<sup>3</sup>,  $\eta$ -efficiency boiler 0.8. In accordance with formula (18) the gas flow rate in the heating mode during the night-was 15563.08 m<sup>3</sup> therefore to maintain a normal temperature inside the greenhouse need 117.9 m<sup>3</sup>/day.

Results of calculation of fuel consumption for heating solar greenhouse are shown in Table 1.

Table 1

**Fuel for heating solar greenhouse with an area of 200 m<sup>2</sup>  
in the conditions of Karshi**

Dates	Fuel for heating solar greenhouse in clear weather (at day job greenhouses), m <sup>3</sup> /month.	Fuel for heating solar greenhouse in Night mode, m <sup>3</sup> /month.	Fuel for heating solar greenhouse at the combined version with vegetable storage (including utilization of waste heat and use SER) m <sup>3</sup> /month.	Fuel economy in night mode helio green house of the capital, %
XI	449.12	2099.55	811.15	61
XII	2512.87	3745.14	2578.8	31.1
I	2874.70	4085.61	2919.34	28.5
II	2027.57	3363.06	2274.55	32.3
III	344.96	2241.41	1075.14	52
Total for season	8209.22	15563.08	9658.99	37.9

In cooling mode, the refrigerating chamber capacity of 24 tons of winter varieties of apples in terms of Karshi, and dispose of the heat of condensation of refrigerant 31.9 kWt of heat, you can get hot water at 60 ° C and the flow rate  $G_v = 0.18$  kg / s. In the heat exchanger 11 is further heated water at  $\Delta t = 30$  °C using heat of exhaust gases. Research results show that in the winter (December-February) in clear weather 30-35% of the heat load greenhouses covered by solar energy, and 37-40% due to the use of waste heat.

Thus, when combined embodiment vegetable store - solar greenhouses with waste heat utilization will save energy consumption for heating solar greenhouse at night to an average of 25-38%.

## Conclusion

For the further increase energy efficiency of hot and cold supply systems, to savings of power resources at long-time storage of fruit vegetable products and maintenance of reliable storage with the least losses perfection of existing hot and cold supply systems of fruit vegetable refrigerating chambers is necessary, for ventilation and humidifying of air in storehouses, as well as creation energy- and resource-saving technologies with using NSE in which is based on the basis of in-depth study of a power balance of storehouse and heat and mass transfer processes occurring in mass production in the fruit and vegetable cold storage.

There has been developed a heat pump system of heat-cold supply of fruit and vegetable storage with NSE with heat recovery ventilation respiratory products and emissions, allowing to save energy and water resources for sustaining the heat - and humidity conditions in the fruit and vegetable storage facilities. Sound energy efficiency combined thermodynamic system "fruit vegetable store - gelio greenhouse" that allows the design of energy-saving power supply systems of fruit vegetable storage as bioenergy complex for the cultivation and storage of FVP.

The main results of the thesis devoted to solving one of the most important and urgent problems of energy efficiency systems, heat-cold of fruit and vegetable storage are as follows:

1. Based on the analysis of the current state of energy savings in storages and refrigerators, as in our Republic and abroad, it was found that the current problems of energy saving in most cases are resolved without an evidence-based study of energy balance in cold rooms and the processes of heat and mass transfer in cold storage and lacks the necessary initial and scientific advice, which would allow a sufficient accuracy for engineering calculations to give a quantitative forecast of energy processes in fruitful storages. On energy efficiency systems of heat-cold supply vegetable stores using NSE has not yet been adequately addressed.
2. Experimentally investigated the main TPC ( $\lambda$ ,  $c$ ,  $a$ ), which affect the flow rate of the cooling process, the intensity of heat and mass transfer processes and shrinkage of the products as well as their dynamics depending on the content of dry matter production. The empirical expression describing the variation of the thermal conductivity of potato depending on the content of dry matter production and the change in temperature.
3. Criteria equations obtained to determine the coefficient of heat transfer during cooling stacks experienced forced air flow –  $Nu = 0.027 Re^{0.98}$ , and to determine the heat transfer between the ambient air and the heat transfer surface of the stack under free convection –  $Nu = 0.02.(Gr.Pr)^{0.5}$ . According to the results of experiments and processing of the experimental data obtained using the theory of similarity criterion generalized dependence, which allows to

determine the mass transfer coefficient from the surface of the product with air cooling:  $Nu_m = 0.0238 Re^{0.93}$ , at  $Re = 3.65 \cdot 10^2 \div 9.12 \cdot 10^3$ .

Analysis of the experimental data shows that the coefficient of mass transfer from the surface of the product under cooling air depends greatly on the rate of airflow. In the case of constant relative humidity of air supplied to the growth rate of 0.1 ÷ 2.0 m/s, the mass transfer coefficient is increased by about 23.6 times.

4. Developed and proposed mathematical model of heat and mass transfer in the cooling chamber with cooling products natural cold, allowing to determine the relationship between the structural and technological parameters of the refrigerating chamber. Analysis of natural cold cooling conditions shows that the greatest impact on the duration of the process has a temperature, humidity and velocity of the cooling air. With decreasing temperature and increasing the speed of the air cooling process is accelerated, but it may increase the shrinkage of the product.
5. A mathematical model of heat transfer processes in the fence storage by the intensity of solar radiation. The influence of the heat leakage through the guardrail on the rate of shrinkage of products. The calculation results show that the maximum heat flux passing through the fence (the roof) under the action of the temperature difference between the environment and the air -chamber 9 Wt/m<sup>2</sup> and caused by solar radiation 8.25 Wt/m<sup>2</sup> toward the stack correspond to June - July. Win the heat flow through the fence caused by the action of solar radiation in the fall (October) is 60%. Found that the shrinkage of the stored product varies with the intensity of the heat leakage through the guardrail camera has a maximum value comes to 1.0% (in July) when the total heat leakage of 17.25 Wt/m<sup>2</sup> with the influence of solar radiation.
6. We propose a method of reducing radiant heat transfer between the surface and fencing products using the screen between the fence and products. Setting screen of galvanized steel sheet with emissivity  $\varepsilon = 0.2$  between the internal door and the product at a reduced degree of blackness of the "fence - the product"  $\varepsilon_{f,red}'' = 0,18$  helps reduce the intensity of the radiant heat gain to the product in the 2.8 – 3.0 times as compared to the plastered surface fencing .
7. Proposed heat pump system heat cold supply vegetable stores using NSE, heat recovery ventilation and respiratory products emissions, which saves energy and water resources in order to maintain the heat - and humidity conditions in the refrigerator. Established that the specific operational energy consumption is in the base chamber 3079.8 kW · h / ton, and in proposed chamber 2358 kWt · h. At the same energy savings compared to the base camera was 23.4% or 88.7 kg.c.f / t
8. Investigated thermal-balance-depth experienced fruitful vegetable store with construction of 180 m<sup>3</sup> based on the dynamics of the heat leakage changes depending on the parameters of the outside air. Analysis of thermal-storage modes compared found that the proposed repository depth product moisture

loss during storage is - 11%, aboveground storage – 16.2 %, and typically store 20 - 30%.

9. According to studies and calculations that the heat pump heat recovery ventilation emissions allows fully meet the needs of domestic hot water and technological needs of vegetable stores. Thus, during storage due to the simultaneous heating of water in the tank - the accumulator with heat recovery ventilation emissions can save 17.28 tons of fuel or 14068 m<sup>3</sup> of natural gas.
10. First, based on the research proposed combined thermodynamic system "vegetable store-solar greenhouses" and scientifically proved energy efficiency of the refrigeration cycle for simultaneous heating and cooling industry.
11. The results of the research show that in winter (December - February) in clear weather of 30 - 35% of the heat load greenhouses cover the solar energy, and 37 - 40% through the use of waste heat. When combined variant vegetable store - solar greenhouse with heat recovery "breathing" refrigerated foods and air emission from the refrigerator compartment will save power consumption for heating solar greenhouse at night to an average of 25-38%.

Thus, on the basis of theoretical generalization and implementation set out in the work of new scientific positions solved a major problem of developing energy-efficient heat and cold of fruit vegetable storage using NSE, as well as the application of energy-efficient storage technology FVP with reduced product loss and a decrease in energy consumption processes having important economic importance.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Узаков Г.Н. Исследование тепломассообменных процессов и теплохладоснабжения в плодоовощехранилищах. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 152 с.
2. Узаков Г.Н. Научные основы повышения энергоэффективности систем теплохладоснабжения овощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии. – Ташкент: Фан, 2012.- 216 с.
3. Узаков Г.Н. Энергоэффективные системы теплохладоснабжения плодоовощехранилищ. – Германия: Саарбрюккен, LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 268 с.
4. Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б., Захидов Р.А. Динамика изменения теплофизических характеристик картофеля при холодильном хранении // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 1999. – № 5,6. – С. 42 – 45 (05.00.00; №5).
5. Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б. Теплотехнический расчет холодильной камеры для хранения картофеля // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2000. –№ 2. – С.46 – 48 (05.00.00; №5).
6. Вардияшвили А.А., Захидов Р.А., Узаков Г.Н. Поглощение и излучение лучистой энергии дымовыми газами в камере солнечной теплицы // Гелиотехника. – Ташкент, 2000. –№ 1. – С. 45 – 48 (05.00.00; №1).
7. Узаков Г.Н., Хужакулов С.М., Кадыров И.Н. Расчет энергетической эффективности применения теплового насоса в системах теплоснабжения // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2009. –№ 1,2. –С.51–53 (05.00.00; №16).
8. Узаков Г.Н. Энергосберегающая система увлажнения воздуха в малом овощехранилище // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2010. - № 3. – С.71-73 (05.00.00; №16).
9. Узаков Г.Н., Захидов Р.А., Вардияшвили А.Б. Перспективные способы энергосбережения в системах теплохладоснабжения овощехранилищ // Проблемы энерго – и ресурсосбережения. – Ташкент, 2010. - № 1-2. – С.71-76 (05.00.00; №21).
10. Узаков Г.Н. Задача оптимизации энергосберегающей системы холодильных камер. // Проблемы энерго – и ресурсосбережения. - Ташкент, 2010. - № 3-4. – С.255-260 (05.00.00; №21).
11. Узаков Г.Н. Эффективность совместной эксплуатации овощехранилищ и гелиотеплиц // Гелиотехника. – Ташкент, 2010. –№4. – С.86-88 (05.00.00; №1).
12. Хужакулов С.М., Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б. Моделирование и исследование тепломассо – и газообменных процессов в углубленных плодоовощехранилищах // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2010. –№ 6.– С.52 – 57 (05.00.00; №5).

13. Узаков Г.Н. Теоретические основы энергосбережения при применении теплонасосной установки в овощехранилищах // Научно-технический журнал ФерПИ. – Фергана, 2010. – №4. – С.42 – 47 (05.00.00; №20).
14. Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б. Влияние интенсивности солнечного излучения на усушку продуктов в плодоовощехранилищах // Гелиотехника. – Ташкент, 2011. – №1. – С. 33 – 38 (05.00.00; №1).
15. Узаков Г.Н. Расчет теплотехнических параметров совмещенной системы «овощехранилище – гелиотеплица» // Гелиотехника. - Ташкент, 2011. – №3. – С.93 – 97 (05.00.00; №1).
16. Uzakov G.N. Technical and economic calculation of combined heating and cooling systems vegetable store-solar greenhouse // Applied Solar Energy. – Allerton Press, USA, 2012. – vol.48, № 1. – PP. 60-62 (05.00.00; №4).
17. Khujakulov S.M., Uzakov G.N., Vardiyashvili A.B. Effectiveness of solar heating systems for the regeneration of adsorbents in recessed fruit and vegetable storages // Applied Solar Energy. – Allerton Press, USA, 2013. – vol.49, № 4. – PP. 257-260 (05.00.00; №4).
18. Uzakov G.N. Efficiency of the use to energy of the biomass for autonomous power supply fruit-vegetable-vault // European Applied Sciences. Germany Januar, 2015. №1. - PP.92-94, (05.00.00; №1).
19. Узаков Г.Н., Юлдашов Г.С., Раббимов Р.Т., Вардияшвили А.Б., Хужакулов С.М. Устройство для энергосберегающего плодоовощехранилища. Патент Республики Узбекистан № IAP 2010 0226 от 28.05.2010 г. // Официальный бюллетень ГПВ РУз. № 6 (122). – С.7 – 8.
20. Узаков Г.Н. Раббимов Р.Т., Хужакулов С.М., Алиярова Л.А. Технологическая система теплохолодоснабжения. Патент Республики Узбекистан № IAP 2010 0134 от 05.04.2010 г. // Официальный бюллетень ГПВ РУз. № 6 (122). – С.26 – 27.

### **II бўлим (II часть; II part)**

21. Узаков Г.Н. Энергосбережение в совмещенной системе «плодоовощехранилище – гелиотеплица» // Аграрная наука. – Москва, 2015.- №3. - С.31-34.
22. Узаков Г.Н., Захидов Р.А., Хужакулов С.М. Способы снижения энергоёмкости холодильных камер // Аграрная наука. – Москва, 2015.- №4. - С.30-33.
23. Вардияшвили А.Б., Узаков Г.Н., Вардияшвили Аф., Хужакулов С.М. Энергосберегающее комбинированное устройство для хранения и выращивания растительной продукции. Патент Республики Узбекистан № 00683 UZ FAP.2009 0120 от 22.12. 2009 г.
24. Узаков Г.Н., Хужакулов С.М., Вардияшвили А.Б., Алиярова Л. Исследование углубленной холодильной камеры в регулируемой газовой среде с использованием нетрадиционных источников энергии // Молодой ученый. – Чита, Россия, 2010. – № 5. – С.81 – 83.

- 25.Хужакулов С.М. Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б. Теплотехнический расчет углубленного плодоовощехранилища с регулируемой газовой средой // Молодой ученый. – Чита, Россия, 2010. –№ 8. – С.140 – 145.
- 26.Узаков Г.Н. Снижение затрат энергии в теплохладоснабжении комбинированного сооружения «овощехранилище – гелиотеплица» с использованием тепловых насосов // Молодой ученый. – Чита, Россия, 2010. –№ 11. –С.73 – 78.
- 27.Узаков Г.Н. Методика исследования тепловлажностных процессов в холодильных камерах с теплонасосной установкой // Молодой ученый. – Чита, Россия, 2010. –№11. –С.78–81.
- 28.Узаков Г.Н., Сидоров В.А. Энергоэффективная система «холодильная камера–гелиотеплица» с использованием нетрадиционных и вторичных энергоресурсов // Научный вестник Луганского национального аграрного университета, - – Луганск, Украина, 2010. –№16. –С.118-127.
- 29.Узаков Г.Н., Хужакулов С.М., Вардияшвили А.Б. Исследование теплообменных процессов в холодильной камере с применением теории подобия и моделирования // Инновационные технологии. - Карши, 2011. – №1. – С.16 – 22.
- 30.Узаков Г.Н. Моделирование и исследование тепломассообменных процессов в холодильной камере при естественной и вынужденной конвекции // Молодой ученый. – Чита, Россия, 2011. –№5. Т.1. – С.101 – 104.
- 31.Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б., Захидов Р.А. Использование теплонасосной установки в замкнутой системе энергоснабжения и вентиляции овощехранилищ // Вестник РАСХН. – Москва, 2012.- № 3.-С.79-80.
- 32.Узаков Г.Н. и др. Расчет температурно-влажностного режима ограждений овощехранилища с учетом климатических условий // Молодой ученый.- Чита, Россия, 2012.- №1.- С.40-45.
- 33.Узаков Г.Н. Математическая модель тепло – и массообмена в холодильной камере при использовании естественного холодного воздуха // Вестник РАСХН. – Москва, 2012. - №4. - С.9-12.
- 34.Муродов И., Узаков Г.Н. К вопросу определения внешнего теплообмена в неподвижном слое плодов и овощей в хранилище // Инновация – 2000: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. – Бухоро: 2000. – С.299-300.
- 35.Муродов И., Узаков Г.Н. К вопросу экономии холода при хранении картофеля в холодильной камере // Инновация–2001: Сборник научных статей международной научно – практической конференции. – Ташкент: 2001 –С.262 – 264.
- 36.Узаков Г.Н., Муродов И. К вопросу конвективного теплообмена при свободной конвекции в холодильных камерах // Глобальные проблемы XXI века и технические науки: Сборник трудов республиканской научно – практической конференции. – Ташкент: 2001. – С.125-126.
- 37.Узаков Г.Н., Муродов И., Захидов Р.А. Тепломассообмен и гигротермический режим в овощехранилище при регулируемой газовой среде // Актуальные проблемы физики – техники, математики и

- информационные технологии: Материалы республиканской научно – теоретической конференции. – Карши: 2002. – С.65 – 69.
- 38.Узаков Г.Н., Хўжакулов С.М. Совутиш камераларининг иссиқлик балансига инфильтрация жараёнининг таъсири // Развитии технических наук в условиях рыночной экономики: Сборник материалов республиканской научно – практической конференции. – Ташкент: 2003. – С.28-29.
- 39.Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б., Муродов И. Оптимизация коэффициента теплопередачи ограждений холодильных камер для хранения пищевых продуктов // Проблемы современной науки и технологии: Сборник материалов республиканской научно – практической конференции. – Джиззах: 2004. – С.157 – 158.
- 40.Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б., Муродов И. Расчет углубленного хранилища плодоовощной продукции с тепловыми трубами // Проблемы современной науки и технологии: Сборник тезис. республиканской научно – практической конференции. – Джиззах: 2004. – С.159.
- 41.Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б. Повышение эффективности овощехранилищ при гелиотеплохладоснабжении // Фундаментальные и прикладные вопросы физики: Сборник трудов международной конференции, посвященной 90-летию академика С.А. Азимова. –Ташкент: 2004. – С.188 – 189.
- 42.Узаков Г.Н. Проблемы энергосбережения при хранении фруктов и овощей в холодильных камерах // Тенденции развития теоретической теплотехники: Создание современных средств и технологий в теплоэнергетике. Сборник научных статей республиканского научно–технического семинара. – Ташкент: 2004. – С.44 – 45.
- 43.Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б. Совутиш камераларида иссиқлик – физикавий жараёнларни эксергетик тахлил қилиш методикаси // Тенденции развития теоретической теплотехники: Создание современных средств и технологий в теплоэнергетике. Сборник научных статей республиканского научно–технического семинара. – Ташкент: 2004. – С.29 – 30.
- 44.Муродов И., Узаков Г.Н. Расчет среднеобъемной температуры охлаждаемых продуктов при холодильном хранении // Тенденции развития теоретической теплотехники: Создание современных средства технологий в теплоэнергетике. Сборник научных статей республиканского научно–технического семинара.– Ташкент: 2004. – С. 46–47.
- 45.Узаков Г.Н., Хужакулов С.М. Экологическая эффективность применения тепловых насосов в системах теплохладоснабжения // Прикладная экология и устойчивое развитие ПЭУР 2005: Материалы международной научно – методической конференции. – Карши: 2005. – С.348 – 349.
- 46.Узаков Г.Н. Энергоэкономическая эффективность применения тепловых насосов в системах теплохладоснабжения овощехранилищ // Приоритетные направления экономических реформ в аграрной сфере: Труды международной научно – практической конференции. – Карши: 2006. –С.277.
- 47.Узаков Г.Н., Хужакулов С.М. Бозор иқтисодиёти шароитида сабзаёт омборларида энергияни тежаш ва иқтисодий – экологик муаммолар



- // Приоритетные направления экономических реформ в аграрной сфере: Труды международной научно – практической конференции. – Карши: 2006. –С.293 – 294.
- 48.Узаков Г.Н., Хужакулов С.М. Исследование систем теплохладоснабжения овощехранилищ с тепловыми насосами // Внедрение передовой технологии для решения проблем топливно-энергетических комплексов: Сборник материалов республиканской научно – практической конференции. – Карши: 2006. – С.154–156.
- 49.Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б., Хужакулов С.М. Энергетическая эффективность применения тепловых насосов в системах теплохладоснабжения овощехранилищ // Фундаментальные и прикладные опросы физики: Сборник материалов третьей международной конференции посвященной 15 – летию независимости Узбекистана. – Ташкент: 2006. –С. 135-137.
- 50.Узаков Г.Н., Хужакулов С.М., Вардияшвили А.Б. Определение теплофизических параметров влажного воздуха при охлаждении продуктов в холодильных камерах // Современное состояние и перспективы развития энергетики: Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. – Ташкент: 2006. –С.109-111.
- 51.Узаков Г.Н., Хужакулов С.М., Вардияшвили А.Б. Утилизация энергии с помощью тепловых насосов в подземных хранилищах // Современное состояние и перспективы развития энергетики: Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. – Ташкент: 2006. – С. 281-282.
- 52.Узаков Г.Н. Разработка и исследование систем теплохладоснабжения хранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии // Сборник научных трудов республиканской научно – практической конференции аспирантов и докторантов. – Ташкент: 2007. – С.27-32.
- 53.Узаков Г.Н. Энергосбережение при комбинированном использовании солнечной энергии и вторичных энергоресурсов в теплицах-овощехранилищах // Инновационные горизонты: Сборник научных трудов. Санкт – Петербург: СПбГПУ, 2008. – С.35-38.
- 54.Узаков Г.Н. Оптимизация температурно-влажностного режима и разработка энергосберегающих технологий в холодильных камерах // Проблемы эффективного использования топливно-энергетических ресурсов: Сборник научных трудов республиканской научно – практической конференции. – Карши: 2008. – С.31 – 33.
- 55.Узаков Г.Н., Хужакулов С.М., Вардияшвили А.Б. Расчет экономической эффективности холодильных камер с теплонасосной установкой // Энергосбережение при использовании альтернативных источников энергии: Сборник научных трудов республиканской научно – практической конференции. – Карши: 2008. – С.183-184.
- 56.Хужакулов С.М., Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б. Теплотехнический расчет подземной холодильной камеры // «Инновация – 2008»: Сборник научных статей международной конференции – Ташкент: 2008. – С.196-197.

57. Вардияшвили А.А., Захидов Р.А., Вардияшвили А.Б., Узаков Г.Н. Энергосберегающая комбинированная установка выращивания и хранения овощей в гелиотехническом комплексе // Инновация – 2009: Сборник научных статей международной научно – практической конференции. – Ташкент: 2009. – С.152-153.
58. Узаков Г.Н. Энергосберегающая система доувлажнения воздуха в малом овощехранилище // Каталог III Республиканской ярмарки инновационных идей, технологий и проектов. – Ташкент: 2010. – С.105.
59. Вардияшвили А.Б., Узаков Г.Н., Раббимов Р.Т., Хужакулов С.М. Энергосберегающее устройство для хранения и выращивания растительной продукции с замкнутым тепловым балансом // Фундаментальные и прикладные вопросы физики: Сборник материалов международной научно – практической конференции. – Ташкент: 2010. – С.73-75.
60. Узаков Г.Н. Передвижное плодоовощехранилище с собственным энергобалансом // Каталог IV Республиканской ярмарки инновационных идей, технологий и проектов. – Ташкент: 2011. – С.239.
61. Узаков Г.Н. Энергосбережения при утилизации теплоты вентиляционных выбросов в рекуперативном теплообменнике // Технические науки: проблемы и перспективы: Сборник научных трудов международной научной конференции. – Санкт – Петербург: 2011. – С.177 – 180.
62. Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б., Хужакулов Г.Н. Энергоэффективное плодоовощехранилище с использованием нетрадиционных источников энергии // Технические науки в России и за рубежом: Сборник научных трудов международной конференции. – Москва: 2011. – С. 65 – 68.
63. Узаков Г.Н. Оценка экономии энергоресурсов в энергоэффективном комплексе «овощехранилище-гелиотеплица» // «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве»: Сборник научных трудов 8-ой международной научно-технической конференции. – Москва: ГНУ ВИЭСХ, 16-17 мая 2012. – С. 138-145.
64. Узаков Г.Н., Вардияшвили А.Б., Хужакулов С.М. Моделирование процессов тепло - и массообмена в холодильной камере при охлаждении продуктов естественным холодом // «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве»: Сборник научных трудов 8-ой международной научно-технической конференции. – Москва: ГНУ ВИЭСХ, 16-17 мая 2012. – С. 154-160.
65. Uzakov G.N., Zakhidov R.A. Improving the energy efficiency of vegetable stores using heat pumps// 6th International Scientific and Practical Conference «Science and Society». – London, 23-24 March 2014. – p. 188-193.
66. Узаков Г.Н., Хужакулов С.М., Вардияшвили А.Б. Энергоэффективные системы теплохладоснабжения овощехранилищ. // Сборник научных трудов.- Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ.2014.-304с.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий журнал таҳририятида таҳрирдан ўтказилди (25.12.2015 йил).