

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

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

САФАРОВ ЖАСУР ЭСИРГАПОВИЧ

**ТОПИНАМБУР ТУГАНАГИ ВА НАЪМАТАК МЕВАСИ
ТАРКИБИДАГИ БИОФАОЛ МОДДАЛАРНИ САҚЛАГАН ҲОЛДА
ҚАЙТА ИШЛАШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**02.00.16 – Кимё технологияси ва озиқ-овқат ишлаб чиқариш
жараёнлари ва аппаратлари
(техника фанлари)**

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

ТОШКЕНТ – 2016

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

Сафаров Жасур Эсиргапович Топинамбур туганаги ва наъматак меваси таркибидаги биофаол моддаларни сақлаган ҳолда қайта ишлаш технологиясини ишлаб чиқиш	5
Сафаров Жасур Эсиргапович Разработка технологий для переработки клубней топинамбура и плодов шиповника с сохранением биологически активных веществ	29
Safarov Jasur Esirgapovich Development of technologies for the processing of the tubers of jerusalem artichoke and rose hips with preservation of biologically active substances.....	55
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works	81

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

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

САФАРОВ ЖАСУР ЭСИРГАПОВИЧ

**ТОПИНАМБУР ТУГАНАГИ ВА НАЪМАТАК МЕВАСИ
ТАРКИБИДАГИ БИОФАОЛ МОДДАЛАРНИ САҚЛАГАН ҲОЛДА
ҚАЙТА ИШЛАШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**02.00.16 – Кимё технологияси ва озиқ-овқат ишлаб чиқариш
жараёнлари ва аппаратлари
(техника фанлари)**

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

ТОШКЕНТ – 2016

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида №30.09.2014/В2014.5.Т322 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.tdtu.uz) ва «ZiyoNet» таълим ахборот тармоғида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

**Илмий
маслаҳатчи:**

Норкулова Карима Тўхтабаевна
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий
оппонентлар:**

Эшқувватов Бегмамат Тешаевич
Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси
академиги, техника фанлари доктори, профессор

Муҳиддинов Джалалиддин Насирович
техника фанлари доктори, профессор

Нурмухамедов Хабибулла Сагдуллаевич
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи
ташқилот:**

Бухоро муҳандислик-технология институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва Энергетика ва автоматика институти ҳузуридаги 16.07.2013.Т.02.01 рақамли илмий кенгашнинг 30 апрель 2016 йил соат 10⁰⁰ 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).

Докторлик диссертацияси билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (13 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2016 йил 29 март куни тарқатилди.
(2016 йил 29 мартдаги 2 - 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

Ш.М.Гулямов

Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси
т.ф.д., профессор

КИРИШ (докторлик диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Ҳозирги кунда бутун жаҳонда аҳолини сифатли озиқ-овқат маҳсулотлари билан таъминлаш ва озиқ-овқат хавфсизлигини назорат қилиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Озиқ-овқат ва доривор ўсимликлар таркибидаги биофаол моддаларни тўлиқ сақлаган ҳолда сифатли қайта ишлаш инновацион технологияларини татбиқ этиш ва уни истиқболли ривожлантириш тобора муҳим аҳамиятли бўлиб бормоқда. Шу жиҳатдан, рақобатбардош турли хил кўринишдаги сифатли маҳсулотлар ишлаб чиқариш мақсадида янги технологияларни ишлаб чиқиш ва жорий этиш алоҳида аҳамият касб этади. Бу борада экологик тоза ва чиқиндисиз ишлаб чиқариш технологияларини такомиллаштириш, турли хилдаги маҳсулотлар олиш ва уларни саноат тармоқларида кенг фойдаланиш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда. Шундай маҳсулот манбаларидан бири топинамбур туганаги ва наъматак меваси ҳисобланади.

Сўнгги йилларда, топинамбур туганаги ва наъматак меваларини етиштиришга катта эътибор қаратилмоқда. Наъматак мевалари ва топинамбур илдиз мевали ўсимлик сифатида атроф-муҳит шароитига яхши мослашадиган, ноёб кимёвий таркибга эга, ишлаб чиқариш учун арзон, касаллик ва зараркунандаларга чидамлилиги билан ажралиб туради. Топинамбур туганаги ва наъматак меваси кўп йиллик доривор ўсимлик ҳисобланади. Топинамбур туганаги инулин моддасига, наъматак меваси аскорбин кислота моддасига бой бўлганлиги сабабли озиқ-овқат ва фармацевтика саноатида биофаол озучавий қўшимча сифатида кенг фойдаланилади. Хомашёни узок муддат сақлаб бўлмаганлиги учун унинг таркибидаги биофаол моддаларни сақлаган ҳолда қайта ишлаш талаб этилади.

Топинамбур туганаги ва наъматак меваси мураккаб полидисперс тизимга эга бўлганлиги, таркибидаги қанд, органик кислоталар, тузлар, минерал моддалар, инулин, макро ва микроэлементлар, клетчатка (ўсимлик хужайраларидан ташкил топган модда), пектин, витаминлар, эфир мойи, крахмал, углеводлар, оксил, аминокислоталар ва бошқа моддаларни сақлаган ҳолда қайта ишлаш муҳим ҳисобланади. Маҳсулотларни буғлатиш ёки қуритиш жараёнида оксил коагуляцияланади, пектин парчаланаяди, қанд моддалар карамеллашади ва бошқа физик-кимёвий жараёнлар вужудга келади. Қайта ишлаш жараёнида ҳарорат қанчалик юқори бўлса, кимёвий жараёнларнинг фаоллиги ҳам юқори бўлади ва биофаол моддаларнинг парчаланиши вужудга келади.

Шу сабабли, хомашёни қайта ишлаш жараёнида маҳсулот сифатини яхшилаш, вақт ва меҳнат сарфини камайтириш, асосий технологик жараён ва қурилмаларни такомиллаштиришни талаб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2009 йил 26 январдаги ПҚ-1047-сон «Озиқ-овқат маҳсулотлари ишлаб чиқаришни кенгайтириш ва ички бозорни тўлдириш юзасидан қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги

хамда 2011 йилнинг 31 октябридаги ПҚ-1633-сон «2012-2015 йилларда Республика озиқ-овқат саноатини бошқаришни ташкил этишни янада такомиллаштириш ва ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорларида белгиланган вазифаларни муайян даражада амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши-нинг устувор йўналишларига боғлиқлиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг № 5. «Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф-муҳит муҳофазаси» ва № 6. «Тиббиёт ва фармакология» устувор йўналишларига мос равишда ИТД-9 - «Қишлоқ хўжалиги маҳсулоти етиштиришнинг юқори самарадор, экологик соф агротехнологияларини, уларни сақлаш ва қайта ишлаш, касаллик ва зараркунандалардан ҳимоя қилишнинг самарали усулларини яратиш» ва ИТД-11 - «Маҳаллий табиий ва синтетик хомашё асосида янги дори воситаларини ишлаб чиқаришнинг юқори самарадор технологияларини яратиш» лойиҳалари доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи. Капилляр ғовак материал бўлган озиқ-овқат маҳсулотларини қуритиш усуллари ва уни математик моделлаштириш орқали биофаол моддалари юқори сақланган маҳсулот олиш технологияси ва қурилмаларини ишлаб чиқиш бўйича етакчи олий таълим муассасаси ва илмий марказлари, жумладан, University of Georgia (АҚШ), Laval University (Канада), Technical University of Berlin ва German Institute of Food Technologies (Германия), Federal University of Santa Catarina (Бразилия), University of Extremadura (Испания), Ataturk University ва Middle East Technical University (Туркия), Mutah University (Иордания), National University of La Plata (Аргентина), Aleksandras Stulginskis University (Литва), Москва давлат озиқ-овқат ишлаб чиқариш университети ва Краснодар қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини сақлаш ва қайта ишлаш ИТИ (Россия)ларда кенг камровли илмий-тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Қуритиш жараёни самарадорлигини ошириш орқали сифатли маҳсулотлар олиш юзасидан қатор илмий-амалий натижалар олинган, жумладан: ўсимлик ва меваларни ҳаво оқими ёрдамида қуритиш ва ундан кукун олиш жараёнида маҳсулот таркибидаги физик-кимёвий ўзгаришлар аниқланган (University of Georgia); озиқ-овқат маҳсулотларини иссиқ ҳаво ва музлатиш орқали қуритиш ишлаб чиқилган (Laval University); мева-сабзавот ва ўсимликларга хос бўлган физик-кимёвий хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қуритиш орқали функционал маҳсулотлар олиш йўллари аниқланган (Technical University of Berlin ва German Institute of Food Technologies); маҳсулотларни қуритиш жараёнига вакуумнинг таъсири ўрганилган (Federal University of Santa Catarina); қуритиш жараёнига инфракизил (ИК) нурлар таъсири аниқланган (University of Extremadura); қуриш жараёнида наъматак меваси таркибида аскорбин кислота миқдорининг сақланиши ўрганилган (Ataturk University); топинамбурни ультра микро тўлқин ёрдамида қуритиш усули ишлаб чиқилган (Middle East Technical University); тегирмонда хомашёни майдалаш жараёни такомиллаштирилган (Mutah University); наъматак мевасини иссиқ ҳаво оқими ёрдамида вакуумда инфракизил нур ёрдамида қуритиш қурилмаси ва технологияси ишлаб чиқилган

(National University of La Plata); топинамбур туганагини сақлаш ва қайташ ишлаш жараёнида сифат ўзгариши аниқланган (Aleksandras Stulginskis University).

Бугунги кунда дунё миқёсида, функционал озиқ-овқат маҳсулотлари ишлаб чиқариш бўйича устувор йўналишларда илмий ишлар олиб борилмоқда, жумладан: қуритиш орқали маҳсулот сифатини сақлаб қолиш; инфрақизил нур ёрдамида маҳсулотларни қуритиш; биофаол моддалари юқори сақлаган ҳолда маҳсулотлар ишлаб чиқиш; маҳсулотларни қуритиш усулларини такомиллаштириш (конвектив, кондуктив, инфрақизил, ультра юқори частотали); қуритиш камерасининг ички босим ўзгаришларини аниқлаш (атмосферали, вакуумли, сублимацион); қуритиш агентининг ҳаракатланиш усулларини ишлаб чиқиш (табиий, сунъий); қуритилаётган маҳсулот турига мос усулларни такомиллаштириш (қаттиқ, суюқ, пастасимон);

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Муаммога бағишланган мавзу юзасидан тарихий илмий ишлар бажариб келинган. Лыков А.В., Гинзбург А.С., Илясов Р., Левитин И.Б., Салимов З.С., Сафаров О.Ф. лар қуритиш жараёни назарияси, инфрақизил нурларни қуриш жараёнига таъсирини ўрганишга катта ҳисса қўшишган.

Дунёнинг турли минтақаларида қуритиш жараёнини такомиллаштириш ва биофаол сифатга эга бўлган маҳсулотлар ишлаб чиқариш бўйича тадқиқотлар олиб борилган: Paes S., Karacabey E., Ben Ch.M., Natalia A., Ghaid Jameel Al-Rabadi, Ghiaus A.G., Marquez C., Saliha Erenturk, A.Ruiz Celma, Ratti C., Kunzek H., Veerachandra K. ва бошқалар.

Маҳсулотларни қуритиш усуллари, иссиқлик масса алмашинув жараёнлари, қуритиш жараёни ва қурилмаларни такомиллаштириш ва сифатли маҳсулот олиш бўйича: Алтухов И.В., Шаззо Р.И., Зуев И.А., Лебедев П.Д., Артиков А.А., Додаев Қ.О., Джураев Х.Ф., Искандаров З.С., Мухиддинов Д.Н., Мухамедов Б.И., Норқулова К.Т., Нурмухамедов Х.С., Рахимов Р.Х., Шаймардонов Б.П., Юсупбеков Н.Р. лар томонидан илмий-тадқиқотлар олиб борилган. Қуритиш орқали биофаол моддалари юқори сақланган маҳсулотлар олиш учун жараён ва қурилмаларни янада такомиллаштиришга тўғри келади. Эндиликда, топинамбур туганаги ва наъматак мевасини биофаол моддалари юқори сақланган ҳолда комплекс қайта ишлаш технологик тизимини такомиллаштириш талаби вужудга келди.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасинингилмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги қуйидаги лойиҳаларда акс эттирилган: ИОТ-2013-6-08 - «Наъматак мевасидан биологик активлиги юқори сақланган ҳолдаги чой ва ёғ олиш учун уруғ олишни саноат миқёсига олиб чиқиш» (2013-2014 йй.) ва А9-ФҚ-1-15580-КА9-011 - «Топинамбурнинг Файз барака ва Мўъжиза навлари агро ва биотехнологиясини яратиш, уни сақлаш ва чикитсиз қайта ишлаш асосида юқори самарали, импорт ўрнини босувчи ҳамда экспортбоп, экологик соф маҳсулот ишлаб чиқариш» (2012-2014 йй.).

Тадқиқотнинг мақсади вакуумда инфрақизил нур ёрдамида қуритиш қурилмасида топинамбур туганаги ва наъматак мевасини қайта ишлаш технологиясини такомиллаштириш ва қурилманинг энерготехнологик самарадорлигини ошириш орқали биологик фаол моддаларни сақлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

озик-овқат маҳсулотларини қайта ишлаш (топинамбур туганаги ва наъматак меваларини) ҳозирги кундаги назарияси ва технологиясини танқидий жиҳатдан таҳлил қилиш, қайта ишлаш учун қурилма ва технология яратиш, ўрганилаётган маҳсулотни қуритиш ва яратилаётган технология учун асосий кўрсаткичларни аниқлаш;

топинамбур туганаги ва наъматак меваларини қайта ишлаш технологик схемасини яратиш;

маҳсулотларда боғлиқ намлик турларини тадқиқ ва топинамбур туганаги ва наъматак меваларини қайта ишлашда технологик, механик, кимёвий, озукавий, иссиқлик физик ва биологик хусусиятларни аниқлаш;

тадқиқ қилинаётган маҳсулотни қуритиш жараёнида иссиқлик алмашинув қонуниятларини инфрақизил қиздириш ночизикли кўринишлари динамикасини ҳисобга олгани ҳолда ишлаб чиқиш;

қуритиш жараёнида намликни капиллярларда ҳаракатланишининг ва қуритиш жараёнида маҳсулотларда микроэлементлар тақсимланишининг математик моделини ишлаб чиқиш;

топинамбур туганаги ҳамда наъматак меваларини қуритишда моделлаштиришни амалга ошириш, нурлатиш орқали сувсизлантириш жараёнини оптималлаштириш ва қуритиш шкафида ИҚ нурлатгичларни жойлаштиришни рационал ҳисоблаш усулини таклиф этиш;

топинамбур туганаги ва наъматак меваларини қуритиш учун самарали технологик режим маҳсулотларини қиздиришни биотехнологик шартларга мос равишда ИҚ нурланишли вакуум қуритиш қурилмасини саноат тажриба намунасини ишлаб чиқиш ва яратиш;

тизимли таҳлил орқали асосий кўрсаткичларни аниқлаш ва уларни қайта ишлаш ва қуритиш технологик режимлари билан ўзаро таъсирини аниқлаш, энергетик йўқотишларни олдини олиш мақсадида нурлатишнинг рационал шароитларини аниқлаш ва ИҚ нурланишли вакуум қуритиш қурилмасини такомиллаштириш;

топинамбур туганаги ва наъматак меваларини қайта ишлаш технологияси, қуритилган топинамбур туганагидан кукун олиш тегирмони ва майдаланган наъматак мевасини қисмларга ажратиш учун аэродинамик сепараторнинг тажриба намунасини ишлаб чиқиш ва яратиш;

диссертация ишини бажаришда олинган натижаларни, тавсияларни ва ишланмаларни саноатда ишлаб чиқаришга татбиқ этиш.

Тадқиқотнинг объекти қайта ишлаш ва қуритишда минимал энергия ва вақт сарфлаган ҳолда, биологик фаол моддалари сақланиши таъминланган қишлоқ ва ўрмон хўжалиги маҳсулоти бўлган - топинамбур туганаги ва наъматак меваларидан иборат.

Тадқиқотнинг предмети вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш қурилмаси, қуритишни ўзига хос қонуниятлари, техника ва технологиялари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда кимёвий ва озик-овқат технологияси жараён ва қурилмалари, математик моделлаштириш усуллари ва технологик жараёнларни оптималлаштириш назорат-ўлчов ускуналари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

топинамбур туганаги ва наъматак меваларининг кимёвий, иссиқлик-техник ва биологик хусусиятлари аниқланган ҳамда қайта ишлашнинг энергосамарадор технологияси яратилган;

топинамбур туганаги ва наъматак мевасини қайта ишлашнинг оптимал усули вакуумда инфрақизил нур ёрдамида қуритиш жараёнининг ночизиқли динамик кўриниш модели ва қуритишнинг технологик қонуниятлари асосида ишлаб чиқилган;

қайта ишлаш жараёнини самарали ташкил қилиш ва коэффицентларни ҳисоблаш аниқлигини ошириш имконини берувчи технологик схема таклиф этилган ҳамда дискрет усулда қуритиш жараёнида иссиқлик ночизиқли тарқалишининг ўзига хослиги аниқланган;

қуритиш жараёнини бошқариш орқали намликни капиллярларда ҳаракатланиши ҳисобига маҳсулот таркибидаги микроэлементлар бир томонга йиғилиши натижасида биофаол қўшимча олишнинг технологик режими ишлаб чиқилган;

капилляр ғовак материаллар учун қуритиш қурилмасида махсус нур қайтаргич ёрдамида маҳсулотга инфрақизил нурнинг тўлиқ тақсимланиб тушишини таъминлаш ҳамда маҳсулот ва нурлатгич орасидаги масофа, оптимал тўлқин узунлик ва маҳсулот қалинлигини нурлатиш қувватига боғлиқлиги ишлаб чиқилган;

топинамбур туганаги ва наъматак мевалари таркибида биофаол моддаларни сақлаган ҳолда вакуумда инфрақизил нур ёрдамида қуритишнинг оптимал ҳарорати ва вакуум босими аниқланган ҳамда янги турдаги совитиш тизимига эга бўлган тегирмон ёрдамида кукун олиш технологияси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси:

назарий ва амалий изланиш натижасида юқори сифатли қуритилган тайёр маҳсулотлар олиш учун вакуумда ИҚ нурлатгичлар ёрдамида технологик қурилма ишлаб чиқилган;

олинган илмий натижалар асосида ИҚ қиздиришли вакуум қуритиш қурилмаси ишлаб чиқилган;

вибрацияни қўллаш орқали қуриш жараёни 40% гача тезлашиши аниқланган;

натижалар озик-овқат ва фармацевтика саноати, фермер ва ўрмон хўжаликлари учун қурилмалар яратишда қўлланилган;

таклиф этилган технологияда намлик бирлиги учун сарфланадиган энергиянинг кам миқдорда эканлиги аниқланган ҳамда бошқа маълум

усуллардан иқтисодий жиҳатдан самарадорлиги кўрсатилган;

қуритилган топинамбур кукуни таркибида 45,4 мг% инулин моддаси ва наъматак меваси таркибида 0,77 мг% аскорбин кислотасининг сақланиши бошқа усулларга нисбатан 3-4 мартаба юқорилиги аниқланган;

қуритиш жараёни C++ Builder 6.0 дастурида математик моделлаштиришнинг дастури ишлаб чиқилган;

вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш қурилмасидан фойдаланишнинг техник шартлари ишлаб чиқилган;

топинамбурнинг «Мўъжиза» навидан ва наъматак мевасидан кукун ишлаб чиқаришнинг вақтинчалик технологик регламенти ишлаб чиқилган ва «Ўзфармсанот» ДАК томонидан тасдиқланган ва ишлаб чиқаришга қўллаш учун тавсия этилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги қуритиш технологиясини оптималлаштириш ва математик моделлаштириш усуллари, ўсимлик хомашёсини қуритиш технологиялари, такомиллаштириш учун аниқ асосланган таклиф ва тавсияларнинг ишлаб чиқилганлиги, хулоса, таклиф ва тавсияларнинг амалиётга жорий этилганлиги, олинган натижаларнинг ваколатли тузилмалар томонидан тасдиқланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти топинамбур туганаги ва наъматак меваларининг биофаол моддаларини сақлаган ҳолда вакуумда ИҚ нур ёрдамида қайта ишлаш технологияси асосида олинган натижалар ушбу йўналишдаги технологияга ёндашувларни такомиллаштиришда фойдаланиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти топинамбур туганаги ва наъматак меваларини қайта ишлаш технологик тизимини қўллаш натижасида маҳсулот таркибидаги биофаол моддаларнинг сақланиб қолиши ҳамда хомашёни нест-нобуд қилмасдан ўз вақтида сифатли қайта ишлаш орқали саноат корхоналарининг ишлаб чиқариш қувватини оширишга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Топинамбур туганаги ва наъматак меваси таркибидаги биофаол моддаларни сақлаган ҳолда қайта ишлаш технологияси «Ўзфармсанот» Давлат акциядорлик концерни ва Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлиги тизимларига кирувчи корхоналарда жорий этилган («Ўзфармсанот» Давлат акциядорлик концернининг 2015 йил 30 ноябрдаги МД-06/1868-сон ва Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлигининг 2015 йил 10 сентябрдаги 06/14-893-сон маълумотномалари). Вакуумда инфрақизил нур ёрдамида қуритиш технологиясини қўллаш натижасида ишлаб чиқариш қувватини 20 % гача ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 25 та илмий-амалий анжуманларда, жумладан, «Инновация» (Тошкент, 2007-2009, 2014, 2015); «Высокие технологии XXI века» (Москва, 2008); «Маҳаллий хомашё ва маҳсулотларни қайта ишлаш технологияси» (Тошкент, 2008); «Қишлоқ хўжалик маҳсулотларини етиштириш, сақлаш ва қайта ишлашни

экологик тоза ресурстежамкор технологиялари» (Тошкент, 2009); «Табиий бирикмалар кимёсининг долзарб муаммолари» (Тошкент, 2010, 2015); «Green Growth Strategy of SMEs (Small and Medium sized Enterprises) in the New Silk Road Countries» (Korea, 2010); «Энергетиканинг замонавий ҳолати ва ривожланиш истикболлари» (Тошкент, 2011); «Озиқ-овқат саноатининг илғор технологиялари» (Бухоро, 2011-2012); «Мамлакатимизни модернизация қилиш ва кучли фуқаролик жамияти барпо этишда илм-фан, технологиянинг ўрни» (Андижон, 2011-2014); «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2013, 2015); «International scientific conference UNITECH» (Gabrovo, Bulgaria 2013-2015); «World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation – WCIS-2014» (Tashkent, 2014); «Practice and research in private and public sector–2014» (Vilnius, 2014-2015); «Кимё технологияси тармоқларининг долзарб муаммолари» (Бухоро, 2015); «Биотехнология: состояние и перспективы развития» (Москва, 2015), «Multimedia Information Technology and Applications – MITA-2015» (Korea-Uzbekistan, 2015) мавзуларидаги республика ва халқаро илмий-амалий конференцияларда маъруза кўринишида баён этилган ҳамда апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 42 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 2 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 14 та мақола, жумладан, 7 таси республика ва 7 таси хорижий журналларда нашр этилган. Ихтиро учун 1 та патент олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Ишнинг ҳажми 195 бетни ташкил этиб, 45 та расм, 25 та жадвал ва 243 та манба ва адабиётлардан фойдаланилган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Озиқ-овқат маҳсулотларини қайта ишлаш технологияси муаммоларининг замонавий ҳолати (топинамбур туганаги ва наъматак мевалари мисолида)»** деб номланган биринчи бобда озиқ-овқат маҳсулотларини қайта ишлаш технологияларининг замонавий ҳолати таҳлил қилинган (топинамбур туганаги ва наъматак мевалари мисолида) ва технологик схемада сифатли қуритиш жараёни асосий омил эканлиги белгиланган. Топинамбур туганаги ва наъматак меваларини қайта ишлашдаги мавжуд муаммолар таҳлилидан кўринадикки, қайта ишланаётган маҳсулотни вакуумда инфрақизил нурларни қўллаш орқали қуритиш келажаги бор усулларида бири бўлиб, бунда маҳсулотдаги фойдали элементлар сақланиб қолади. Хомашёни қуритишда бир вақтда икки жараён кечади: намнинг буғланиши (масса алмашинуви) ва иссиқлик ўтказиш (иссиқлик алмашиши); нам маҳсулотларни қуритиш қуйидагиларни ўз ичига олади: иссиқлик ўтказиш ва материал ичидаги массаси (ички вазифа) ва четки қатламда бўлак чегара фазасида (ташқи вазифа); иссиқлик ўтказиш шароити ва материал ичидаги массасига ва бўлак чегараси фазасига боғлиқ; четки қатламда иссиқлик ва масса ўтказиш имконияти билан материал ичида нам ва иссиқлик бўлганида қуритиш жараёни тезлашиб бориши юқори бўлади; иссиқликнинг ташқи шароити ва масса ва материал ичида намликни ва иссиқликни ўтказиш шароити (диффузияни кичик коэффициентлари ёки намликни ўтказувчанлик ва бошқалар) қуриш тезлигининг ортиб боришига таъсир қилади; баъзи ҳолларда капилляр-ғовак материалда буғланиш ва сублимация фазага ўтиш қисмларининг ҳосил бўлиши юзада эмас, балки капилляр-ғовак материал ичида кузатилади.

Мамлакатимиз агросаноат комплексида мавжуд қуритиш қурилмаларини ҳозирги ҳолати, қуритиш усуллари баҳолаб, топинамбур туганаги ва наъматак меваларини саноат миқёсида сифатли қуритиш янги қуритиш усуллари яратиш муаммолари мавжуд деган хулосага келиш мумкин.

Диссертациянинг «Капилляр ғовак материалларни қуришиш жараёнини математик моделларини ишлаб чиқиш» деб номланган иккинчи бобида капилляр ғовак бўлган ўсимлик материалларини қуришиш жараёнини математик моделлаштириш натижалари ва топинамбур туганаги ҳамда наъматак мевасини қуришиш жараёнининг назарий тадқиқотлари келтирилган. Тадқиқ қилинаётган материалларнинг капилляр ғовакли, намликнинг ҳаракатланиш математик модели ишлаб чиқилган. Қуриш жараёнида моддаларнинг тақсимланишини, жумладан моддаларни қатлам бўлиб гуруҳланиши динамикаси ҳам келтирилган.

Диссертация ишида қуришиш жараёнининг моддий ва иссиқлик баланслари келтирилган. Кинетик константани баҳолашда вақт t (ёки қуришишнинг тезлиги τ дан $du/d\tau$) намлик u кўринишидаги тажрибада олинган қуришиш эгри чизигидан фойдаланилган.

Буғланиш жараёнида заррачаларнинг ҳаракати ёки инкор этадиган ҳолатларда маҳсулотдан ҳавога намликнинг ҳаракатланиш механизми шакллариининг бир неча усуллари маълум: диффузион, томчили ва эркин.

Қуришиш тезлигининг доимий қуриш даврини кўриб чиқишда намунавий материал заррачасини намлик қобиғи ўраб турганда заррача юзасида фазовий баланс ҳолати нуқтаи назаридан қаралади. Бунда ҳаво тўйинган ҳолатда бўлганлиги сабабли ҳўл термометр ҳарорати билан тенг бўлади. Бундай ҳолатда қуришиш тезлиги ташқи атроф муҳитдаги психометрик маълумотлар бўйича аниқланади, намликнинг тўлиқ оқими эса ҳажмий масса узатиш коэффициенти β_x билан ифодаланади:

$$-du/d\tau = j = const = \beta_x (x_r - x) = \beta_x (x^* - x), \quad (1)$$

бунда, x_r - намлик балансини ўзгармас катталиги, x^* - заррача чегарасидаги ҳаво намлиги кг/кг; x - текис фаза ҳажмидаги ҳаво намлиги.

Тажриба усули билан олинган турли ҳароратдаги қийматларда намликнинг оқим (мин^{-1}) параметрларидан, намликнинг катталик коэффициенти β_x биринчи даврдаги қуришишнинг тангенс қиялик бурчаги эгри чизиги кўринишида топиш мумкин:

$$\beta_x = j/(x^* - x). \quad (2)$$

Тўйинган буғларнинг парциал босими P турлича T ларда мос келувчи жадвалларда мавжуд, моль қисмлари m эса қуйидагича аниқланади

$$m^* = P_t^* / P_{амм}; \quad m = P_{то}^* \varphi / P_{амм}, \quad (3)$$

Бунда $P_{амм}$ - атмосфера босими (760 мм сим. уст.); φ - атроф муҳит T_0 бўйича баҳоладиган ҳавонинг нисбий намлиги ва ҳўл термомертнинг ҳарорати T_m .

Бу ҳолда x^* ва x намликлар қуйидагича ифодаланади

$$x^* = \frac{M_B}{M_{\text{ғозд}}} \frac{m^*}{(1-m^*)}, \quad (4)$$

$$x = \frac{M_B}{M_{\text{ғозд}}} \frac{m}{(1-m)}, \quad (5)$$

бу ерда M_B - сувнинг молекуляр массаси; $M_{\text{ғозд}}$ - ҳавонинг молекуляр массаси.

Турли ҳароратларда олинган тажриба маълумотлари математик боғлиқлик билан ифода этилади $\beta_x = f(T)$.

Қуритишнинг биринчи даври тугашига мос келувчи критик вақт қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$\tau_{\text{кр}} = (u_0 - u_{\text{кр}}) / j. \quad (6)$$

Қуритишнинг иккинчи даври материал юзасида ўзига хос қуруқ ғовак пайдо бўлганда критик намлик эришилганда $u_{\text{кр}}$ бошланади. Агар заррачадаги барча ғоваклар ва ундаги намлик бир текис тарқалади деб қабул қилсак ҳамда қўрилаётган даврда материал ҳажмининг ичида масса ўзгаришининг қаршилиги тўлиқ деб ҳисобласак, хомашё заррачаси юзасига ўтаётган намлик эса шу ондаёқ ўтиб, бунда масса ўзгариш механизмини ностандарт диффузия тенграмаси ёрдамида сферик координаталарда шакллантириш мумкин:

$$\varepsilon \frac{\partial u}{\partial \tau} = D_{\text{эф}} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial u}{\partial \rho} \right). \quad (7)$$

Бу ерда u - нам материал заррачаси маркази вақтдаги t намлик тутиши масофаси ρ ; ε - заррачанинг ғоваклилиги; $D_{\text{эф}}$ - ўртача умумлаштирилган диффузия коэффициентини.

Бунда бошланғич ва чегаравий шартлар қуйидагича ифодаланади:

$$\begin{aligned} \tau = 0, & \quad 0 < \rho < R, & \quad u = u_{\text{кр}}, \\ \tau > 0, & \quad \begin{cases} \rho = R, \\ \rho = 0, \end{cases} & \quad \begin{cases} u = u_{\text{г}}, \\ du / d\rho = 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

Бу ерда $\tau = 0$ қуритишнинг иккинчи даври вақтига мос келади, $u_{\text{г}}$ эса, намлик ҳаракатининг атрофдаги ҳаводаги намликнинг мавжуд баланси чегараси эканлигини характерлайди.

Фурье усули бўйича тенграмани (7) иккита мутлақо боғлиқ бўлмаган функциялар шаклида тасаввур қилиш мумкин, улардан бири фақат вақтга, иккинчиси эса координатага боғлиқ. Яъни,

$$y(\tau, \rho) = T(\tau) R(\rho) \quad (9)$$

ёки

$$\frac{1}{D} \frac{\partial T}{\partial \tau} R = T \frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} T \frac{\partial R}{\partial \rho} = T \left(\frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial R}{\partial \rho} \right). \quad (10)$$

Шундай қилиб, тенгламанинг вақтга боғлиқ барча ифодаларни чап томонига, координатага боғлиқларини ўнг томонгача ўтказиб, ҳар бир қисмларнинг константага тенглигини оламиз:

$$\frac{1}{D} \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial R}{\partial \rho} \right) = -\lambda. \quad (11)$$

Сўнгги тенгликдан иккита тенглама келиб чиқади.

Ҳар бирини алоҳида кўриб чиқамиз:

$$1) \frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial R}{\partial \rho} + \lambda R = 0. \quad (12)$$

Ўзгартиришни $v = \rho R$ алмашиш билан амалга оширамиз. Натижада куйидагига эга бўламиз

$$\frac{dv}{d\rho} = R + \rho \frac{dR}{d\rho}, \quad \frac{d^2 v}{d\rho^2} = \frac{d^2 R}{d\rho^2} + \rho \frac{d^2 R}{d\rho^2} + \frac{dR}{d\rho}, \quad (13)$$

$$\frac{d^2 v}{d\rho^2} - \frac{1}{\rho} \frac{dv}{d\rho} + \frac{v}{\rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{dv/d\rho - v/\rho}{\rho} + \lambda \frac{v}{\rho} = 0. \quad (14)$$

Булардан тенгламалар системаси ҳосил бўлади:

$$\begin{cases} \frac{d^2 v}{d\rho^2} + \lambda v = 0, \\ v|_{\rho=0} = 0, \\ v|_{\rho=R} = 0, \end{cases} \quad (15)$$

Мумкин бўлган қийматларнинг λ таҳлили қилинади:

$$A) \lambda > 0, \quad k^2 + \lambda = 0; \quad k_{1,2} = \pm \sqrt{-\lambda} = \pm i\sqrt{\lambda}. \quad (16)$$

Бундан,

$$v = a \cos \sqrt{\lambda} \rho + b \sin \sqrt{\lambda} \rho. \quad (17)$$

Шартлардан кейин куйидаги тенглама келиб чиқади:

$$\sin \sqrt{\lambda_n} R_0 = 0. \quad (18)$$

Асосий функция v_n ва асосий қийматлар λ_n мос равишда куйидагича ифодаланади:

$$v_n = \sin \frac{\rho \pi n}{R_0}, \quad \lambda_n = \left(\frac{\pi n}{R_0} \right)^2, \quad (19)$$

$$y = \sum_{m=1}^{\infty} C_m \exp \left(-\frac{D n^2 \pi^2}{R_0^2} \right) / \rho^{-1} \sin \frac{\rho \pi n}{R_0}. \quad (20)$$

Б) $\lambda = 0, \quad d^2 v / d\rho^2 = 0, \quad k^2 = 0,$

$$v = a\rho + b, \quad b = 0, \quad aR_0 = 0 \Rightarrow a = 0. \quad (21)$$

В) $\lambda < 0, \quad k^2 = -\lambda, \quad k_{1,2} = \pm \sqrt{|\lambda|}, \quad v = ae^{\sqrt{|\lambda|}\rho} + be^{-\sqrt{|\lambda|}\rho},$

$$\rho = 0, \quad 0 = a + b \Rightarrow a = -b \quad (22)$$

$$\rho = R_0, 0 = ae^{\sqrt{|\lambda|R_0}} - ae^{-\sqrt{|\lambda|R_0}}, e^{\sqrt{|\lambda|R_0}} = e^{-\sqrt{|\lambda|R_0}}, \quad (23)$$

$$\sqrt{|\lambda|R_0} = -\sqrt{|\lambda|R_0} \Rightarrow \lambda = 0. \quad (24)$$

Бу ерда яккол қарама-қаршилик: $a = -b = 0$ кўринади

2) Иккинчи тенгламани ечамиз:

$$\frac{1}{DT_n} \frac{dT_n}{d\tau} = -\lambda_n \Rightarrow \frac{dT_n}{d\tau} = -\lambda_n DT_n, T_n = \exp\left(-\frac{Dn^2\pi^2}{R_0^2}\tau\right). \quad (25)$$

Коэффициент қийматларини баҳолаш учун бошланғич шартдан фойдаланамиз:

$$\tau = 0, y = u_{KP} - u_\Gamma. \quad (26)$$

Ечимни бирлаштириб, куйидагига эга бўламиз:

$$y = (u_{KP} - u_\Gamma) \frac{2R_0}{\pi\varphi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R_0^2) \sin \frac{\pi\varphi n}{R_0}. \quad (27)$$

Бироқ, $u = y + u_\Gamma$ дан

$$u = u_\Gamma + (u_\Gamma - u_{KP}) \frac{2R_0}{\pi\varphi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R_0^2) \sin \frac{\pi\varphi n}{R_0}. \quad (28)$$

келиб чиқади.

Ўртача намликнинг вақт мобайнида ўзгариши тажриба усуллари билан ўрганилади, яъни

$$\bar{u} = \frac{1}{R_0} \int_0^R u_\rho d\rho. \quad (29)$$

(28) нисбатни қўллаб, \bar{u} ўртача қатталиқни аниқласа бўлади:

$$\begin{aligned} \bar{u} &= u_\Gamma + (u_\Gamma - u_{KP}) \frac{2R_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \sin \frac{\pi\varphi n}{R} \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R^2) \frac{1}{R} \times \\ &\times \int_0^R \frac{\sin(\pi\rho/R)}{\pi\rho/R} d\left(\frac{\pi\rho}{R}\right) = u_\Gamma + (u_\Gamma - u_{KP}) \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \sin \frac{\pi\varphi n}{R} \times \\ &\times \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R^2). \end{aligned} \quad (30)$$

Жумладан, бажарилган ишда эритмалардаги қайта тақсимланган компонентларнинг ўсиши (яъни қаттиқ фазанинг ўсиши ва юзага намликнинг ҳаракати бўйича концентрация вариациялари янги ҳолати) ўрганилди. Буғланишда намликнинг бир тарафлама ҳаракати ўрганилди. Вакуум шароитида қуритиш фақатгина суюқлик ҳаракати қолмай, балки намлик ҳаракатининг нисбатан паст ҳароратда рўй берадиган «суюқлик-газ» фазовий ўтишлари кўрсатилган.

Ушбу концептуал моделни ўрганиш учун чизиксиз тўлқинлар бўлимида кенг ўрганиладиган ночизик математик хромотография тавсифига мурожаат қиламиз. Биз таклиф этаётган капиллярларда кўндаланг кесим алмашади, жумладан қуритиш вақтига нисбатан секинроқ ўзгаришидан иборат. Айнан ана шундай масалани кўриб чиқамиз. Бошланғич вақтда капиллярнинг радиуси R_0 бўлса. Қиздириш ва буғланишга боғлиқ бўлган ўсишнинг

камайиши билан функциянинг $R=R(t)$ секинлик билан ўзгариши рўй беради, бу ерда $t=0 R(0)=R_0$.

Жараён текис бўлганлиги учун t функция вақтдан ўз аргументидан узлуксиз функция ҳисобланади. Шунинг учун, Тейлор қаторига нукта атрофида тақсимланиши $t=0$ ўринли,

$$R=R_0(1+\mu t+qx) \quad (31)$$

Бу ерда μ, q –коэффициентлар.

Тейлор қаторига тақсимланиш куйидаги кўринишга эга:

$$R = R_0 \left(1 + \frac{1}{R_0} \frac{\partial R}{\partial \mu t} \mu t + \frac{1}{R_0} \frac{\partial R}{\partial \mu x} qx \right). \quad (32)$$

Кўрилатган жараён мураккаб муҳитда ўтаётганлиги туфайли механиканинг маълум бўлган текис муҳитларда – масса сақланиш қонуни ва найчаларда адсорбция ва десорбция кинетик жараёнлар қонуниятини кўллаймиз.

Соддалаштириш мақсадида капиллярларнинг кўндаланг юзасини киритамиз, $S = \pi R^2(t)$, $u \frac{S_t}{S} = \lambda - const$. Бу эса диаметрнинг қисқариши $\lambda < 0$ да чизиклидир. λ катталиги қуриштиришнинг тезлигига ва қуриштирилган материалнинг тўйиниш мойиллигига боғлиқ.

Ҳисоблар шуни кўрсатади:

$$C = \left(\frac{\rho_0 \gamma}{\rho_0 \gamma} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{S_0}{S} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}}. \quad (33)$$

Ўтказилган тадқиқотлар натижасида қуриштириш вақтида капиллярда қуриштириш учун керак бўлган вақтга нисбатан кўндаланг кесим секин ўзгариши аниқланди.

Қуриштириш жараёнининг микро нотекислилиги муҳитга эга эмас бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтувчи фазовий ҳаракатлар мавжуд технологик усулларда математик моделни яратиш учун динамик ўзгартиришларда полином яқинлашиши ўзининг чегарасига эга. Микроэлементларнинг намунада тарқалишининг асосий жараёни эриган моддаларни, заррачалар ва тузлар ионини ташувчи суюқлик ҳаракатсиз қаттиқ фазадан, ташилаётган материал эса қисман қаттиқ фазада адсорбцияланиши билан ҳулосаланади. Бу жараёни идеаллаштириб, суюқликнинг заррачалари доимий ν тезликда ҳаракатланади деб қабул қиламиз.

Бироқ диффузион жараёнларининг жиддий ҳисобга олиниши адсорбция моделининг математик моделини мураккаблаштиради ва бу билан масалани фазовий тарқалиш параметрига олиб келади. Бунда сақланиш қонуни куйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{\partial(\rho_f + \rho_s)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(V\rho_f) = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \quad (34)$$

Бу ерда, h - сувсизлангирилган объектнинг диффузия коэффициенти.

Деярли мувозанат ҳолат учун қуйидаги тенгламалар ситемасига эгамиз:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho_f}{\partial t} + c(\rho_f) \cdot \frac{\partial \rho_f}{\partial x} = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \\ c(\rho_f) = \frac{V}{1 + R(\rho_f)}, \\ R(\rho_f) = \frac{K_1 K_2 AB}{[K^2 B + (K_1 - K_2) \rho_f]}. \end{cases} \quad (35)$$

Тенгламалар (35) ρ_f дан c тезлигига боғлиқ чизикли шартда аниқланган. Коула-Хопф ифодасини алмаштириш ёрдамида аниқ ечимга эга материалнинг хужайрасида аввалдан кўзланган микроэлементларнинг фазовий тарқалиши билан қуритилган маҳсулот олиш имкониятини акс эттирувчи, параболик шаклдаги тенглама олинди.

Аввал айтилганидек, қуритиш жараёнида суюқлик босимининг катта градиентлари кўпинча микроёриқлар ҳосил қилади ва маҳсулот ичкарасидан намликнинг маҳсулот юзасига оқиб чиқишига сабаб бўлади. Натижада қуритилган маҳсулотнинг биофаол моддаларини сақлаб қолишда зарар етказмасдан сунъий усул билан ҳам эришса бўлади.

Юқорида келтирилган сувсизлантирилаётган маҳсулотларда микроэлементлар ҳаракати жараёнини маълум тенгламалар ёрдамида шакллантириш мумкин. Кетма-кетлик яқинлашиш ёрдамида кўрилаётган ҳолат учун ночизик тенгламани (34) таҳлил қиламиз.

$$\text{Ўлчамсиз кўрсаткичларни киритамиз: } x' = \frac{x}{L}, \quad t' = \frac{t}{T}$$

Бунда, L - маҳсулотнинг қуритишгача бўлган қалинлиги; T -қуритишнинг максимал вақти.

$$\rho_f \text{ ўрнига, } \rho_f^* = \frac{\rho_f}{\rho_f|_{t=0}} \text{ ни киритиб, (35) ундан}$$

$$\frac{\partial \rho_f^*}{\partial t'^2} + c^* \frac{\partial \rho_f^*}{\partial x'^2} = h^* \frac{\partial^2 \rho_f^*}{\partial x'^2} \text{ ни ҳосил қиламиз.} \quad (36)$$

$$\text{Бу ерда, } c^* = c(\rho) \frac{T}{L}, \quad h^* = \frac{hT}{L^2}$$

Ифодани соддалаштириш мақсадида қуйида штрихларни олиб ташлаймиз, лекин олдинда ўлчовсиз жойлардаги ҳаракатлар (36) динамикаси кўзда тутилган. Қуйидагини киритамиз:

$$\begin{aligned} n_f &= N_f^* N_f, \quad n_f = \rho_f, \\ \frac{\partial n_i}{\partial t} + c \frac{\partial n_i}{\partial x} &= h \frac{\partial n_i}{\partial x^2}, \end{aligned} \quad (37)$$

Бу ерда, n_i, c, x, h –янги ўлчовсиз.

Ночизик тенгламанинг (37) ечими кетма-кетлик яқинлашиш усули ёрдамида ҳосил қилинади.

$n = n_0(x, t)$ чизикли яқинлашиш ечими, яъни $c = \text{const}$ бўлганда, (37) тенглама ечими чизикли $n_0(x, t) = n_0(x - ct)$ ечимга эга. Физик жиҳатдан бу –

фронт кўринишидаги тезлик билан $c_0 = c(n_0)$ оддий ҳаракат ҳисобланади. Асл ечимни яқин келган шаклда қуйидагича ифолаш мумкин:

$$n_f = n_{0f}(x, t) + n'_f(x, t). \quad (38)$$

(38) учун қуйидагига эгамиз

$$\begin{cases} \frac{\partial n'_f}{\partial t} + \Delta c \frac{\partial n'_f}{\partial t} = h \frac{\partial^2 n'_f}{\partial x^2}, \\ \Delta c = c(0)[1 - \Delta R] \end{cases} \quad (39)$$

бунда ΔR ни (35)дан оламиз.

Бунинг натижасида ҳаракат жараёни вақт ўтиши билан биргаликда катта ўсиб боровчи қуйидаги трактовкага йўналтиради. Бироқ, диффузион жараёнлар концентрацияни вақт ўтиши мобайнида ўсиш тарқалишига йўл қўймайди, бундай ҳодисаларни текислашга интилади. Бу икки физик ҳодисаларнинг ўзаро таъсири у ёки бошқа микроэлементлар ҳаракат механизмини аниқлаб беради.

Кўриб чиқиладиган тенгламалар ечимида (38) яқинлаштирилган ва аналитик аппроксимация учун функцияларни бир хилга келтириш усулининг қўлланилиши натижасида функцияни Лапласнинг аппроксимациялаш формуласини оламиз:

$$n = n_0(x, t) + \int_0^t F \left(\xi - \frac{V}{1 + R(n_0)} \right) \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4h(t-\tau)}}}{\sqrt{2h\pi(t-\tau)}} + O(h)^{\frac{3}{2}}, \quad (40)$$

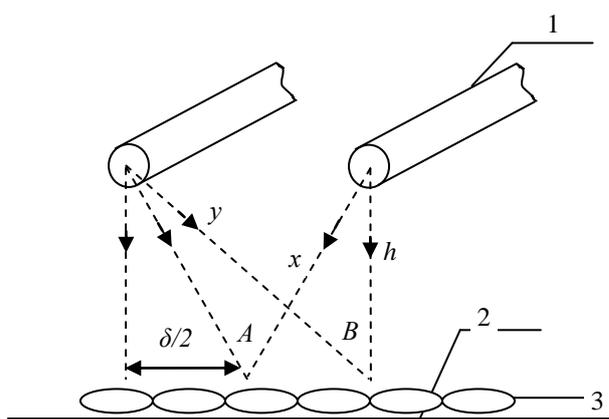
Бунда, $F = (n_0)_{xx}$.

Олинган тенглама чизиксизликнинг эффе́ктларини етарли даражада ҳисобга олишга имкон беради.

Шундай қилиб, микро бир жинсли бўлмаган ҳодисалар ролининг маҳсулотни сувсизлантириш жараёнидаги таҳлили натижасида биз томондан тугалланган маҳсулот таркибидаги биологик фаол моддаларнинг (БФМ) сақланиб қолишига имкон берувчи қуритиш жараёнини интенсификациясининг янги усуллари ишлаб чиқилди.

Режалаштирилган тажриба асосида қуритиш жараёни учун ташқи омилларнинг (ИҚ тўлқинлар, тебраниш, вакуум даражаси) таъсири ўрганиб чиқилган. Корреляцион коэффицентлар ва математик моделлар олинган ва ушбу бажарилган тажрибаларнинг статик ишлови амалга оширилган. Қуритиш вақти $r_{1t}=0,84$; $r_{2t}=0,85$; $r_{3t}=0,85$ ва энергия сарфига $r_{1Q}=0,83$; $r_{2Q}=0,83$; $r_{3Q}=0,63$ корреляциянинг чизикли коэффицентини олинди.

Қуритиш жараёнида қатламларда кристалланган моддаларнинг қайта тақсимланиши бўйича эксперимент-ларнинг режалаштирилган усуллари ўтказилган. Жумладан, топинамбур туганаги таркибидаги инулин моддасининг маълум қатламларда тарқалиш эгри чизиклари олинган.



1–нурлатгич; 2–сетка юзаси; 3–маҳсулот.

1-расм. Параллел керамик трубкалар ёрдамида ҳосил бўлган ИҚ-майдон

қуввати, Vm , яъни майдон бирлигидан вақт бирлигига ўтувчи r масофасида инфрақизил тўлқинларнинг энергияси, I_0 –керамик найчали нурлатгичнинг тўлиқ оқими.

А нуктага $\frac{2I_0}{x^2}$ нурланиш кучи, В нуктасига эса $\frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{y^2}$

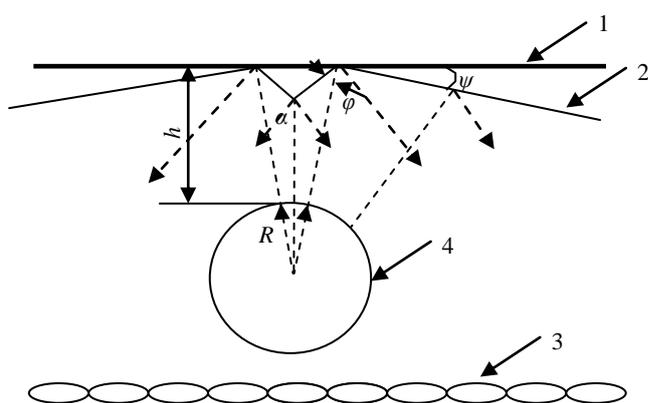
йўналтирилганлиги кўришиб турибди. $y^2 = h + \sqrt{x^2 - h^2}$ эканлигини эътиборга оламиз.

Инфрақизил нурланишнинг тенглигида А ва В нукталарда қуйидагига эгамиз:

$$\frac{2I_0}{x^2} = \frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{h + 2\sqrt{x^2 - h^2}}. \quad (41)$$

$\xi = \frac{x}{h}$ бу белгини қўллаб,

$$\xi^2 + \xi + 2 = 0 \text{ ни оламиз} \quad (42)$$



1–йўналтирувчирама; 2–нур қайтаргич; 3–хом ашё; 4-ИҚ найча.

2-расм. Шақлли нурқайтаргич схемаси

диаметрига нисбатан нурланаётган нукта масофаси катта бўлганда тўғри келади. Бироқ, кўп ҳолларда нурлатгичлар ўзаро нурлатгич диаметрига

ИҚ нурлатгични кўриб чиқамиз. Параллел керамик найчалар тўрли материалдан ташкил топган текисликни қиздирсин (1-расм).

Нурланаётган А ва В нукталарни таққослаш учун ҳисоблаб чиқамиз. $I = I_0 \cdot \frac{1}{r^2}$ қувват билан цилиндрик нурлатгичлар таъсир қилади, бунда r – радиусга тенг бўлган ўқдан цилиндр юзасигача бўлган масофа, m , I – r масофасида нурланишнинг оқим

қуввати, Vm , яъни майдон бирлигидан вақт бирлигига ўтувчи r масофасида инфрақизил тўлқинларнинг энергияси, I_0 –керамик найчали нурлатгичнинг тўлиқ оқими.

А нуктага $\frac{2I_0}{x^2}$ нурланиш кучи, В нуктасига эса $\frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{y^2}$

йўналтирилганлиги кўришиб турибди. $y^2 = h + \sqrt{x^2 - h^2}$ эканлигини эътиборга оламиз.

Инфрақизил нурланишнинг тенглигида А ва В нукталарда қуйидагига эгамиз:

$$\frac{2I_0}{x^2} = \frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{h + 2\sqrt{x^2 - h^2}}. \quad (41)$$

$\xi = \frac{x}{h}$ бу белгини қўллаб,

$$\xi^2 + \xi + 2 = 0 \text{ ни оламиз} \quad (42)$$

Бу ерда x , y –координаталар, m , h – нурлатгич ва нур қайтариш текислигининг асосий оралиғидаги масофа, m , ξ – ўлчовсиз катталиқ.

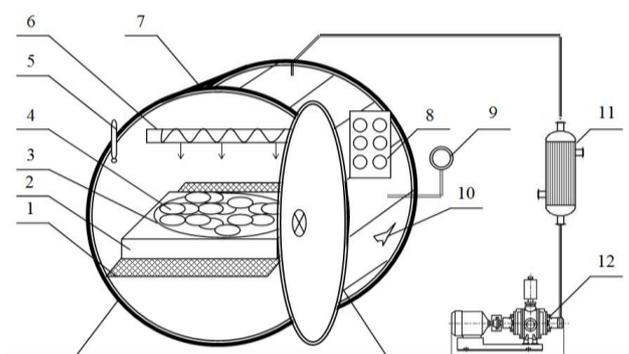
(13) тенглик ξ ни барча қийматларда 0 га тенглигини, яъни дискриминант 0 дан фарқли бўлгани сабабли у бажарилмайди. Бу эса оддий дискрет найчалар ёрдамида бир текисда инфрақизил нурланишни олиб бориш имконияти йўқлигидан далолат беради. Бу тенглик нурлатгич диаметрига нисбатан нурланаётган нукта масофаси катта бўлганда тўғри келади. Бироқ, кўп ҳолларда нурлатгичлар ўзаро нурлатгич диаметрига

нисбатан масофаси қисқа бўлиб жойлашган бўлади. Инфрақизил нурли қуритиш камераларида бошқа мавжуд ҳолда, кўп қаватли қуритиш тўрлари тескари самара беради. Бу ҳолатни бартараф этиш учун янги шаклли нур қайтаргичлар системаси таклиф этилади. Нур қайтаргичлар фақатгина бир текис нур қайтарибгина қолмасдан, балки ташқи тарафи билан маҳсулот заррачаларини нур қайтаргичлар юзасига тушувчи суюқликни тушишининг олдини олади.

Нурланишнинг максимал шароитида олинган қийматлари: деворлар оралиғидаги масофа –170 мм, найча диаметри –22 мм, тўр ва нурлатгич оралиғидаги масофа –135 мм, нурлатгич юзаси ва нур қайтаргичнинг нисбатан энг узок нуқтаси оралиғидаги масофа –22 мм. Бунда: $\varphi_{max}=27,4^{\circ}$; $\varphi_{min}=18,3^{\circ}$; $\psi \leq (\varphi_{max}-\varphi_{min})=19,1^{\circ}$.

Найчаларнинг оралиқ масофаси 400 мм бўлиб, параллел жойлашганида нурланишнинг бир меъёрда тақсимланиши ва нурлатилаётган юза максимал қўлланилишига эришилади.

Диссертациянинг «Тажриба синов қурилмасида қуритиш жараёнини тадқиқ қилиш» деб номланган учинчи бобида топинамбур туганагининг сорбция ва десорбция иссиқлик-техник тавсифи ўрганилган бўлиб: топинамбурнинг вакуум ИҚ қуритишда иссиқлик-техник тавсифи – капиллярларнинг солиштирма оғирлик юзаси $18,38 \text{ м}^2/\text{г}$ бўлганда, топинамбур ғовақларининг миқдорий ҳажми вакуум ИҚ қуритишда $0,440 \text{ см}^3/\text{г}$ ни ташкил қилади. Тадқиқотнинг иккинчи маҳсулоти – наъматак меваси учун вакуум ИҚ қуритишда иссиқлик-техник тавсифи ҳам аниқланиб, капиллярларнинг солиштирма оғирлик юзаси $12,30 \text{ м}^2/\text{г}$ бўлганда, ғовақларининг миқдорий ҳажми вакуум ИҚ қуритишда $0,390 \text{ см}^3/\text{г}$ ни ташкил қилади.

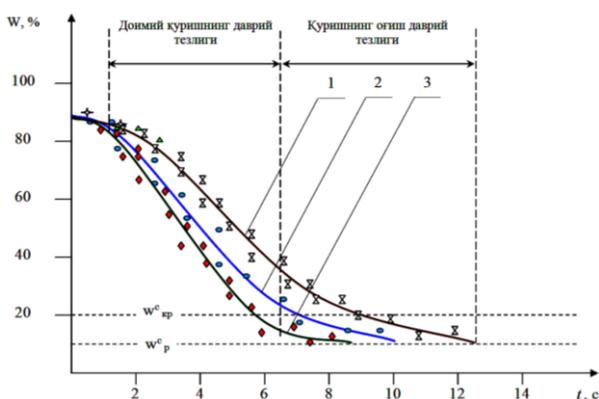


1-намуна қўйиш жойи; 2-рақамли индикаторли тарози; 3-маҳсулот учун идиш; 4-маҳсулот; 5-термометр; 6-ИҚ қиздиргич; 7-вакуум камера; 8-пультли бошқаргич; 9-вакуумметр; 10-жўмрак; 11-иссиқлик алмашгич; 12-вакуум насос.

3-расм. Тажриба синов лаборатория қурилмасининг схемаси

Амалий тадқиқотларни ўтказиш учун қуритиш жараёнини турли режимларда назорат қилиш, керакли параметрларни қайд этиш, бошқариш усулларини амалга ошириш имконини берадиган инфрақизил нурлатгичли вакуум қуритиш қурилмаси яратилди (3-расм). Топинамбур туганагининг «Мўъжиза» нави ва наъматак мевасини қуритиш бўйича эгри чизиқларни олиш учун бир қанча тажриба ишлари олиб борилди. Тозаланган маҳсулот сабзавотларни кесувчи ускуна ёрдамида 2 мм қалинликда кесиб олинди,

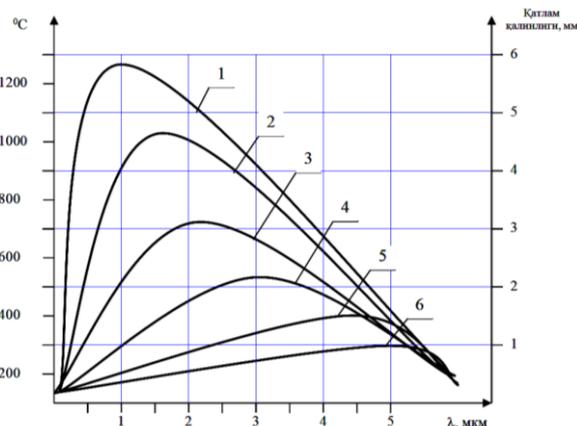
зангламайдиган тўрли идишларга бир текисда жойлаб чиқилди. Маҳсулот билан тўлдирилган идишлар вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш қурилмасига жойлаштирилди. Вакуум-камера эшиклари зич ёпиқ ҳолатда бўлади, камера ичидаги вакуум $-0,8$ атм. гача вакуум-насос билан сўриб олинади, сўнгра иссиқликростлатгич ёрдамида ҳарорат 65°C қилиб белгиланади ва ИҚ нур ёрдамида қуритиш қурилмаси ишга туширилади. Аввал 45 дақиқа давомида узлуксиз нурлатиш амалга оширилади, сўнг дискрет режимда қуритиш жараёни давом эттирилади, 5 дақиқа давомида нурлатгичлар ишга туширилади, 25% нурлатгичлар 15 дақиқа давомида ўчириб қўйилади. Бу циклни намлик 12% қолгунигача қадар бажарилади. Қуритиш вақтининг умумий давомийлиги 10 соатни ташкил этади.



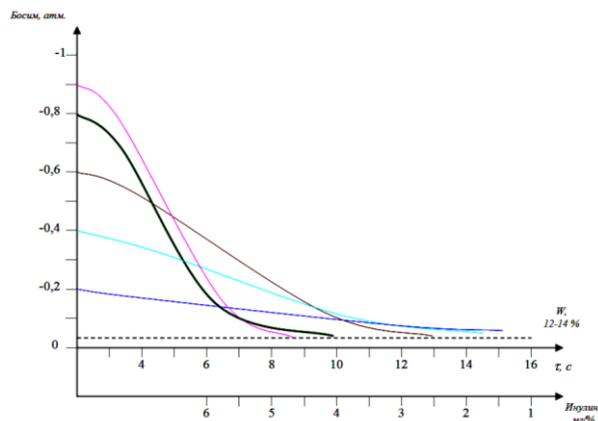
1-вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 50°C ; вакуум $-0,8$ атм.);
 2-вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 65°C ; вакуум $-0,8$ атм.);
 3- вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 80°C ; вакуум $-0,8$ атм.)

4-расм. Топинамбур туганагининг «Мўъжиза» навининг қуриш эгри чизиғи

Қуритишнинг доимий тезлиги (4-расм) намликнинг критик ҳолатигача давом этади w^c_{kp} (4-расм, 9-расм), унда ички ва ташқи диффузион қаршилиги тенг. Шу сабабдан критик намлик материалнинг ўртача интеграл намлик тутишидан аниқлаш мумкин, бу ҳолда юзада максимал гигроскопик намлик тутилиб, қуриш тезлигининг пасайиш даври бошланади (ёки қуритишнинг иккинчи даври).

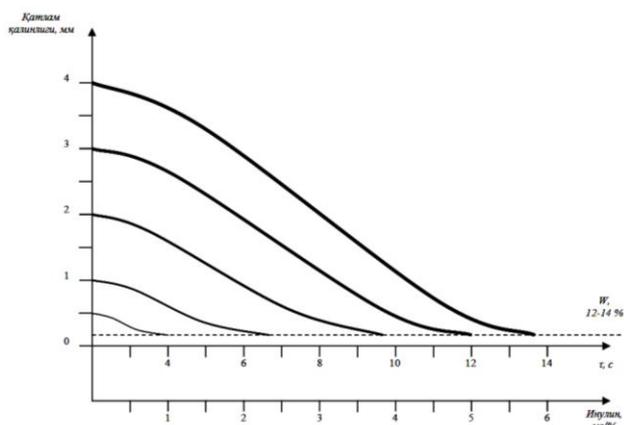


5-расм. Маҳсулотларни қуритиш учун ИҚ нурлатишнинг оптимал варианты



6-расм. Инулин моддасининг сақланиб қолишига атмосфера босими ва қуритиш жараёни вақтига боғлиқлиги (қуритиш шarti: 65°C ; бўлак қалинлиги-2 мм)

Юқори ҳароратда ИҚ нур тўлқин узунлиги қисқа бўлади, паст ҳароратда эса ИҚ нур тўлқин узунлиги узун бўлади. 500-600 °С ҳароратда ИҚ нур тўлқин узунлиги 2,8-3 мкм гача етади. 2 мм қалинликда қуритилаётган маҳсулот учун ушбу тўлқин узунлиги оптимал вариант ҳисобланади (5-расм).



7-расм. Инулин моддасининг сақланиб қолиши топинамбур туганагини кесиш қалинлиги ва қуритиш жараёнининг вақтига боғлиқлиги

(қуритиш шarti: -0,8 атм., 65 °С)

Топинамбур туганагини қуритиш жараёни учун вакуум камерада босим - 0,8 атм. ни (6-расм) ва кесилган бўлакнинг оптимал қалинлиги 2 мм ни ташкил этади (7-расм).

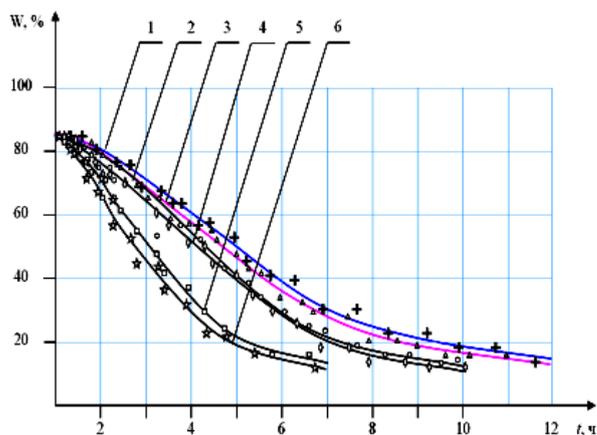
Топинамбур туганаги бўлаклари ва майдаланган ҳолатида қуритиш жараёнини тезлаштириш мақсадида титратиш орқали қуритиш самарали ҳисобланади (8-расм). Бунда сувсизлантириш самарадорлиги 40% гача ортади.

Шу ўринда, сувсизлантирилаётган материалнинг юза қатламида зарур бўлган намлик ва БФМ юқори даражада сақланиб қолишини таъминлаб бериш мақсадида топинамбур туганаги ва наъматак меваси дискрет режимда қуритиш бўйича тажриба синов ишлари ўтказилди.

Топинамбур туганаги майдаланган ҳолатидаги таркибида инулин моддасининг ИҚ қуритиш усулида – 45,4 мг% ва топинамбур бўлакларида эса - 38,75 мг% ни ташкил этиши кўрсатилган.

Сифатли маҳсулот олиш учун, маҳсулотни қуритишда майдаланган ҳолатида инфрақизил нур ёрдамида вакуумда қуритиш усули тавсия этилади.

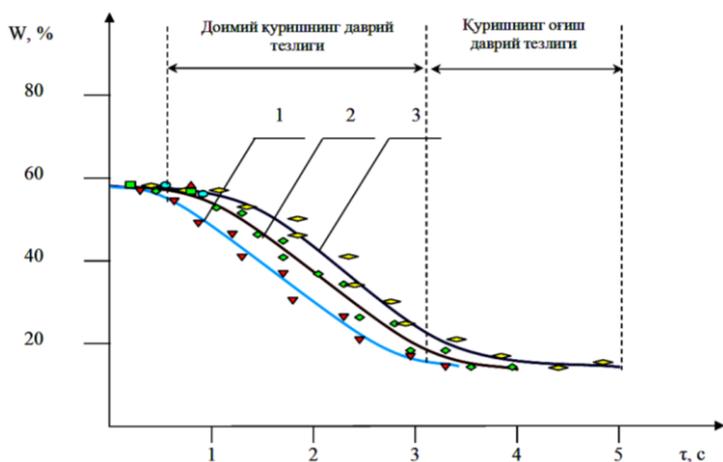
Наъматак мевасини қуритиш бўйича вакуум инфрақизил қуритилмасида тажриба синов ишлари ўтказилди. Наъматак мевасини қуритишдан олдин бегона моддалардан тозалаб ювилади. Сўнг наъматак меваси текис юзали тўр



1-ИҚ қиздириш орқали топинамбур бўлақларининг қуритиш эгри чизиғи; 2-ИҚ қиздириш орқали майдаланган топинамбурни қуритиш эгри чизиғи; 3- вакуумда ИҚ қиздириш орқали топинамбур бўлақларининг қуритиш эгри чизиғи; 4- вакуумда ИҚ қиздириш орқали майдаланган топинамбурни қуритиш эгри чизиғи; 5- вакуумда, ИҚ қиздириш ва титратиш таъсирида топинамбур бўлақларининг қуритиш эгри чизиғи; 6- вакуумда, ИҚ қиздириш ва титратиш таъсирида майдаланган топинамбурни қуритиш эгри чизиғи.

8-расм. Топинамбур туганагининг қуритиш эгри чизиғи

идишларга солинади. Тўлдирилган идишлар вакуум камерага жойланади, ИҚ киздирилади ва камера ичидаги вакуум $-0,8$ атм бўлади. Ишлаб чиқилган параметрлар ўрнатилгандан сўнг қуритиш жараёни олиб борилади ва наъматак мевасини 12% намликча сувсизлантирилади, бунда наъматак меваси таркибида БФМларнинг юқори даражада сақланиб қолиши таъминланади. Тажриба натижалари 9-расмда келтирилган.



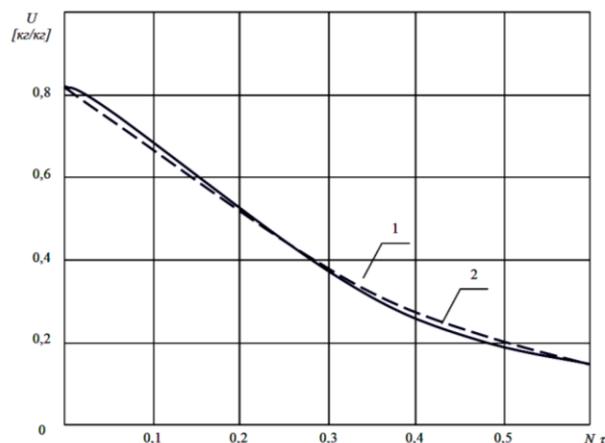
1- вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 80°C ; вакуум $-0,8$ атм.); 2- вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 65°C ; вакуум $-0,8$ атм.); 3- вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш (қуритиш ҳарорати 50°C ; вакуум $-0,8$ атм.);

9-расм. Наъматак мевасининг қуриш эгри чизиғи

Наъматак мевасининг қуритиш жараёни тадқиқотлари асосида турли қуритиш усуллари (қуёшда қуритиш, конвектив ва вакуум ИҚ қуритиш) билан маҳсулот таркибидаги витаминларнинг (асосан аскорбин кислота) юқори даражада сақланиб қолиш жараёнининг рационал варианты топилди. Вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш усулида $0,77$ мг% гача сақланиб қолиши кўрсатилган. Вакуум ИҚ қуритиш усулида наъматак мевасининг уруғи таркибида аскорбин кислота миқдори $4,0$ мг% ни ташкил қилди.

Қуритишнинг эгри чизиғидан наъматак мевасининг оптимал қуритиш ҳарорати ва қуришнинг давомийлиги аниқланди, шу билан бирга наъматак мевасининг эти таркибидаги эркин органик кислоталарни вакуум ИҚ қуритиш қурилмасида $9,7$ мг% сақлаб қолиниши аниқланди.

Лаборатория таҳлил натижаларига кўра барча қуритиш усуллари ичида вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш қурилмаси қўлланилганда топинамбур туганаги ва наъматак меваси таркибидаги БФМ юқори даражада сақланиб қолиши аниқланди.



1-тажриба асосида 2-ҳисоблаш асосида.

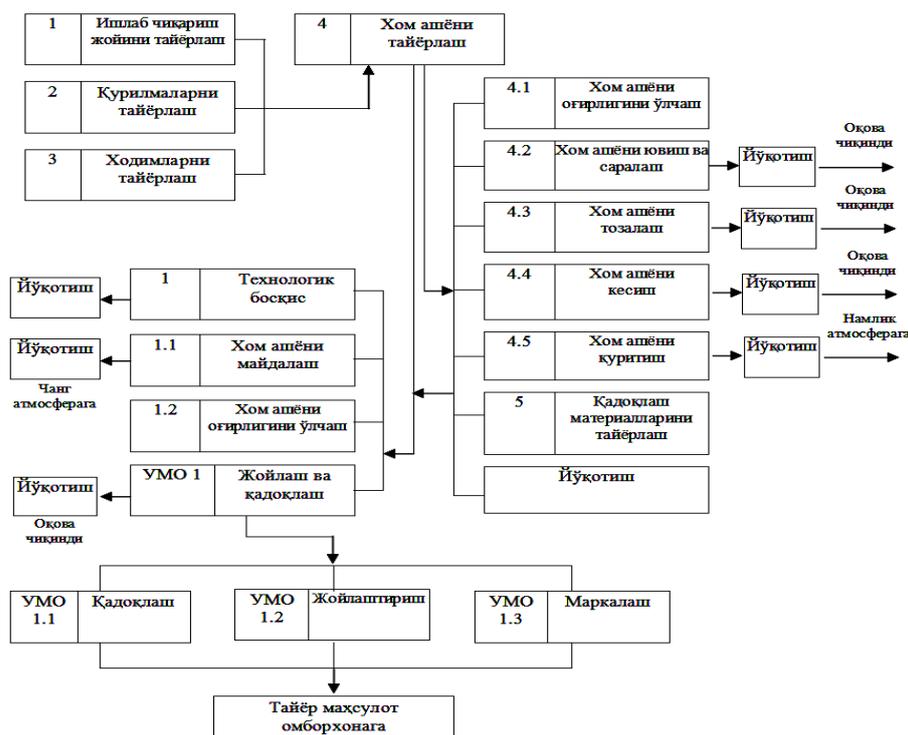
10-расм. Тадқиқот материалларини қуритишнинг умумлашган эгри чизиқлари

Маҳсулотларни (топинамбур туганаги ва наъматак меваси) сорбция ва бошқа хусусиятларидан фойдаланган ҳолда, бажарилган ишларда келтирилган маълум қўлланмалардан тадқиқот материали учун (U , $N\tau$) координата ўқларида, умумлашган эгри чизиғи олинди (10-расм).

10-расмдан кўриниб турибтики, тажриба ва назарий ҳисоблашлар асосида тузилган қуритишнинг умумлашган эгри чизиқлари деярли мос келади ва материалнинг талаб қилинаётган сўнгги намлик параметри $N\tau < 1$ бўлади.

Қуритиш жараёнини иссиқлик техникаси принциплари асосида расмийлаштириш ва материалларнинг (портлаш ҳавфи, ёпишқоклиги, парчаланиши каби специфик ва технологик хусусиятларга эга эмаслигини) технологик характердаги чекланишларни ҳисобга олган ҳолда вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш қурилмаси танланади.

Диссертациянинг «Тадқиқ этилаётган материалларни қайта ишлаш технологияси учун саноат шароитида жараён ва қурилмаларни татбиқ этиш» деб номланган тўртинчи бобида саноат шароитида ишлаб чиқариш мақсадида топинамбур туганаги ва наъматак мевасини қайта ишлаш технологик тизими ишлаб чиқилган (11-расм).

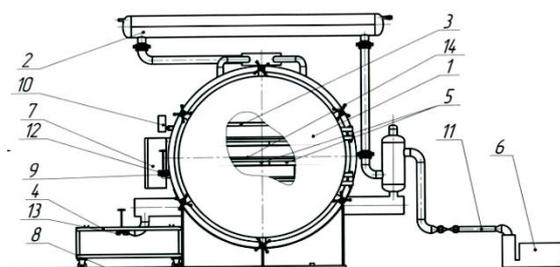


11-расм. Топинамбур туганаги ва наъматак мевасини ишлаб чиқариш технологик схемаси

Наъматак мевасини қайта ишлаш жараёнида берилган технологик тизимда 4.2 ва 4.4 операциялар амалга оширилмайди.

12-расмда вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш қурилмасининг тажриба саноат намунасининг схемаси келтирилган. Қуритилаётган маҳсулот

қиздириш учун тўрлар аввалдан жойлаштирилади. Қурилмада вакуум ҳосил бўлгандан сўнг, намликнинг буғланиши учун қиздириш элементлари орқали иссиқлик энергияси етарли миқдорда берилади. Сув буғлари конденсаторнинг совутиладиган юзаси томон ҳаракатланиб конденсатланади ва қисман конденсатланмайдиган газлар билан биргаликда вакуум-насос ёрдамида ташқарига чиқиб кетади. Бундай тизимда жараённинг нормал ўтиши учун қуритгич ва конденсатор ўртасида сув буғларини босим тафовутини ташкил этиш лозим.



1-вакуум камера; 2-иссиқлик алмашгич; 3-кўчма ИҚ қуритиш шкафи; 4-арава; 5-қайта ишланаётган маҳсулот учун идиш; 6-электродвигателли вакуум насос; 7-бошқарув блоки; 8- шкаф учун йўл; 9-ҳароратни ўлчаш учун термомпара; 10-манометр; 11-юқори босим қувури; 12-ҳаво киритиш жўмраги; 13-конденсат чиқариш жўмраги; 14-ИҚ нурлатгич.

12-расм. Вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритиш қурилмасининг саноат-тажриба намунаси

Топинамбур туганаги ва наъматак мевасини қайта ишлаш технологик схемасини яратиш учун кўшимча қурилмалар ишлаб чиқилди.

Ишлаб чиқилган тегирмон совуқ сув ва ҳаво ёрдамида корпусни совитувчи системага эга.

Ишлаб чиқилган технологик тизим «Доривор ўсимликлар» МЧЖ ва Абу Али ибн Сино номидаги ихтисослаштирилган давлат ўрмон хўжалигида жорий қилинган (11-расм). Ушбу технологик тизим орқали сифатли маҳсулот олишга эришилди; маҳсулотнинг бир меъёردа қуриши таъминланди; комплекс қайта ишлаш ҳисобига ишлаб чиқариш унумдорлиги оширилди, қурилмаларнинг ишончилиги оширилди, хомашё исроф бўлиши камайтирилди, операцияларнинг иш кўлами камайтирилди ва янги иш ўринлари яратилди.

ХУЛОСА

1. Қишлоқ хўжалиги маҳсулотлари топинамбур туганаги ва наъматак мевалари қуритиш ва иссиқликни фаоллаштиришни замонавий ҳолати таҳлил қилинди ва инновацион ривожлантириш, такомиллаштириш ғояси аниқланди. Топинамбур туганаги ва наъматак меваларини ҳар томонлама қайта ишлашда кўпроқ қўлланилаётган замонавий жараён ва қурилмалар кўриб чиқилди. Топинамбур туганаги ва наъматак меваларини қуритишни кўпроқ аҳамиятли усулларида бири ИҚ қиздириш усулида қуритиш бўлиб қайта ишланаётган хомашёни турли технологик ёндашувлар орқали жараён самарадорлигига эришиш капилляр-ғовак материал топинамбур туганаги ва наъматак меваларини сувсизлантириш эканлиги кўрсатилди.

2. Ўрганилаётган маҳсулотларда капилляр ғовакларда намликнинг жойлашиши математик моделлаштириш ишлаб чиқилиб, татбиқ этилди ва

эриган моддаларнинг ички тарқалишини ҳисобга олиш зарур эканлиги кўрсатилди ҳамда берилган бошланғич шароитларда қуритиш жараёни қонуниятлари динамикаси ички тузилиш деворлари капилляр каналларда сорбция ва десорбция кўринишлари аниқланди. Бу кўринишлар намнинг микдорий буғланишини ўзгариши биргаликда ва ўз навбатида кристаллашган ва адсорбированган моддалар юза бўйлаб бир маромда тарқалишига олиб келади. Ўрганилаётган маҳсулотнинг капиллярлари ички босими орасидаги ночизиқ боғланишлар, ҳаракатнинг гидродинамик тезлиги, температура ҳамда маҳсулот зичлиги билан боғлиқлиги ўрганилди.

3. Қуритиш жараёнига ташқи омилларни таъсирини (ИҚ нурлар, тебранишлар, вакуум даражаси) ўрганиш юзасидан тажрибалар ўтказилди. Тажиба статистик маълумотларига ишлов бериш ва математик моделлаштириш корреляцион коэффициентларини параметрик идентификациялаш бажарилди. Математик моделлаштириш ўзгармас микдор ўхшашликлари корреляцион коэффициентлари ва тажибадаги статистик маълумотлар бажарилди.

4. Сувсизлантирилаётган манбага нурлантириш кучи таъсир этиши манба ва нурлантирувчи орасидаги масофага боғлиқлиги аниқланди ҳамда нурлатувчилар оралиғи ва вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритиш қурилмасида инфракизил нурларни сувсизлантирилаётган маҳсулотлар юзасида бир текисда тарқалишига эришиш усуллари мувофиқ жойлаштирилган конфигурацияли кўрсатувчи элементлар ёрдамида аниқланди.

5. Топинамбур туганагининг сорбция ва десорбция тавсифлари аниқланди, капиллярларнинг солиштирма юзаси $18,38 \text{ м}^2/\text{г}$ ташкил қилади. Бу ҳолда вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритиш шароитида топинамбур ғоваклари йиғинди микдори $0,440 \text{ см}^3/\text{г}$ ташкил этади. Наъматак меваси учун сорбция ва десорбция тавсифлари: - капиллярларини солиштирма юзаси $12,30 \text{ м}^2/\text{г}$ ташкил қилади. Бу ҳолда ғовакларнинг йиғинди микдори $0,390 \text{ см}^3/\text{г}$ ташкил қилади.

6. Қуритилаётган маҳсулотнинг иссиқликтехник ва сорбцияланиш хусусиятларини ўрганиш бўйича изланишлар натижаларида қуйидагилар аниқланди: керакли иссиқлик даражаси, қуритиш вақти ва ИҚ нурланишли вакуум-қуритиш қурилмаси. Лаборатория қурилмасида ўтказилган илмий тадқиқот натижаларига асосан вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш қурилмаси ҳисоблаш усули яратилди.

7. Маҳсулотнинг мақбул қалинлиги ўртача 2-2,5 мм эканлиги аниқланди. Маҳсулотни катта қалинликда бўлиши, маҳсулот секин қизиши ва қуритиш вақти сезиларли даражада ортишига олиб келади, кичик қалинликда эса-маҳсулот керагидан ортиқ даражада қизийди.

8. Меваларни вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритиш жараёни учун берилаётган қувват катталиги муқобиллаштириш зарурлиги кўрсатилди, лекин маҳсулотни фойдали озуқа моддаларини йўқолишигача қизимасдан тез сувсизланиши лозим. 2-2,5 қалинликдаги қатлам учун энг мақбул тўлқин узунлиги 3 мкм белгиланди, ушбу ҳолатда вакуум $-0,8 \text{ атм}$ ташкил қилади, маҳсулотни қуритиш ҳарорати $65-70^\circ\text{С}$ дан ошмайди, маҳсулотнинг

сувсизланиш вақти мумкин бўлган катталиқни ташкил қилиши кераклиги белгилаб берилди.

9. Технологик жараёнида титраш таъсирини тажриба изланишларда ўрганиш натижаларига кўра сувсизлантиришнинг самарадорлиги маълум частота ва амплитудада узлуксиз қиздириш шароитида 40% фоизга ошиши аниқланди. Топинамбур майдаланган ҳолатда вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритишда инулиннинг сақланиши 45,4 мг%ни ва топинамбур туганаги бўлакларида – 38,75%ни ташкил қилиши аниқланди. Ушбу ҳолатда наъматак меваси эти таркибида вакуум ИҚ қиздириш орқали қуритилганда 0,77 мг% аскорбин кислотаси сақланиши наъматакнинг меваси уруғида – 4,0 мг% аскорбин кислота сақлангани аниқланди.

10. Топинамбур туганаги ва наъматак меваларини вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритилганда, қуритилган маҳсулотлар юқори даражада озукавий ва энэргетик қийматга эга эканлиги олиб борилган изланишлар натижасида аниқланди. Қуритиш жараёнида ИҚ қиздиришдан фойдаланиш, нафақат ишлаб чиқариш қувватининг ошишига ва энэргия сарфини камайтиришга олиб келади, витаминлар таркибини тўлақонли сақланиши ва бошқа биологик фаол моддаларни (инулин ва аскорбин кислота) маҳсулот таркибида сақланиши аниқланди.

11. Вакуумда ИҚ қиздириш орқали қуритиш қурилмасини қўллаш орқали қуритилган топинамбурдан кукун олиш учун болғали тегирмон ва сепоратор қўлланиладиган комплекс технологик тизим модернизациялаштирилди. Олинган натижаларга асосан топинамбурнинг «Мўъжиза» навидан кукун ишлаб чиқариш технологик регламенти яратилди.

12. Диссертацияда яратилган ва олинган натижаларни татбиқ этишнинг иқтисодий самарадорлиги топинамбур туганаги ва наъматак меваси таркибидаги биофаол моддаларни сақлаган ҳолда қайта ишлаш технологияси «Ўзфармсаноат» Давлат акциядорлик концерни ва Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлиги тизимларига кирувчи корхоналарда жорий этилган («Ўзфармсаноат» Давлат акциядорлик концернининг 11.30.2015 йилдаги №МД-06/1868-сонли ва Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлигининг 10.09.2015 йилдаги №06/14-893-сонли маълумотномалари). Вакуумда ИҚ нур ёрдамида қуритиш технологиясини қўллаш натижасида ишлаб чиқариш қуввати 1,2 мартагача кўтарилиши ҳисобига умумий ўртача йиллик иқтисодий самара 233 млн. сўмни ташкил этган.

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

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

САФАРОВ ЖАСУР ЭСИРГАПОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ КЛУБНЕЙ
ТОПИНАМБУРА И ПЛОДОВ ШИПОВНИКА С СОХРАНЕНИЕМ
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

**02.00.16 – Процессы и аппараты химических технологий и пищевых производств
(технические науки)**

АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

ТАШКЕНТ – 2016

Тема докторской диссертации зарегистрирована за №№30.09.2014/В2014.5.Т322 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

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

**Научный
консультант:**

Норкулова Карима Тухтабаевна
доктор технических наук, профессор

**Официальные
оппоненты:**

Эшқувватов Бегмамат Тешаевич
академик АН РУз, доктор технических наук, профессор

Мухиддинов Джалалиддин Насырович
доктор технических наук, профессор

Нурмухамедов Хабибулла Сагдуллаевич
доктор технических наук, профессор

**Ведущая
организация:**

Бухарский инженерно-технологический институт

Защита диссертации состоится 30 апреля 2016 г. в 10⁰⁰ часов на заседании научного совета 16.07.2013.Т.02.01 при Ташкентском государственном техническом университете и Институте энергетики и автоматики по адресу: 100095, г.Ташкент, ул.Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер 13). Адрес: 100095, Ташкент, ул.Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан 29 марта 2016 года.
(протокол рассылки №2 от 29 марта 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

Ш.М.Гулямов

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. На сегодняшний день во всём мире одной из важных задач считается обеспечение населения пищевыми продуктами и пищевой безопасностью. Перспективное развитие реализации инновационных технологий пищевых продуктов и лекарственных растений с целью качественной переработки с сохранением биологически активных веществ приобретает всё большее значение. В том числе, для создания конкурентноспособных качественных продуктов разного вида во внешнем и внутреннем рынках необходимо внедрить новые технологии в производство. В связи с этим в странах мира проводятся научные исследования совершенствованию производственных экологически чистых и безотходных технологий, получению продуктов различного вида и широкому использованию их в промышленных отраслях. Одним из таких источников являются клубни топинамбура и плоды шиповника.

В последние годы выращиванию клубней топинамбура и плодов шиповника уделяется большое внимание. Шиповник как плоды, так и топинамбур как корнеплодное растение - хорошо адаптированы к экологическим условиям, имеют редкие химические свойства, малозатратны в производстве, универсальны при использовании, устойчивы к заболеваниям и вредителям. Клубни топинамбура и плоды шиповника считаются многолетними лекарственными растениями. Клубни топинамбура богаты веществом инулина, а плоды шиповника богаты аскорбиновой кислотой, поэтому эти растения широко используют в пищевой и фармацевтической промышленности в качестве биоактивной пищевой добавки. Так как сырьё невозможно долго хранить, требуется его переработать, сохраняя биоактивные вещества.

Клубни топинамбура и плоды шиповника, имеющие сложную полидисперсную систему, включающие в свой состав сахара, органические кислоты, соли, минеральные вещества, инулин, макро- и микроэлементы, клетчатку (вещество, состоящее из растительных клеток), пектин, витамины, эфирные масла, крахмал, углеводы, белок, аминокислоты и другие вещества, необходимо перерабатывать, сохраняя их свойства. В процессе выпаривания и обезвоживания продуктов белок коагулируется, пектин разлагается, сахаристые вещества карамелизируются и образуются другие физическо-химические процессы. В процессе переработки чем выше температура, тем выше активность химических процессов, в результате чего происходит разложение биологически активных веществ.

В связи с этим требуется улучшение качества продукта, сокращение времени и трудовых затрат и совершенствование основных технологических процессов и устройств в процессе переработке сырья.

Данная исследовательская работа служит для реализации задач, определенных Постановлением Президента Республики Узбекистан от 26 января 2009 года №ПП-1047 «О дополнительных мерах по расширению

производства продовольственных товаров и насыщению внутреннего рынка» и Постановлением Президента Республики Узбекистан от 31 октября 2011 года №ПП-1633 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организации управления и развитию пищевой промышленности республики в 2012-2015 годах».

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики: № 5. «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды» и № 6. «Медицина и фармакология», ППИ-9 «Создание высокоэффективных экологически чистых агротехнологий производства сельскохозяйственной продукции, методов их хранения, переработки и средств борьбы с болезнями и вредителями» и ППИ-11 «Разработка высокоэффективных технологий производства новых лекарственных средств на основе местного природного и синтетического сырья».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации. По методам сушки капиллярно-пористых пищевых продуктов и сохранения их биологически активных веществ, а также по методам математического моделирования и разработки устройств и технологий исследования проводятся во многих передовых высших учебных заведениях и научных учреждениях, в том числе, University of Georgia (АКШ), Laval University (Канада), Technical University of Berlin и German Institute of Food Technologies (Германия), Federal University of Santa Catarina (Бразилия), University of Extremadura (Испания), Ataturk University и Middle East Technical University (Туркия), Mutah University (Иордания), National University of La Plata (Аргентина), Aleksandras Stulginskis University (Литва), Московском государственном университете пищевых производств и Краснодарском НИИ переработки и хранения сельскохозяйственных продуктов (Россия).

Для повышения эффективности процесса сушки по получению качественных продуктов получен ряд научно-практических результатов, в том числе: по сушке растений и фруктов на открытом воздухе и определении физико-химических изменений (University of Georgia); по разработке сушки пищевых продуктов с помощью тёплого воздуха и охлаждения (Laval University); определены методы получения функциональных продуктов с помощью сушки на основе физико-химических свойств фруктов, овощей и растений (Technical University of Berlin и German Institute of Food Technologies); изучено влияние вакуума на процесс сушки продуктов (Federal University of Santa Catarina); определено влияние инфракрасных лучей на процесс сушки (University of Extremadura); изучено сохранение аскорбиновой кислоты в составе плодов шиповника в процессе сушки (Ataturk University); разработан способ сушки топинамбура с помощью ультрамикроволн (Middle East Technical University); усовершенствован процесс измельчения сырья в мельнице (Mutah University); разработана сушильная установка и технология сушки плодов шиповника с потоком горячего воздуха (National University of

La Plata); определено изменение качества топинамбура в процессе переработки и хранения (Aleksandras Stulginskis University).

В настоящее время в мире по производству функциональных пищевых продуктов проводятся научные работы в приоритетных направлениях, в том числе: сохранение качества продукта с помощью сушки; сушка продуктов с применением инфракрасных лучей; разработка пищевых продуктов с высоким содержанием биологически активных веществ; совершенствование способов сушки продуктов (конвективной, кондуктивной, инфракрасной, с ультравысокой частотой); определение внутреннего давления сушильной камеры (атмосферной, вакуумной, сублимационной); разработка методов движения агента сушки (естественный, искусственный); совершенствование методов сушки по виду обезвоживаемого продукта (твёрдого, жидкого и пастообразного).

Степень изученности проблемы. Исторические исследования, посвященные данному вопросу, проводились такими учеными, как Лыков А.В., Гинзбург А.С., Илясов Р., Левитин И.Б., Салимов З.С., Сафаров О.Ф. Ими были проведены исследования по изучению теории процесса сушки, влиянию инфракрасных лучей на этот процесс.

В различных регионах мира проводились научные исследования по производству продуктов с биоактивным качеством и совершенствованию процесса сушки: Paes S., Karacabey E., Ben Ch.M., Natalia A., Ghaid Jameel Al-Rabadi, Ghiaus A.G., Marquez C., Saliha Erenturk, A.Ruiz Celma, Ratti C., Kunzek H., Veerachandra K. и другие.

По методам сушки материалов, теплообменным процессам, совершенствованию установки и процесса сушки и получению качественного продукта проводили научные исследования: Алтухов И.В., Шаззо Р.И., Зуев И.А., Лебедев П.Д., Артиков А.А., Додаев Қ.О., Джураев Х.Ф., Искандаров З.С., Мухиддинов Д.Н., Мухамедов Б.И., Норкулова К.Т., Нурмухамедов Х.С., Рахимов Р.Х., Шаймардонов Б.П., Юсупбеков Н.Р. Для получения продуктов, содержащих биологически активные вещества, приходится совершенствовать процессы и устройства. В настоящее время приобретает актуальность создание усовершенствованной комплексной технологической системы переработки клубней топинамбура и плодов шиповника при сохранении и высоком содержании биоактивных веществ.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения. Связь данной диссертационной работы с научно-исследовательскими работами Ташкентского государственного технического университета отражена в следующих проектах: ИОТ-2013-6-08 - «Получение чая и масла из плодов шиповника с высоким содержанием биологически активных веществ» (2013-2014 гг.) и А9-ФҚ-1-15580-КА9-011 - «Создание агро- и биотехнологических сортов топинамбура «Файз барака» и «Мужиза», их хранение, безотходная переработка на основе высокоэффективной технологии с целью производства импортозамещающей и экспорто- ориентированной экологически чистой продукции» (2012-2014 гг.)

Целью исследования является совершенствование разработки технологии для переработки клубней топинамбура и плодов шиповника с использованием вакуумной сушилки с ИК-нагревом, обеспечивающей повышение энерго-технологической эффективности установки и сохранение биологически активных веществ.

Задачи исследования:

критически исследовать теории и технологии переработки продуктов питания (клубней топинамбура и плодов шиповника) сегодняшнего дня и создание установки и технологии для переработки исследуемого продукта обезвоживание изучаемого продукта и определение основных показателей для создаваемой технологии;

разработать эффективную технологическую схему переработки клубней топинамбура и плодов шиповника;

исследовать виды связи влаги в материалах и определить технологические, механические, химические, пищевые, теплофизические и биологические свойства клубней топинамбура и плодов шиповника;

разработать закономерности теплообмена в процессе сушки с учетом нелинейных явлений и динамики теплового лучистого инфракрасного нагрева и тепловой активации исследуемых материалов;

разработать математическую модель движения влаги в капиллярах пор исследуемых материалов процесса распределения микроэлементов в продуктах при их сушке;

осуществить моделирование и оптимизацию процесса обезвоживания излучением при сушке клубней топинамбура, также плодов шиповника и предложить методы расчета рационального выбора расположения ИК-излучателей в сушильном шкафу;

разработать и создать опытно-промышленную вакуумную сушильную установку с ИК-нагревом для исследования процесса сушки клубней топинамбура и плодов шиповника с определением эффективных технологических режимов в соответствии с биотехнологическими условиями нагрева сырья;

усовершенствовать узлы вакуумной сушильной установки с ИК-нагревом и определить рациональные режимы излучения с целью уменьшения энергетических потерь, с позиций системного анализа выявить основные параметры и их взаимовлияние на технологические режимы переработки и сушки;

разработать технологию переработки клубней топинамбура и плодов шиповника и создать опытно-промышленную мельницу с целью получения порошка из сушеных клубней топинамбура и плодов шиповника с аэродинамическим сепаратором;

внедрить разработки в промышленное производство, полученные в ходе выполнения результатов диссертации и рекомендаций.

Объектом исследования является технология переработки клубней топинамбура и плодов шиповника – продукция сельского и лесного хозяйств

с обеспечением сохранности биологически активных веществ при переработке и сушке с минимальными затратами энергии и времени.

Предмет исследования состоит из вакуум-сушильной установки с ИК-излучением, закономерностей свойственных обезвоживанию, техники и технологии сушки.

Методы исследования. В диссертации применены химические и пищевые технологии процессов и устройств, способы математического моделирования и измерительно-контрольные приборы для оптимизации процесса.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

создана энерго-эффективная технология переработки клубней топинамбура и плодов шиповника, определены химические, тепло-технические и биологические свойства;

разработан оптимальный способ сушки в вакууме с ИК-излучением с помощью модели нелинейного динамического вида процесса для переработки клубней топинамбура и плодов шиповника на основе технологических закономерностей сушки;

предложена технологическая схема, которая дает возможность создания результативного процесса переработки и увеличения точности вычисления коэффициентов, также определены свойства нелинейного распространения тепла в процессе сушки дискретным способом;

разработан технологический режим перемещения влаги и микроэлементов, движущихся по одному направлению в капиллярах за счет управления процессом сушки для получения биоактивной добавки;

разработано обеспечение полностью ровного распространения ИК-лучей в капиллярно-пористых материалах с помощью специальных отражателей в сушильной установке, где мощность облучения зависит от расстояния излучателя до продукта, оптимальной длины волны и толщины продукта;

разработана технология получения порошка с помощью нового вида мельницы с охлаждающей системой, также определено давление вакуума и оптимальная температура сушки в вакуумной установке с ИК-излучением для сушки клубней топинамбура и плодов шиповника с сохранением биоактивных веществ.

Практические результаты исследования обосновываются в следующем:

разработано технологическое устройство с помощью вакуума, ИК-лучей для получения качественных готовых продуктов на основе теоретических и практических исследований;

разработана вакуум-сушильная установка с ИК-нагревом на основе полученных научных результатов;

определено ускорение процесса сушки до 40% с применением вибрации;

применены результаты для создания установок в пищевую, фармацевтическую промышленность, в фермерские и лесные хозяйства;

предлагаемый метод в технологии сушки отличается тем, что он с экономической стороны намного дешевле, чем остальные, расходуемая

энергия за влажную единицу мала;

определено в 3-4 раза большее сохранение содержания инулина - 45,4 мг% в сушеном порошке топинамбура и 0,77 мг% аскорбиновой кислоты в высушенном порошке шиповника;

разработана программа математической модели для процесса сушки в программе C++ Builder 6.0;

разработано техническое условие для использования вакуум ИК-сушильной установки;

разработан для применения и утвержден в производство ГАК «Ўзфармсанокат» временно рекомендованный технологический регламент на производство порошка из клубней топинамбура сорта «Мужиза» и плодов шиповника.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов оптимизации технологии сушки и метод исследования математически моделированы, разработаны обоснования предложения для совершенствования технологии сушки сырья растительного происхождения в соответствии с предложениями и рекомендациями, в последствии внедренными в практику, полученные результаты были подтверждены полномочными структурами.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования определяется на основе полученных результатов переработки клубней топинамбура и плодов шиповника с помощью вакуума с ИК-нагревом с сохранением биологически активных веществ с целью совершенствования технологии для улучшения процессов модернизации общества.

Практическая значимость работы заключается в результате применения технологических линий для переработки клубней топинамбура и плодов шиповника с сохранением биологически активных веществ в составе продукта и за счет минимизации потерь во время переработки сырья, что повышает мощность производительности промышленных производств.

Внедрение результатов исследования. Технология переработки клубней топинамбура и плодов шиповника при сохранении биологически активных веществ внедрена в Государственном акционерном концерне «Ўзфармсанокат» и предприятиях, входящих в систему Министерства сельского и водного хозяйства (справка Государственного акционерного концерна «Ўзфармсанокат» от 11.30.2015 года МД-06/1868 и Министерства сельского и водного хозяйства от 10.09.2015 года 06/14-893). В результате применения технологии сушки в вакууме с ИК-излучением производительность повысилась на 20%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования изложены в виде лекции и прошли апробацию на 25 международных и республиканских, научно-практических конференциях, в том числе: «Инновация» (Ташкент, 2007-2009, 2014, 2015); «Высокие технологии XXI века» (Москва, 2008); «Технологии переработки местного сырья и продуктов» (Ташкент, 2008); «Экологически чистые ресурсосберегающие

технологии выращивания, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» (Ташкент, 2009); «Актуальные проблемы химии природных соединений» (Ташкент, 2010, 2015); «Green Growth Strategy of SMEs (Small and Medium sized Enterprises) in the New Silk Road Countries» (Korea, 2010); «Современное состояние и перспективы развития энергетики» (Ташкент, 2011); «Передовые технологии в пищевой промышленности» (Бухара, 2011-2012); «Роль технологии, науки и техники в создании сильного гражданского общества и модернизация страны» (Андижан, 2011-2014); «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2013, 2015); «International scientific conference UNITECH» (Gabrovo, Bulgaria 2013-2015); «World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation – WCIS-2014» (Tashkent, 2014); «Practice and research in private and public sector–2014» (Vilnius, 2014-2015); «Актуальные проблемы отраслей химической технологии» (Бухара, 2015); «Биотехнология: состояние и перспективы развития» (Москва, 2015); «Multimedia Information Technology and Applications – MITA-2015» (Korea-Uzbekistan, 2015).

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы всего 42 научных работы. Из них 2 монографии, 14 научных статей, в том числе 7 в республиканских и 7 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций. Получен 1 патент на изобретение.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений. Объем работы составляет 195 страниц, включает 45 рисунков, 25 таблиц и использованы 243 источника литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние проблемы технологии переработки пищевых продуктов (на примере клубней топинамбура и плодов шиповника)»** проведен анализ современного состояния технологии переработки пищевых продуктов (на примере клубней топинамбура и плодов шиповника) и показано, что в технологической схеме основным элементом является процесс сушки, определяющий качество конечного продукта. Анализ существующих проблем технологии для переработки продукции клубней топинамбура и плодов шиповника, свидетельствует о том, что одним из наиболее перспективных способов сушки, при котором сохраняются полезные компоненты, следует признать вакуумную сушку с применением инфракрасных излучателей - в качестве предпочтительного источника нагрева обрабатываемой продукции; изложено состояние проблем математического моделирования; при сушке влажных материалов происходят одновременно два процесса: испарение влаги (массообмен) и перенос тепла (теплообмен); сушка влажных материалов включает в себя вопросы переноса тепла и массы внутри тела (внутренняя задача) и в пограничном слое на границе раздела фаз (внешняя задача); результирующая интенсивность сушки зависит от условий переноса тепла и массы внутри тела и на границе раздела фаз; интенсивность сушки максимальна, когда возможность переноса тепла и массы в пограничном слое соответствует возможности перемещения влаги и тепла внутри тела; на интенсивность сушки влияют внешние условия тепла и массы и условия переноса влаги и тепла внутри тела (малые коэффициенты диффузии или теплопроводности и др.); в ряде случаев испарение и сублимация из капиллярно-пористых тел сопровождаются образованием зоны фазового перехода не на поверхности, а внутри капиллярно-пористого тела.

Оценивая современное состояние вопросов анализа конструкций сушильных установок, получивших распространение в агропромышленном комплексе страны, способов сушки, можно заключить, что существуют проблемы, требующие создания новых промышленных способов сушки клубней топинамбура и плодов шиповника.

Во второй главе диссертации «**Разработка математическое моделирование процессов сушки капиллярно-пористых материалов растительного происхождения**» приведены результаты моделирования процессов сушки капиллярно-пористых растительного происхождения, а также представлено теоретическое исследование процессов сушки клубней топинамбура и плодов шиповника. Разработана математическая модель процессов сушки капиллярно-пористых материалов растительного происхождения как перемещения влаги в капиллярных порах исследуемых материалов. Показано, что реальные процессы требуют учета внутреннего перераспределения растворенных веществ, в том числе и динамики подобной перегруппировки.

В диссертационной работе приведены материальный и тепловой балансы процесса сушки. При оценке кинетических констант пользовались кривыми сушки, получаемыми экспериментальными приемами и представленными в виде зависимостей влагосодержания u от времени t (или скорости сушки $du/d\tau$ от τ).

Известно несколько подходов к формализации механизма переноса влаги из объема сырья в окружающий воздух, использующие или игнорирующие представления о движущемся внутри частицы фронте испарения: диффузионный, капиллярный и свободный.

При рассмотрении периода постоянной скорости сушки придерживаются точки зрения о том, что на поверхности частицы имеет место состояние фазового равновесия, при котором частица обрабатываемого материала окружена пленкой влаги. При этом воздух над последней находится в состоянии насыщения и, следовательно, обладает температурой мокрого термометра. В таком случае скорость сушки определяется по психрометрическим данным, состоянием внешней окружающей среды и условиями обезвоживания, а полный поток влаги выражается посредством объемного коэффициента массоотдачи β_x :

$$-du/d\tau = j = const = \beta_x (x_r - x) = \beta_x (x^* - x), \quad (1)$$

где x_r - влажность воздуха кг/кг на границе частицы, принимаемая равной величине равновесной влажности x^* ; x - влажность воздуха в объеме сплошной фазы.

Из полученных экспериментальными приемами параметров потока влаги (мин^{-1}) при различных значениях температур можно найти величину коэффициента влажности β_x в виде тангенса угла наклона кривой сушки в первом периоде:

$$\beta_x = j/(x^* - x). \quad (2)$$

Парциальные давления насыщенных паров P при разных T находятся из соответствующих таблиц, а мольные доли m определяют как

$$m^* = P_t^* / P_{атм}; \quad m = P_{то}^* \varphi / P_{атм}, \quad (3)$$

где $P_{атм}$ - атмосферное давление (760 мм рт. ст);, φ - относительная влажность воздуха, оцениваемая по температуре окружающей среды T_0 и температуре мокрого термометра T_m .

В этом случае влажности x^* и x будут выражаться как

$$x^* = \frac{M_B}{M_{\text{возд}}} \frac{m^*}{(1-m^*)}, \quad (4)$$

$$x = \frac{M_B}{M_{\text{возд}}} \frac{m}{(1-m)}, \quad (5)$$

где M_B - молекулярная масса воды; $M_{\text{возд}}$ - молекулярная масса воздуха.

Математическая обработка экспериментальных данных, полученных при различных температурах, обычно выражается зависимостью $\beta_x = f(T)$.

Критическое время, которое соответствует завершению первого периода сушки, определяется по уравнению:

$$\tau_{\text{кр}} = (u_0 - u_{\text{кр}}) / j. \quad (6)$$

Второй период процесса сушки начинается при достижении критического влагосодержания $u_{\text{кр}}$, при котором на поверхности материала образуются своеобразные сухие островки. Если принять, что все поры в частице и влага в них распределены равномерно и считать, что в рассматриваемом периоде сопротивление массопереносу целиком сосредоточено внутри объема материала, а влага, подводимая к поверхности частиц сырья, отводится моментально, то механизм массопереноса можно формализовать в сферических координатах с помощью уравнения нестационарной диффузии:

$$\varepsilon \frac{\partial u}{\partial \tau} = D_{\text{эф}} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial u}{\partial \rho} \right). \quad (7)$$

Здесь u - влагосодержание материала в момент времени t на расстоянии ρ от центра частицы; ε - пористость частицы; $D_{\text{эф}}$ - обобщенный усредненный коэффициент диффузии.

При этом начальные и граничные условия выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} \tau = 0, & \quad 0 < \rho < R, & \quad u = u_{\text{кр}}, \\ \tau > 0, & \quad \begin{cases} \rho = R, \\ \rho = 0, \end{cases} & \quad \begin{cases} u = u_{\Gamma}, \\ du / d\rho = 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь $\tau = 0$ соответствует времени начала второго периода сушки, а u_{Γ} характеризует влагосодержание на границе, равновесное с содержанием влаги в окружающем воздухе.

Следуя методу Фурье, решение уравнения (7) можно представить в виде произведения двух независимых функций, одна из которых зависит только от времени, а вторая - только от координаты, т. е.

$$y(\tau, \rho) = T(\tau) R(\rho) \quad (9)$$

или

$$\frac{1}{D} \frac{\partial T}{\partial \tau} R = T \frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} T \frac{\partial R}{\partial \rho} = T \left(\frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial R}{\partial \rho} \right). \quad (10)$$

Таким образом, перенося в левую часть уравнения все члены, зависящие от времени, а в правую часть – все члены, зависящие от координаты, получаем, что каждая из частей должна быть равна константе:

$$\frac{1}{D} \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial R}{\partial \rho} \right) = -\lambda. \quad (11)$$

Из последнего равенства следуют два уравнения.

Обратимся к каждому из них в отдельности:

$$1) \frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial R}{\partial \rho} + \lambda R = 0. \quad (12)$$

Осуществим замену переменной $v = \rho R$. В результате имеем:

$$\frac{dv}{d\rho} = R + \rho \frac{dR}{d\rho}, \quad \frac{d^2 v}{d\rho^2} = \frac{d^2 R}{d\rho^2} + \rho \frac{d^2 R}{d\rho^2} + \frac{dR}{d\rho}, \quad (13)$$

$$\frac{d^2 v}{d\rho^2} - \frac{1}{\rho} \frac{dv}{d\rho} + \frac{v}{\rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{dv/d\rho - v/\rho}{\rho} + \lambda \frac{v}{\rho} = 0. \quad (14)$$

Далее приходим к следующей системе уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d^2 v}{d\rho^2} + \lambda v = 0, \\ v|_{\rho=0} = 0, \\ v|_{\rho=R} = 0. \end{cases} \quad (15)$$

Проанализируем возможные значения λ :

$$A) \lambda > 0, \quad k^2 + \lambda = 0; \quad k_{1,2} = \pm \sqrt{-\lambda} = \pm i\sqrt{\lambda}. \quad (16)$$

Отсюда следует, что

$$v = a \cos \sqrt{\lambda} \rho + b \sin \sqrt{\lambda} \rho. \quad (17)$$

Из граничных условий вытекает:

$$\sin \sqrt{\lambda_n} R_0 = 0. \quad (18)$$

В конечном итоге собственные функции v_n и собственные значения λ_n будут соответственно выражаться

$$v_n = \sin \frac{\rho \pi n}{R_0}, \quad \lambda_n = \left(\frac{\pi n}{R_0} \right)^2, \quad (19)$$

$$y = \sum_{m=1}^{\infty} C_m \exp \left(-\frac{D n^2 \pi^2}{R_0^2} \right) / \rho^{-1} \sin \frac{\rho \pi n}{R_0}. \quad (20)$$

Б) $\lambda = 0, \quad d^2 v / d\rho^2 = 0, \quad k^2 = 0,$

$$v = a\rho + b, \quad b = 0, \quad aR_0 = 0 \Rightarrow a = 0. \quad (21)$$

В) $\lambda < 0, \quad k^2 = -\lambda, \quad k_{1,2} = \pm \sqrt{|\lambda|}, \quad v = ae^{\sqrt{|\lambda|}\rho} + be^{-\sqrt{|\lambda|}\rho},$

$$\rho = 0, \quad 0 = a + b \Rightarrow a = -b \quad (22)$$

$$\rho = R_0, \quad 0 = ae^{\sqrt{|\lambda|R_0}} - ae^{-\sqrt{|\lambda|R_0}}, \quad e^{\sqrt{|\lambda|R_0}} = e^{-\sqrt{|\lambda|R_0}}, \quad (23)$$

$$\sqrt{|\lambda|R_0} = -\sqrt{|\lambda|R_0} \Rightarrow \lambda = 0. \quad (24)$$

Здесь налицо явное противоречие: $a = -b = 0$

2) Решаем второе уравнение:

$$\frac{1}{DT_n} \frac{dT_n}{d\tau} = -\lambda_n \Rightarrow \frac{dT_n}{d\tau} = -\lambda_n DT_n, \quad T_n = \exp\left(-\frac{Dn^2\pi^2}{R_0^2}\tau\right). \quad (25)$$

Для оценки значений коэффициентов используем начальное условие

$$\tau = 0, \quad y = u_{KP} - u_\Gamma. \quad (26)$$

Объединяя решение, имеем

$$y = (u_{KP} - u_\Gamma) \frac{2R_0}{\pi\varphi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R_0^2) \sin \frac{\pi\varphi n}{R_0}. \quad (27)$$

Однако $u = y + u_\Gamma$. Из этого следует

$$u = u_\Gamma + (u_\Gamma - u_{KP}) \frac{2R_0}{\pi\varphi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R_0^2) \sin \frac{\pi\varphi n}{R_0}. \quad (28)$$

Экспериментальными приемами изучают изменения среднего влагосодержания во времени, т. е.

$$\bar{u} = \frac{1}{R} \int_0^R u_\rho d\rho. \quad (29)$$

Используя соотношение (28), можно найти среднюю величину \bar{u} :

$$\begin{aligned} \bar{u} &= u_\Gamma + (u_\Gamma - u_{KP}) \frac{2R}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \sin \frac{\pi\varphi n}{R} \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R^2) \frac{1}{R} \times \\ &\times \int_0^R \frac{\sin(\pi\rho/R)}{\pi\rho/R} d\left(\frac{\pi\rho}{R}\right) = u_\Gamma + (u_\Gamma - u_{KP}) \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \sin \frac{\pi\varphi n}{R} \times \\ &\times \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R^2). \end{aligned} \quad (30)$$

В работе также изучен круг вопросов образования новых состояний перераспределенных компонентов в растворах и их рост (т.е. рост твердой фазы и вариация концентрации по мере движения влаги к поверхности обезвоживаемых продуктов). Изучено одностороннее движение влаги, испарение на одной стороне поверхности (на открытой части капилляра). Показано, что перемещается не только жидкость, но и пары, чем нельзя пренебрегать в условиях вакуум-сушки, поскольку фазовые переходы «жидкость-газ» происходят при относительно низких температурах.

Для того, чтобы изучить данную концептуальную модель, обратимся к нелинейному математическому описанию хроматографии, широко изучаемой в разделах теории нелинейных волн. Предлагаемое нами отличие состоит в том, что у капилляров поперечное сечение меняется, причем, медленнее по сравнению со временем сушки. Рассмотрим именно такую задачу. Пусть в начальный момент капилляр имеет радиус R_0 . По мере снижения роста,

связанного с нагревом и испарением, происходит медленное изменение функции $R=R(t)$, где при $t=0$ $R(0)=R_0$.

Поскольку процесс гладкий, функция от времени является непрерывной функцией своего аргумента t . Поэтому справедливо разложение в ряд Тейлора вокруг точки $t=0$, в результате чего имеем

$$R=R_0(1+\mu t+qx), \quad (31)$$

где μ, q – коэффициенты.

После разложения в ряд Тейлора имеем:

$$R = R_0 \left(1 + \frac{1}{R_0} \frac{\partial R}{\partial \mu t} \mu t + \frac{1}{R_0} \frac{\partial R}{\partial \mu x} qx \right). \quad (32)$$

Поскольку рассматриваемый процесс протекает в сложной среде, применим закон сохранения массы и закон кинетических процессов адсорбции и десорбции в трубочках.

С целью упрощения введем поперечную площадь капилляра, $S = \pi R^2(t)u$ $\frac{S_t}{S} = \lambda - const$. Это означает, что сужение диаметра линейно при $\lambda < 0$. Величина λ зависит от скорости сушки и степени предрасположенности обезвоживаемого материала к набуханию.

Расчеты показывают, что

$$C = \left(\frac{\rho_0 \gamma}{\rho_0 \gamma} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{S_0}{S} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}}. \quad (33)$$

В результате проведенных исследований установлено, что у капилляров во время сушки поперечное сечение меняется медленнее по сравнению с длительностью сушки.

Для построения математических моделей процесса сушки и аналогичных технологических приемов, где имеют место фазовые переходы влаги из одного состояния в другое при наличии микронеоднородностей среды, полиномиальное приближение по динамическим переменным имеет свои ограничения. Основной процесс распределения микроэлементов в обрабатываемом образце заключается в том, что жидкость, несущая растворенные вещества, протекает через неподвижную твердую фазу, а переносимый материал частично адсорбируется твердой фазой. Идеализируя этот процесс, принимаем, что частицы жидкости перемещаются с постоянной скоростью v .

Строгий учет диффузионных процессов усложняет математическую модель адсорбции и вводит в рассмотрение пространственное распределение параметров. Тогда закон сохранения имеет вид:

$$\frac{\partial(\rho_f + \rho_s)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(v\rho_f) = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \quad (34)$$

где h - коэффициент диффузии внутри обезвоживаемого объекта.

Для квазиравновесного случая имеем систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho_f}{\partial t} + c(\rho_f) \cdot \frac{\partial \rho_f}{\partial x} = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \\ c(\rho_f) = \frac{V}{1 + R(\rho_f)}, \\ R(\rho_f) = \frac{K_1 K_2 AB}{[K^2 B + (K_1 - K_2) \rho_f]^2}. \end{array} \right. \quad (35)$$

Уравнения (35) исследованы при условии линейной зависимости скорости c от ρ_f . С помощью замены Коула-Хопфа получили уравнение параболического типа, которое имеет точное решение, отражающее возможность получать высушенные продукты с заранее заданным пространственным распределением микроэлементов, содержащихся в клетках материала.

В процессе сушки, как уже отмечалось выше, при больших градиентах давления жидкости часто образуют микротрещины и способствуют увеличению потока влаги из глубины продукта на его поверхность. Этого также можно добиться искусственным путем, не повреждая биоактивность конечного продукта.

Отмеченные выше процессы перемещения микроэлементов в обезвоживаемых продуктах можно формализовать с помощью соответствующих уравнений. Применительно к рассматриваемому случаю исследуем нелинейное уравнение (34) с помощью метода последовательных приближений.

$$\text{Введем безразмерные параметры: } x' = \frac{x}{L}, \quad t' = \frac{t}{T},$$

где L - толщина материала до сушки; T - максимальное время сушки.

Вместо ρ_f введем $\rho_f^* = \frac{\rho_f}{\rho_f|_{t=0}}$; из (35) получим

$$\frac{\partial \rho_f^x}{\partial t^x} + c^* \frac{\partial \rho_f^x}{\partial x^x} = h^* \frac{\partial^2 \rho_c^*}{\partial x'^2}, \quad (36)$$

где $c^* = c(\rho) \frac{T}{L}$, $h^* = \frac{hT}{L^2}$.

В дальнейшем опускать штрихи с целью сокращения записи, но при этом имеются в виду безразмерные динамически переменные (36). Введем обозначения

$$\begin{aligned} n_f &= N_f^* N_f, \quad n_f = \rho_f, \\ \frac{\partial n_i}{\partial t} + c \frac{\partial n_i}{\partial x} &= h \frac{\partial n_i}{\partial x^2}, \end{aligned} \quad (37)$$

где n_i , c , x , h – новые безразмерные переменные.

Решение нелинейного уравнения (37) осуществляется с помощью метода последовательных приближений.

Пусть $n = n_0(x, t)$ – решение линейного приближения, т.е. решение уравнения (37), когда $c = const$. Оно линейное и имеет решение: $n_0(x, t) = n_0(x - c_0 t)$. Физически это – обычное движение в виде фронта со

скоростью $c_0 = c(n_0)$. Истинное решение можно приближенно записать в следующем виде:

$$n_f = n_{0f}(x, t) + n'_f(x, t). \quad (38)$$

Для (38) имеем

$$\begin{cases} \frac{\partial n'_f}{\partial t} + \Delta c \frac{\partial n'_f}{\partial t} = h \frac{\partial^2 n'_f}{\partial x^2}, \\ \Delta c = c(0)[1 - \Delta R] \end{cases} \quad (39)$$

где ΔR - получим из (35).

Это решение допускает и такую трактовку, что процесс перемещения сопровождается возрастающим по времени скачком. Однако диффузионные явления сглаживают подобные процессы, не доводя их до скачкообразного распределения концентрации. Взаимовлияние этих двух физических явлений определяет тот или иной конкретный механизм перемещения микроэлементов.

В результате использования метода свертки функций для приближенной и аналитической аппроксимаций при решении рассматриваемых уравнений (38) и используя аппроксимационную формулу Лапласа для свертки функций, получим:

$$n = n_0(x, t) + \int_0^t F \left(\xi - \frac{V}{1 + R(n_0)} \right) \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4h(t-\tau)}}}{\sqrt{2h\pi(t-\tau)}} + O(h)^{\frac{3}{2}}, \quad (40)$$

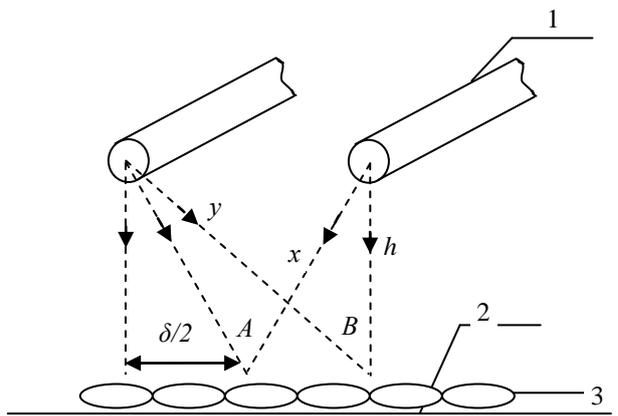
где $F = (n_0)_{xx}$.

Данное уравнение позволяет в достаточной степени учитывать эффекты нелинейности.

Таким образом, на основе анализа поведения микронеоднородностей в процессах обезвоживания продуктов нами были разработаны новые методы интенсификации процесса сушки, способствующие сохранению биологически активных веществ (БАВ) в конечной продукции.

На основе планирования экспериментов изучено влияние внешних факторов (ИК-волны, вибрации, уровень вакуума) на процесс сушки. На основе обработки статистических данных проведенных экспериментов получены математические модели. Установлены коэффициенты корреляции ко времени сушки $r_{1t}=0,84$; $r_{2t}=0,85$; $r_{3t}=0,85$ и энергозатратам $r_{1Q}=0,83$; $r_{2Q}=0,83$; $r_{3Q}=0,63$.

Методами планирования экспериментов выполнены исследования перераспределения кристаллизованных веществ послойно в процессе сушки. В частности, получены кривые распределения инулина в определенном слое топинамбура. Эксперименты показали существенную послойную сепарацию инулина.



1—излучатели; 2—плоскость сетки; 3—сырье.

Рис.1. Инфракрасное поле, создаваемое двумя керамическими параллельными трубками

трубки, т.е. энергия излученных инфракрасных волн на расстоянии r , проходящая через единицу площади за единицу времени, I_0 —полный поток мощности излучателя керамической трубки.

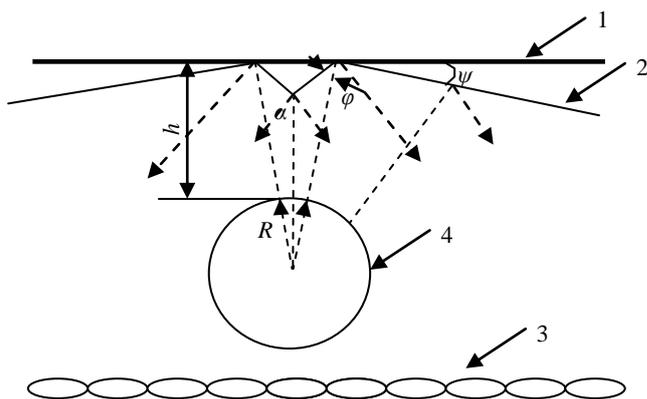
Очевидно, что в точку A направлена мощность облучения $\frac{2I_0}{x^2}$, а в точку B — мощность $\frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{y^2}$. Заметим, что $y^2 = h + \sqrt{x^2 - h^2}$.

При равенстве инфракрасного облучения в этих точках A и B имеем:

$$\frac{2I_0}{x^2} = \frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{h + 2\sqrt{x^2 - h^2}}. \quad (41)$$

Используя обозначение $\xi = \frac{x}{h}$, получим

$$\xi^2 + \xi + 2 = 0, \quad (42)$$



1—направляющая рама; 2—отражатель; 3—сырье; 4—ИК трубка.

Рис.2. Схема фигурного отражателя

Обратится к работе ИК-излучателей. Пусть параллельные керамические трубочки нагревают плоскость, которая состоит из сеточного материала (рис.1).

Для сравнения облучаемых точек A и B выполним вычисления. Цилиндрические излучатели воздействуют с мощностью $I = I_0 \cdot \frac{1}{r^2}$,

где r — расстояние от оси до поверхности цилиндра, равное радиусу, в m , I — поток мощности излучения (в $Вт$) на расстоянии r от

трубки, т.е. энергия излученных инфракрасных волн на расстоянии r , проходящая через единицу площади за единицу времени, I_0 — полный поток мощности излучателя керамической трубки.

Очевидно, что в точку A направлена мощность облучения $\frac{2I_0}{x^2}$, а в точку B — мощность $\frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{y^2}$. Заметим, что $y^2 = h + \sqrt{x^2 - h^2}$.

При равенстве инфракрасного облучения в этих точках A и B имеем:

$$\frac{2I_0}{x^2} = \frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{h + 2\sqrt{x^2 - h^2}}. \quad (41)$$

Используя обозначение $\xi = \frac{x}{h}$, получим

$$\xi^2 + \xi + 2 = 0, \quad (42)$$

где x, y — координаты, m , h — расстояние между излучателем и основной плоскостью отражения, m , ξ — безразмерная величина.

Равенство (42) показывает, что при всех значениях ξ оно не равно нулю, т.е. оно не выполняется, поскольку дискриминант отличен от нуля. Это свидетельствует о невозможности равномерного инфракрасного облучения с помощью обычных дискретных

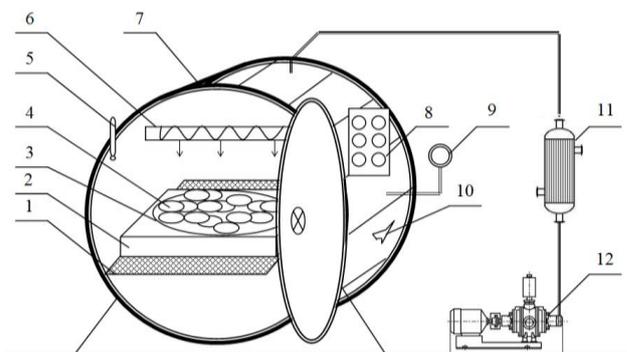
трубочек. Это равенство справедливо, когда расстояние до излучаемой точки велико по сравнению с диаметром излучателя. Однако зачастую излучатели между собой расположены таким образом, что это расстояние мало по сравнению с диаметром излучателя. Другой существенный момент в инфракрасных камерах — многослойные сушильные сетки дают

отрицательный эффект. Для устранения этого обстоятельства предлагается новая система фигурных отражателей. Нежелательные эффекты можно устранить изгибая изогнутые металлические отражатели под углом $\varphi_{max}=27,4^{\circ}$; $\varphi_{min}=18,3^{\circ}$; $\psi \leq (\varphi_{max}-\varphi_{min})=19,1^{\circ}$ (рис.2), которые не только отражают и обеспечивают равномерное облучение сеточной поверхности, но и внешней стороной препятствуют выпадению частиц продукта на поверхность излучателей.

Из расчетов получены условия максимального отражения излучения: расстояние между сетками – 170 мм, диаметр трубок – 22 мм, расстояние между сеткой и излучателем – 135 мм, расстояние между поверхностью излучателя и наиболее удаленной точкой отражателя – 22 мм.

При расположении трубок параллельно с расстоянием между ними 400 мм достигается равномерное облучение и максимальное использование излучающей поверхности.

В третьей главе диссертации «**Экспериментальное исследование процессов сушки в опытной модельной установке**» посвящена изучению теплотехнических характеристик сорбции и десорбции клубней топинамбура: при вакуумной ИК-сушке теплотехническая характеристика топинамбура – удельная поверхность капилляров – составляет $18,38 \text{ м}^2/\text{г}$; при этом суммарный объем пор для топинамбура в условиях вакуумной ИК-сушки составил $0,440 \text{ см}^3/\text{г}$. Для другого предмета исследования – плодов шиповника – установлено, что при вакуумной ИК-сушке теплотехническая характеристика шиповника – удельная поверхность капилляров – составляет $12,30 \text{ м}^2/\text{г}$; при этом суммарный объем пор для образца в условиях вакуумной ИК-сушки шиповника составил $0,390 \text{ см}^3/\text{г}$.

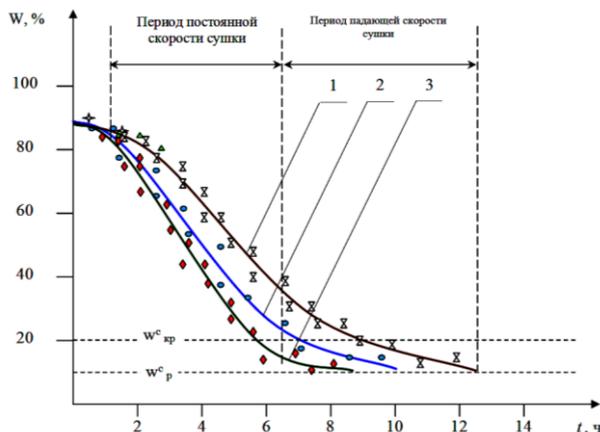


- 1 - поддон; 2 - весы с цифровым индикатором; 3 - подставка; 4-сырье; 5-термометр; 6-ИК нагреватель; 7-вакуум-камера; 8-пульт управления; 9-вакуумметр; 10-вентиль; 11-теплообменник; 12-вакуум-насос

Рис.3. Схема лабораторной экспериментальной установки

Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена установка – вакуум–сушильный шкаф с инфракрасными излучателями, позволяющая проводить процесс сушки при различных режимных параметрах протекания процесса (рис.3). Проводилась серия опытов по снятию кривых сушки клубней топинамбура сорта «Мужиза» и плодов шиповника. Очищенная продукция нарезается с помощью овощерезки на дольки толщиной 2 мм и размещается на специальных нержавеющей сеточных поддонах, которые, в свою очередь, помещаются в ИК-сушильном шкафу – внутри вакуум-камеры. Двери вакуум-камеры уплотнены в

закрытом положении, и воздух внутри камеры с помощью вакуум-насоса откачивается до -0,8 атм.; затем на терморегуляторе устанавливают нужное значение температуры, включают ИК-сушильный шкаф. Сначала осуществляют непрерывное облучение в течение 45 минут, затем продолжают процесс сушки в дискретном режиме, включают излучатели в течение 5 минут, отключают 25% излучателей – в течение 15 минут. Такой цикл повторяют до достижения влажности продукта 12%. Общее время сушки составляет 10 ч.



1-вакуумная сушка с ИК нагревом (температура сушки 50 °С; вакуум -0,8 атм.); 2-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 65 °С; вакуум -0,8 атм.); 3-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 80 °С; вакуум -0,8 атм.)

Рис.4. Кривые сушки клубней топинамбура сорта «Мужиза»

Период постоянной скорости сушки продолжается до критического влагосодержания $w^c_{кр}$ (рис.4, рис.9), при котором внутри- и внешнедиффузионное сопротивление равны. Поэтому критическое влагосодержание можно определять как среднеинтегральное влагосодержание материала, при котором на поверхности достигается максимальное гигроскопическое влагосодержание и начинается период падающей скорости сушки (или второй период сушки).

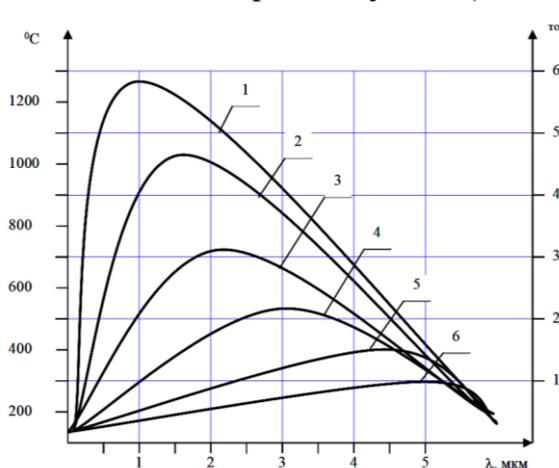


Рис.5. Оптимальный вариант ИК-излучения для сушки продуктов

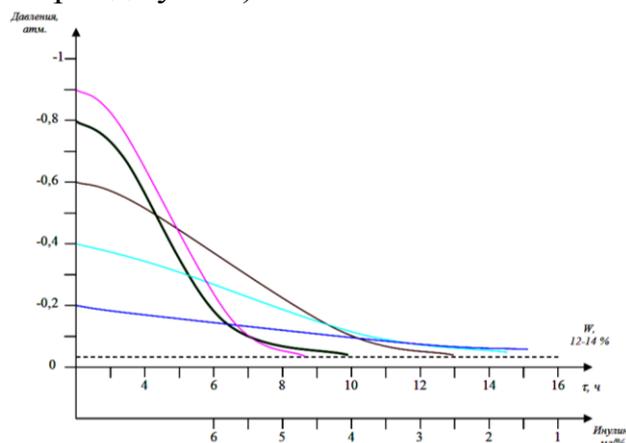


Рис.6. Зависимость сохранения инулина от атмосферного давления и времени процесса сушки (условия сушки: 65 °С; толщина дольки-2 мм)

При высокой температуре ИК-лучи бывают короткими, а при низкой температуре ИК-лучи – длинные. При температуре 500-600 °С ИК-лучи достигают 2,8-3 мкм. Данная длина волны считается оптимальным вариантом для сушки продукта с примерной толщиной 2

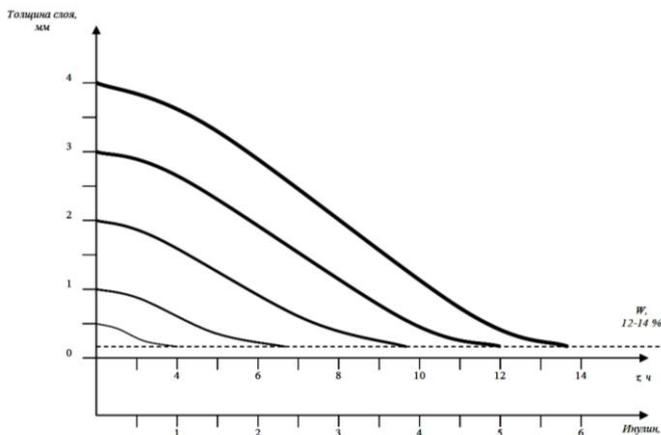
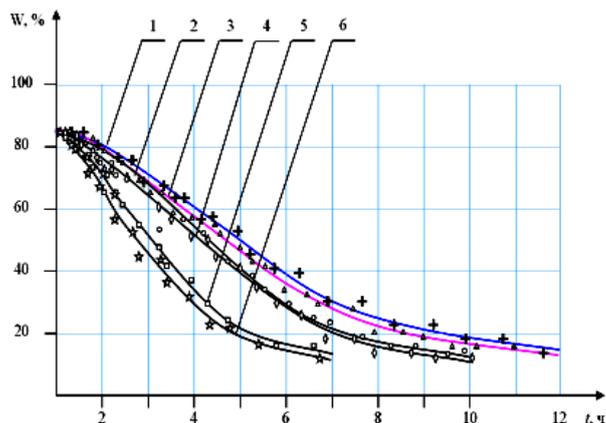


Рис.7. Зависимость сохранения инулина от толщины нарезанных клубней топинамбура и времени процесса сушки
(условия сушка: -0,8 атм., 65 °С)



1-кривая сушки долек топинамбура с ИК-нагревом; 2-кривая сушки измельчённой массы топинамбура с ИК-нагревом; 3-кривая сушки долек топинамбура в вакууме с ИК-нагревом; 4-кривая сушки измельчённой массы топинамбура в вакууме с ИК-нагревом; 5-кривая сушки долек топинамбура в вакууме с ИК-нагревом и воздействия вибрации; 6-кривая сушки измельчённой массы топинамбура в вакууме с ИК-нагревом и воздействия вибрации.

Рис.8. Кривые сушки клубней топинамбура (рис.5).

Для процессов сушки клубней топинамбура вакуум в камере -0,8 атм. (рис.6) и оптимальная толщина нарезанного слоя - 2 мм (рис.7).

Одним из способов интенсификации сушки в слое является вибрация, примененная при проведении экспериментов по сушке клубней топинамбура в виде долек и измельчённой массы (рис.8). При этом эффективность обезвоживания возрастает до 40%.

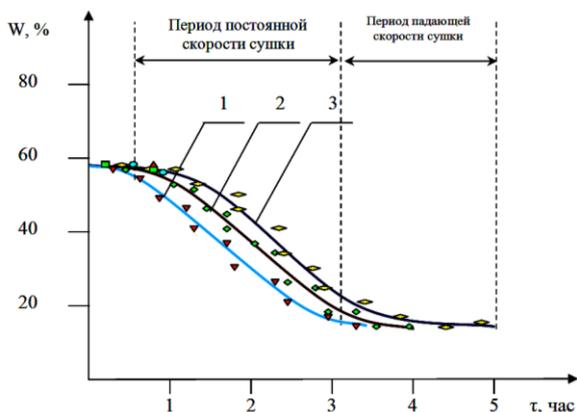
Также были проведены эксперименты по дискретной сушке топинамбура и плодов шиповника, обеспечивавших большой уровень сохранения БАВ - по сравнению с непрерывным режимом и обеспечением необходимого уровня влажности при поверхностном слое обезвоживаемого материала

Показано, что сохранность инулина в составе измельчённой массы из клубней топинамбура при способе вакуумной ИК-сушке – 45,4 мг%, а из долек клубней топинамбура – 38,75 мг%.

Для получения качественной продукции рекомендуется использовать форму измельчённой массы и способ инфракрасной вакуумной сушки.

Были проведены экспериментальные исследования сушки плодов шиповника на вакуум-инфракрасной установке. Перед сушкой плоды шиповника тщательно очищаются от инородных веществ и моются. Затем

шиповник раскладывают на плоской поверхности сеточных поддонов. Наполненные сырьем поддоны закладывают в вакуум-камеру, включают ИК-нагрев на рабочую температуру при вакууме в камере $-0,8$ атм. Сушку проводят, устанавливая оптимальные режимные параметры процесса и шиповник обезвоживается до влажности 12%; при этом в составе плодов обеспечивается высокая сохранность витаминов. Результаты экспериментов представлены на рис.9.



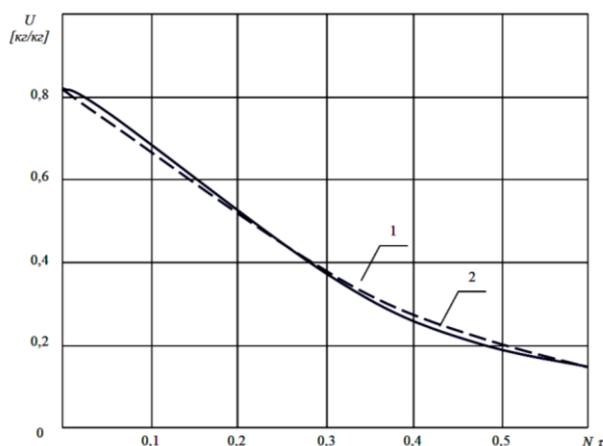
1-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 80°C ; вакуум $-0,8$ атм.);
 2-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 65°C ; вакуум $-0,8$ атм.);
 3-вакуумная сушка с ИК-нагревом (температура сушки 50°C ; вакуум $-0,8$ атм.)

Рис.9. Кривая сушки плодов шиповника

На основе исследований процесса сушки плодов шиповника разными способами сушки (солнечная, конвективная и вакуумная ИК-сушка) найден рациональный вариант процесса, обеспечивающий высокую сохранность витаминного состава плодов (в основном аскорбиновой кислоты), показано также, что при вакуумной ИК-сушке — этот показатель составляет $0,77$ мг%. В составе же фракции семян плодов шиповника при вакуумной ИК-сушке содержатся аскорбиновая кислота— $4,0$ мг%.

Из кривых сушки определили оптимальную температуру, продолжительность времени сушки плодов шиповника; при этом сохранность свободных органических кислот в составе мякоти плодов шиповника при вакуумной ИК-сушке составила $9,7$ мг%.

Результаты лабораторных анализов показывают, что во всех рассмотренных способах сушки в составе сырья максимально сохраняются витамины плодов шиповника при использовании вакуум-инфракрасной установки.



1-экспериментальная, 2-расчетная.

Рис.10. Обобщенные кривые сушки для исследуемых материалов

Пользуясь сорбционными и другими свойствами материалов (клубней топинамбура и плодов шиповника) и по известной методике строим расчетную обобщенную кривую сушки для исследуемого материала в координатах $(U, N\tau)$, где N -максимальная скорость сушки и сравниваем ее с обобщенной кривой сушки, полученной экспериментальным путем (рис.10).

Как видно из рис.10, экспериментальная и расчетная обобщенные кривые сушки практически совпадают и для конечной требуемой влажности материала параметр $N\tau < 1$. В соответствии с известной классификационной таблицей выбираем способ сушки в вакууме с ИК-излучением.

Учитывая теплотехнические принципы оформления процесса сушки и принимая во внимание ограничения технологического характера (материалы не имеют таких специфических технологических свойств, как взрывоопасность, липучесть, разрушаемость), выбираем конкретный тип сушильного аппарата-вакуумную камеру ИК-излучения.

В четвертой главе диссертации «**Реализация процессов и аппаратов для технологии переработки и сушки исследуемых материалов в промышленных условиях**» для промышленных условий разработана технологическая линия переработки клубней топинамбура и плодов шиповника (рис.11).

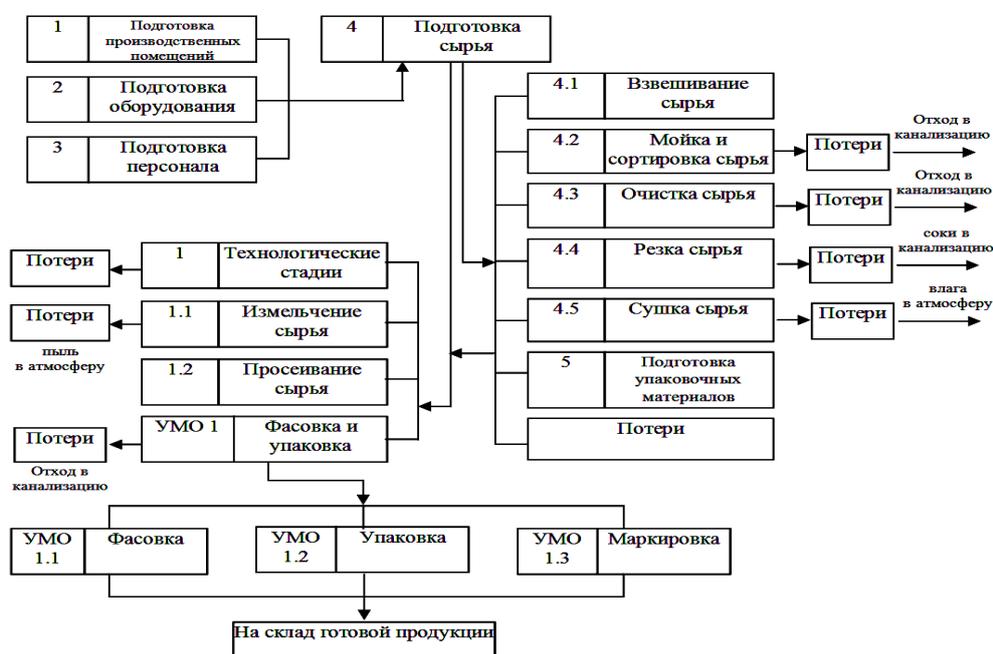
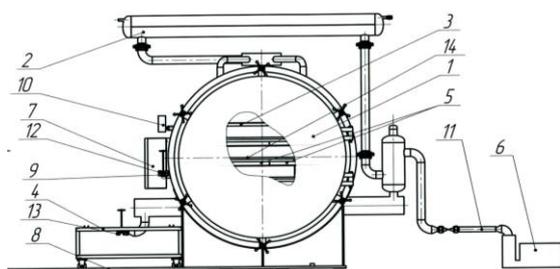


Рис.11. Технологическая схема производства клубней топинамбура и плодов шиповника

В данной технологической линии операции 4.2 и 4.4 отключаются во время переработки плодов шиповника.

Схема разработанной опытно-промышленной вакуум-радиационной сушильной установки приведена на рис.12. Высушиваемый материал предварительно помещается на сетку между нагревательными плитами.

После вакуумирования установки от нагревательных элементов к влажному материалу подается тепловая энергия в количестве, необходимом для испарения влаги. Пары воды перемещаются от материала к охлаждаемой поверхности конденсатора, конденсируются и частично отводятся вместе с неконденсируемыми газами вакуум-насосом. Для обеспечения нормального протекания процесса в такой системе необходимо создать перепад давлений водяного пара между сушилкой и конденсатором.



1-вакуум камера; 2-теплообменник;
3-передвижной ИК-сушильный шкаф;
4-тележка; 5-поддон для
перерабатываемого сырья; 6-вакуум-насос с
электродвигателями; 7-блок управления;
8-путь для тележки выкатной;
9-термопара для измерения
температуры; 10-манометр; 11-рукав
высокого давления; 12-краник впуска
воздуха; 13- краник выпуска конденсата; 14-ИК-излучатель

Рис.12. Экспериментальная опытно-промышленная вакуум-сушильная установка с инфракрасным излучением

Для создания технологической схемы переработки клубней топинамбура и плодов шиповника нами было разработано вспомогательное оборудование.

Сушеный плод шиповника измельчается, полученная смесь разделяется предложенным аэродинамическим сепаратором.

Разработанная мельница с системой охлаждения корпуса холодной водой и воздуха снабжена дополнительной полостью.

Технологическая линия внедрена в ООО «Доривор ўсимликлар» и специализированном государственном лесном хозяйстве имени Абу Али ибн Сино (рис.11). При этом в технологической линии достигнут выпуск качественной конечной продукции; обеспечена равномерная сушка сырья; за счёт комплексной переработки повышена производительность, увеличена надежность оборудования, уменьшены потери сырья, снижена трудоёмкость операций, созданы новые рабочие места.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проанализировано современное состояние теории и практики сушки и тепловой активации сельскохозяйственной продукции клубней топинамбура и плодов шиповника и выявлены тенденции их дальнейшего инновационного развития и совершенствования. Рассмотрены современные, наиболее распространенные процессы и аппараты для комплексной переработки клубней топинамбура и плодов шиповника. Показано, что в качестве одного из наиболее предпочтительных способов сушки продуктов клубней топинамбура и плодов шиповника выступает ИК-нагрев обрабатываемого сырья в сочетании с различными технологическими приемами повышения

эффективности процесса обезвоживания капиллярно-пористых материалов - клубней топинамбура и плодов шиповника.

2. Разработана и формализована математическая модель перемещения влаги в капиллярных порах исследуемых материалов и показана необходимость учета внутреннего перераспределения растворенных веществ, а также выявлены закономерности динамики процесса сушки при заданных начальных условиях с сопутствующими явлениями сорбции и десорбции во внутренних структурах стенок капиллярных каналов. Эти явления имеют место в ходе объемного испарения влаги, сопровождаемого градиентом влажности испарения, что, в свою очередь, приводит к расслоению кристаллизованных и адсорбированных веществ. Изучены нелинейные связи между давлением внутри капилляров, гидродинамической скоростью движения, температурой, а также плотностью испытываемого материала.

3. Проведены эксперименты по изучению влияния внешних факторов (ИК-волны, вибрация, уровень вакуума) на процесс сушки. Выполнена параметрическая идентификация корреляционных коэффициентов математической модели и осуществлена обработка экспериментальных статистических данных.

4. Выявлена зависимость мощности облучения от расстояния между обезвоживаемым объектом и излучателями, а также между собственно излучателями и определены способы достижения равномерного распределения инфракрасного облучения в объеме обезвоживаемых продуктов с помощью элементов-отражателей соответствующей конфигурации в вакуум-сушильной установке с ИК-нагревом.

5. Установлены характеристики сорбции и десорбции клубней топинамбура: удельная поверхность капилляров составляет $18,38 \text{ м}^2/\text{г}$, при этом суммарный объем пор для топинамбура в условиях вакуумной ИК-сушки составляет $0,440 \text{ см}^3/\text{г}$. Для плодов шиповника характеристики сорбции и десорбции: удельная поверхность капилляров составляет $12,30 \text{ м}^2/\text{г}$, при этом суммарный объем пор составляет $0,390 \text{ см}^3/\text{г}$.

6. По результатам исследования теплотехнических и сорбционных свойств высушиваемой продукции определены: допустимая температура, время сушки и вакуум-сушильная установка с ИК-излучением. На основе результатов экспериментальных исследований на лабораторной установке разработана методика расчета промышленной вакуум-сушильной установки с ИК-излучателем.

7. Установлено, что оптимальная толщина слоя продукции составляет около 2-2,5 мм. При большей толщине слоя продукция слабо нагревается, и время сушки существенно увеличивается, при меньшей толщине - продукция нагревается до недопустимых температур.

8. Показано, что для процесса ИК-сушки плодов необходимо оптимизировать величину подводимой мощности так, чтобы плоды быстро обезвоживались, но при этом не нагревались до температуры потери полезных пищевых свойств. Установлена оптимальная длина волн в 3 мкм для слоя толщиной 2-2,5 мм, при этом время обезвоживания продукции

составляет допустимую величину, а температура плодов не превышает 65-70 °С, вакуум при этом составляет -0,8 атм.

9. В результате экспериментального исследования влияния вибрации на технологический процесс сушки установлено, что эффективность обезвоживания возрастает до 40% в условиях непрерывного нагрева - при определенной частоте и амплитуде. Показано, что сохранность инулина в составе измельченной массы из клубней топинамбура при способе вакуумной ИК-сушки – 45,4 мг%, а долек из клубней топинамбура – 38,75 мг%. При этом сохранность аскорбиновой кислоты в составе мякоти плодов шиповника при вакуумной ИК-сушке составляет 0,77 мг%. В составе же фракции семян плодов шиповника содержится аскорбиновая кислота при вакуумной ИК-сушке –4,0 мг%.

10. В результате проведенных исследований установлено, что клубни топинамбура и плоды шиповника, высушенные в вакуум - аппарате с ИК – энергоподводом, имеют высокую пищевую и энергетическую ценность. Использование ИК-энергии в процессе сушки приводит не только к увеличению производительности и сокращению энергозатрат, но и способствует сохранению полноценного состава витаминов и других биологически активных веществ (инулин и аскорбиновая кислота) в конечном продукте.

11. Модернизирована технологическая линия комплексной переработки высушенного и переработанного в порошок топинамбура, отличающаяся применением инфракрасного вакуумного сушильного аппарата, молотковой мельницы для получения порошка из высушенного топинамбура. Для разделения на фракции (мякоть, семена, пух) измельченных плодов шиповника разработан аэродинамический сепаратор. На основе полученных результатов разработан технологический регламент на производство порошка из клубней топинамбура сорта «Мужиза» и плодов шиповника.

12. Разработки и рекомендации диссертации по технологии переработки клубней топинамбура и плодов шиповника при сохранении биологически активных веществ внедрены в Государственном акционерном концерне «Ўзфарманоат» и предприятиях, входящих в систему Министерства сельского и водного хозяйства (справка Государственного акционерного концерна «Ўзфарманоат» от 11.30.2015 года №МД-06/1868 и Министерства сельского и водного хозяйства от 10.09.2015 года №06/14-893). В результате применения технологии сушки в вакууме с ИК-излучением производительность повысилась в 1,2 раза, в среднем за год общая экономическая эффективность составила 233 млн. сум.

**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**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SAFAROV JASUR ESIRGAPOVICH

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR THE PROCESSING OF THE
TUBERS OF JERUSALEM ARTICHOKE AND ROSE HIPS WITH
PRESERVATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES**

**02.00.16 - Processes and apparatus of chemical technologies and food productions
(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 №30.09.2014/B2014.5.T322

Doctoral thesis was carried out in Tashkent state technical university.

Abstract of the thesis in three languages (Uzbek, Russian, English) is available on the website of the Scientific Council (www.tdtu.uz) and information-educational portal «ZiyoNet» to address (www.ziynet.uz).

**Scientific
consultant:**

Norkulova Karima Tuxtabaevna
doctor of technical sciences, professor

**Official
opponents:**

Eshquvvatov Baxtiyor Teshaeovich
doctor of technical sciences, professor,
academician of the ASc RUz ,

Muxitdinov Djaloliddin Nasirovich
doctor of technical sciences, professor

Nurmukhamedov Xabibulla Sadullayevich
doctor of technical sciences, professor

**Leading
organization:**

Bukhara technological institute of engineering

Defense of dissertation will be taken place in 30 april 2016 at 10⁰⁰ 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).

Doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 13). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-03-41).

Abstract of dissertation has been distributed 29 march 2016 year.
(mailing report №2, on 29 march 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.

Sh.M.Gulyamov

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

INTRODUCTION (abstract of doctoral dissertation)

The urgency and relevance of the theme of dissertation. Today throughout the world food and pharmaceutical industry one of the important tasks is considered to provide the population with foods and food safety. Prospects of development of the implementation of innovative technologies of food and medicinal plants for the purpose of preserving high-quality processing of biologically active substances has become increasingly important. Including for the creation of competitive high-quality products of different kinds of domestic and foreign markets need to introduce new technologies into production. In this regard, the countries of the world are carried out research improve the production of clean and waste-free technologies, obtaining of products of various types and extensive use of them in the industrial sectors. One of the sources of such products are the tubers of jerusalem artichoke and rose hips.

In recent years, the cultivation of tubers of jerusalem artichoke and rosehip paid much attention. Rosehip like fruits and artichoke as a root plant - well adapted to the environmental conditions are rare chemical properties, low-cost manufacturer, versatile in use, resistant to diseases and pests. Tubers of jerusalem artichoke and rose hips are considered perennial rose herbs. jerusalem artichoke tubers are rich in inulin, and rose hips are rich in ascorbic acid, so these plants are widely used in the food and pharmaceutical industries as a bioactive food additive. Since the raw material can not be stored for long periods, it is required to rework retaining bioactive substance.

Tubers of jerusalem artichoke and rose hips as they have complicated floor dispersion includes in its composition sugars, organic acids, salts, minerals, inulin, macro and micronutrients, cellulose (Compound sostayat from the plant cells), pectin, vitamins, essential oils, starch, carbohydrates, protein, amino acids and other substances considered important to process while maintaining their properties. In the process of evaporation and dehydration products of coagulated protein, pectin decomposes, sweeteners caramelizing and form of other physical and chemical processes. During the processing the higher the temperature the higher the activity and chemical processes that result in the decomposition of biologically active substances.

In this regard requires improved product quality, reduce time and labor costs and the improvement of basic technological processes and devices in the processing of raw materials.

This research work is to some extent for the implementation of the tasks defined by the Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan from 26 january 2009 year №PP-1047 «On additional measures to increase food production and saturation of the domestic market» and Resolution of the

President of the Republic of Uzbekistan dated 31 October 2011 year №PP-1633 «On measures to further improve the management of the organization and development of the food industry of the republic in 2012-2015».

Relevant research priority areas of science and developing technology of the republic. This work was performed in accordance with the priority directions of science and technology of the republic: № 5. «Agriculture, biotechnology, ecology and preservation of the environment» and № 6. «Medicine and pharmacology», PIP-9 «Creating a high performance ecologically cleaner technologies in agricultural production, methods of their storage, processing and means of combating diseases and pests» and PIP-11 «Development of highly effective technologies production of new pharmaceuticals on local natural and synthetic raw materials».

A review of international research on the topic of dissertation. According to the methods of drying capillary porous foods and preserve their biologically active substances, as well as the methods of mathematical modeling and the development of devices and technology research carried out in many leading universities and research institutions, including, University of Georgia (USA), Laval University (Canada), Technical University of Berlin и German Institute of Food Technologies (Germany), Federal University of Santa Catarina (Brazil), University of Extremadura (Spain), Ataturk University и Middle East Technical University (Turkey), Mutah University (Иордания), National University of La Plata (Argentina), Aleksandras Stulginskis University (Lithuania), Moscow state university of food production and the Krasnodar research institute of processing and storage of agricultural products (Russia).

To increase the effectiveness of the drying process for the production of quality products has received a number of scientific and practical results, including drying plants and fruit in the open air and the determination of physical and chemical changes (University of Georgia); drying on developing food products using hot air and cooling (Laval University); determined methods for functional foods by drying by physico-chemical properties of fruits, vegetables and plants (Technical University of Berlin and German Institute of Food Technologies); studied the effect of the vacuum on the product drying process (Federal University of Santa Catarina); determine the influence of infrared rays in the drying process (University of Extremadura); determined preservation of ascorbic acid in the rose hips during the drying process (Ataturk University); developed a method for drying of jerusalem artichoke using ultra microwaves (Middle East Technical University); perfected grinding process raw material mill (Mutah University); developed drying installation with a hot air stream drying technology and rose hips (National University of La Plata); determine the quality of jerusalem artichoke change during processing and storage (Aleksandras Stulginskis University).

Currently, for the production of functional foods in the world scientific works carried out in the priority fields, including: preservation of the quality of the product by drying; products drying using infrared rays; the development of food products with a high content of biologically active substances; improving the process of drying products (convective, conductive, infrared, ultra high frequency); determining the internal pressure of the drying chamber (atmospheric, vacuum, freeze); development of movement techniques of drying agent (natural, artificial); improvement of methods of drying dewatered by type of product (solid, liquid and paste).

The degree of study of the problem. Historical research, devoted to the subject, held scholars such as Likov A.V., Ginzburg A.S., Ilyasov R., Levitin I.B., Salimov Z.S., Safarov O.F. These studies have been conducted to study the theory of the drying process, the influence of infrared light on this process.

In the various regions of the world were carried out research for the production of bioactive products with the quality and perfection of the drying process: Paes S., Karacabey E., Ben Ch.M., Natalia A., Ghaid Jameel Al-Rabadi, Ghiaus A.G., Marquez C., Saliha Erenturk, A.Ruiz Celma, Ratti C., Kunzek H., Veerachandra K. and others.

According to the methods of drying materials, heat exchange processes, improve the installation and the drying process and obtaining a quality product performed Research activity: Altuxov I.V., Shazzo R.I., Zuev I.A., Lebedev P.D., Artikov A.A., Dodaev Q.O., Jurayev X.F., Iskandarov Z.S., Muxiddinov J.N., Muxamedov B.I., Norkulova K.T., Nurmuxamedov R.X., Shaymardanov B.P., Yusupbekov N.R. For obtaining products containing biologically active substances, it is necessary to improve the processes and apparatus. At the present time acquires actuality to provide an improved integrated technological system of processing of jerusalem artichoke tubers and fruits rose hips at preservation and high content of bioactive substances.

Communacation of the theme of dissertation with the scientific-research works of higher educational institution, which is the dissertation conducted in: Contact of this dissertation work with the research work of the Tashkent state technical university is reflected in the following projects: IOT-2013-6-08 - «Production of tea and rosehip oil with a high content of biologically active substances» (2013-2014 years) and A9-FQ-1-15580-KA9-011 - «Creating agro-biotechnological varieties of jerusalem artichoke «Fayz Baraka» and «Mujiza», storage, waste-free processing on the basis of high technology purpose of producing import-substituting and export-oriented environmentally friendly products» (2012-2014 years).

The aim of research work is the improvement of the development of technology for the processing of jerusalem artichoke tubers and rosehip using a vacuum dryer with infrared heating, providing increased energy efficiency and technology of installation and preservation of biologically active substances.

The tasks of research work:

critical study of the theory and technology of food processing (jerusalem artichoke tubers and rosehip) today, and the creation of installation and technologies for the processing of the investigational product dehydration the studied product and the definition of the main indicators for the technology created;

develop effective technological scheme of processing of the tubers of jerusalem artichoke and rose hips;

explore the types of moisture due to the materials and determine the technological, mechanical, chemical, food, thermal, and biological properties of tubers of jerusalem artichoke and rose hips;

develop heat exchange regularities during the drying process, taking into account the dynamics of nonlinear phenomena and thermal infrared radiant heating and the thermal activation of the materials;

develop the mathematical model of the motion of moisture in the capillary pores of the materials distribution of trace elements in food process in their drying;

carry out modeling and optimize the radiation dewatering process by drying the tubers of jerusalem artichoke and rose hips and offer methods for calculating the rational choice of the IR emitters, location in an oven;

develop and establish pilot commercial vacuum drying installation with infrared heating for the study of jerusalem artichoke tubers drying process and rose hips with the definition of effective technological modes in accordance with biotech feed heating conditions;

refine nodes vacuum dryer with infrared heating and define rational modes of radiation in order to reduce energy losses from the standpoint of system analysis to identify the main parameters and their mutual influence on technological modes of processing and drying;

developed a processing of technology of jerusalem artichoke tubers and rose hips and create pilot production mill the purpose of obtaining the powder of dried tubers of jerusalem artichoke and rose hips with an aerodynamic separator;

implementation the development in commercial production obtained during the execution results of the dissertation and recommendations.

The object of the research work it is a technology for processing of jerusalem artichoke tubers and rose hips - products of agriculture and forestry to

ensure the safety of biologically active substances during the processing and drying with minimal time and energy costs.

The subject of the research work consists of a vacuum dryer with IR radiation, regularities peculiar to dehydration, drying equipment and technology.

Methods of research work. The dissertation applied the chemical and food technology processes and devices, methods of mathematical modeling and measuring and control instruments for process optimization.

Scientific novelty of the research work is as follows:

created energy-efficient technology for processing of jerusalem artichoke tubers and rose hips, defined chemical, heat-technical and biological properties;

developed the optimal way vacuum drying with infrared radiation using a nonlinear dynamic model of the form process for the processing of jerusalem artichoke tubers and rose hips on the basis of technological drying regularities;

proposed technological scheme which enables the creation of efficient processing of process and increasing the accuracy of calculating coefficients, as defined properties of nonlinear propagation of heat during the drying process discrete;

developed technological regime to obtain bioactive supplements in the product moisture migration and micronutrients moving in one direction in the capillaries by controlling the drying process;

developed providing completely equitable propagation of infrared rays within the capillary porous materials by means of special reflectors in the drying installation and power irradiation depends on the distance to the emitter of the product, the optimal thickness of band wavelength and product;

developed a technology for producing a powder using a new type of mill with a cooling system as defined by the vacuum pressure and the optimum temperature in a vacuum drying unit with infrared radiation for drying the tubers of jerusalem artichoke and rose hips with preservation of bioactive substances.

Practical results of the work:

develop technological device using the vacuum, infrared rays to produce high-quality finished products on the basis of theoretical and practical research;

developed vacuum dryer with infrared heating on the basis the received scientific results;

determining the acceleration of the drying process up to 40% with the use of vibration;

used the results to create installations in the food and pharmaceutical industries, in farming and forestry;

proposed method of in drying technology is different in that it is an

economic side is much cheaper than the other, the energy consumed is small for the wet unit;

defined 3-4 times greater preservation of the content of inulin – 45,4 mg% in the dried powder of jerusalem artichoke and 0,77 mg% of ascorbic acid in the dried rose hips powder;

program was developed a mathematical model for the drying process in the program C++ Builder 6.0;

developed of technical conditions for the use of a vacuum infrared drying installation;

developed for use in production and approved by the SJC «Uzfarmsanoat» temporary recommended technological regulations for production of powder from the tubers of jerusalem artichoke varieties «Muzhiza» and rose hips.

The reliability of the results. Reliability optimization of drying technology research results and methods of mathematical modeling, developed justification for proposals for improving the drying of plant origin of raw materials technology in accordance with the suggestions and recommendations, later introduced into practice, the results have been confirmed by the authority structures.

Theoretical and practical significance of the study.

The scientific importance of the research results is determined based on the results of processing of the tubers of jerusalem artichoke and rose hips using a vacuum with infrared heating to the conservation of biological active substances to improve technology in the direction of the process of social modernization.

The practical significance of the work is the result of the application of technological lines for the processing of the tubers of jerusalem artichoke and rose hips with preservation of biological active substances in the product and by minimizing losses during the processing of raw materials, which increases the power efficiency of industrial production.

Implementation of the research results. Technology for processing of jerusalem artichoke tubers and fruits rose hips at preservation of biologically active substances introduced into the State Joint Stock Concern «Uzfarmsanoat» and the entities of the system of the Ministry of agriculture and water management (Reference the State Joint Stock Concern «Uzfarmsanoat» from 30.11.2015 year МД-06/1868 and Ministry of agriculture and water management from 10.09.2015 year 06/14-893). A result of applying the vacuum drying technology with infrared radiation productivity increased in 20%.

Approbation of the research results. The research results are set out in the form of lectures and passed approbation by 25 international and republican scientific-practical conferences, including, «Innovation» (Tashkent, 2007-2009, 2014, 2015); «High Technologies of XXI Century» (Moscow, 2008);

«Technologies of processing of local raw materials and products» (Tashkent, 2008); «Eco-friendly resource-saving technologies of cultivation, storage and processing of agricultural products» (Tashkent, 2009); «Actual problems of chemistry of natural compounds» (Tashkent, 2010, 2015); «Green Growth Strategy of SMEs (Small and Medium sized Enterprises) In the New Silk Road Countries» (Korea, 2010); «Current status and prospects of energy» (Tashkent, 2011); «Advanced technologies in the food industry» (Bukhara, 2011-2012); «The role of technology, science and technology in creating a strong civil society and modernization of the country» (Andijan, 2011-2014); «Low-temperature and Food Technologies in the XXI Century» (St. Petersburg, 2013, 2015); «International scientific conference UNITECH» (Gabrovo, 2013-2015); «World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation – WCIS-2014» (Tashkent, 2014); «Practice and research in private and public sector–2014» (Vilnius, 2014-2015); «Actual problems of chemical technology industries» (Bukhara, 2015); «Biotechnology: state and prospects of development» (Moscow, 2015); «Multimedia Information Technology and Applications - MITA-2015» (Korea-Uzbekistan, 2015).

Publication of the research results. According to the thesis topic published 2 monograph, of recommended scientific editions for publication of basic scientific results of doctoral dissertations by Supreme attestation commission of the Republic of Uzbekistan 7 scientific articles and 7 international journals. A total of 42 scientific papers. Received patents for 1 inventions.

The structure and volume of the thesis. The dissertation consists of an introduction; four chapters, a conclusion, references and appendices. The size of the research is 195 pages, includes 45 figure and 25 tables. In this research, 243 works and articles were used, as well as appendixes.

THE MAIN CONTENT OF THE RESEARCH PAPER

In the introduction of the dissertation, the topicality and relevance of the research are substantiated, the aim and objectives of the research, its object and subject are formulated, its conformity with the priorities of development of science and technology of the Republic of Uzbekistan is shown, the scientific novelty and practical results of the study are described, the theoretical and practical significance of the obtained results are revealed, a list of introducing the research results into practice, published works and information on the structure of the dissertation are provided.

The first chapter of the dissertation titled «**The modern state of the technology of food processing**» (for example, tubers of jerusalem artichoke and rose hips) an analysis of the modern state of technology for the processing of foods (for example, jerusalem artichoke tubers and rose hips), and shows that, in the technological scheme is a key element of the drying process determines the quality of the final product. Analysis of existing problems of technology for the processing of products of tubers of Jerusalem artichoke and rose hips, indicating that one of the most promising methods of drying, which preserves the useful components, it is recognized vacuum drying using infrared emitters as the preferred source of heat treated products; It described the state of the problems of mathematical modeling; at drying of moist materials occur simultaneously two processes: evaporation (mass transfer) and heat transfer (heat exchange); drying wet materials includes issues of heat and mass transfer inside the body (internal problem) and in the boundary layer at the interface (external challenge); drying the resulting intensity depends on the conditions of heat and mass transfer inside the body and at the interface; drying rate is maximal when the possibility of heat and mass transfer in the boundary layer corresponds to the ability to move heat and moisture within the body; on the drying rate is influenced by external conditions of heat and mass transfer, and the conditions of moisture and heat inside the body (small diffusion coefficients or moisture permeability etc.); in some cases, evaporation and sublimation of capillary-porous bodies are accompanied by the formation of the phase transition zone is not on the surface and within the capillary-porous body.

Assessing the current state of design issues dryers, widely spread in the country's agro-industrial complex, drying methods, we can conclude there are problems that require the creation of new industrial methods of drying the tubers of jerusalem artichoke and rose hips.

In the second chapter called «**Development of mathematical modeling of processes of drying of capillary-porous materials of plant origin**» shows the results of modeling of drying processes of capillary-porous plant origin, as well as presents a theoretical study of jerusalem artichoke tubers drying processes and rosehips. A mathematical model of the drying process of capillary-porous materials of vegetable origin as the movement of water in the capillary pores of the materials. It is shown that the actual processes require consideration of internal redistribution of solutes, including the dynamics of such a rearrangement.

The thesis presented material and heat balances of the drying process. In assessing the kinetic constants used a drying curve, obtained by experimental techniques, and presented as a dependency of moisture content of u on time t (or drying speed $du/d\tau$ from τ).

Are several known approaches to the formalization of the mechanism of transfer of moisture from the volume of raw materials in the ambient air, using or ignoring the idea of moving particles within the evaporation front: diffusion, capillary and free.

In considering the period of constant rate drying hold the view that at the particle surface takes place the phase equilibrium state at which the particles of the material surrounded by the polyethylene material moisture. The air above the last is in a saturation state, and hence has a temperature of wet bulb. In this case, the drying rate is determined by the psychometrics data, the state of the external environment and conditions of dehydration, and the full flow of water is expressed by the volumetric mass-transfer coefficient β_x :

$$-du/d\tau = j = const = \beta_x(x_r - x) = \beta_x(x^* - x), \quad (1)$$

where x_r - humidity of the air kg/kg at the boundary of the particle to be considered equal to the equilibrium moisture content x^* ; x - humidity of the air in the volume of the continuous phase.

From these experimental methods of the flow of moisture (min^{-1}) at different values of the temperature coefficient can be found of humidity β_x in the form slope of the curve in the first period of drying:

$$\beta_x = j/(x^* - x). \quad (2)$$

The partial vapor pressure P at different T can be found from the corresponding tables, and the mole fractions of m is determined as the

$$m^* = P_t^*/P_{atm}; \quad m = P_{to}^*\varphi/P_{atm}, \quad (3)$$

where P_{atm} - atmospheric pressure (760 mm Hg); φ - relative humidity, estimated by the ambient temperature T_0 and wet bulb temperature T_m .

In this case humidity x^* and x be expressed both

$$x^* = \frac{M_B}{M_{air}} \frac{m^*}{(1-m^*)}, \quad (4)$$

$$x = \frac{M_B}{M_{air}} \frac{m}{(1-m)}, \quad (5)$$

where M_B - the molecular weight of water; M_{air} - molecular weight of air.

The mathematical processing of the experimental data obtained at different temperatures, usually expressed dependence $\beta_x = f(T)$.

Critical time, that corresponds the completion of the first drying period is determined by the equation:

$$\tau_{KR} = (u_0 - u_{KR}) / j. \quad (6)$$

The second period of the drying process begins when the critical moisture content u_{KR} , at which on the surface of the material forms a kind of dry islands. If we assume that all the pores in the particle and moisture in them are uniformly distributed and assume that in this period of mass transfer resistance is entirely concentrated within the volume of the material and the moisture supplied to the surface of the particles of the raw material is discharged immediately, the mechanism of mass transfer can be formalized in spherical coordinates with non-stationary diffusion equation:

$$\varepsilon \frac{\partial u}{\partial \tau} = D_{ef} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial u}{\partial \rho} \right). \quad (7)$$

Here u - the moisture content of the material at the time t on distance ρ from the center of the particle; ε - porous particles; D_{ef} - generalized averaged diffusion coefficient.

Here the initial and boundary conditions are expressed as follows:

$$\begin{aligned} \tau = 0, & \quad 0 < \rho < R, & \quad u = u_{KP}, \\ \tau > 0, & \quad \begin{cases} \rho = R, \\ \rho = 0, \end{cases} & \quad \begin{cases} u = u_G, \\ du / d\rho = 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

Here $\tau = 0$ denotes the start of the second period of drying, u_G characterizes the moisture content at the border, the equilibrium moisture content in the ambient air.

Following the Fourier method, the solution of equation (7) can be represented as the product of two independent functions, one of which depends only on time, and the second - only the coordinates, ie.

$$y(\tau, \rho) = T(\tau) R(\rho) \quad (9)$$

or

$$\frac{1}{D} \frac{\partial T}{\partial \tau} R = T \frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} T \frac{\partial R}{\partial \rho} = T \left(\frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial R}{\partial \rho} \right). \quad (10)$$

Thus, shifting to the left side of the equation all the members, depending on the time and in the right-hand side - all the members, depending on the location, we find that each of the parts must be equal to a constant:

$$\frac{1}{D} \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial R}{\partial \rho} \right) = -\lambda. \quad (11)$$

From the last two equalities follow equation.

Referring to each of them individually:

$$1) \frac{\partial^2 R}{\partial \rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial R}{\partial \rho} + \lambda R = 0. \quad (12)$$

We carry out a change of variable $v = \rho R$. The result is:

$$\frac{dv}{d\rho} = R + \rho \frac{dR}{d\rho}, \quad \frac{d^2v}{d\rho^2} = \frac{d^2R}{d\rho^2} + \rho \frac{d^2R}{d\rho^2} + \frac{dR}{d\rho}, \quad (13)$$

$$\frac{\frac{d^2v}{d\rho^2} - \frac{1}{\rho} \frac{dv}{d\rho} + \frac{v}{\rho^2}}{\rho+1} + \frac{2}{\rho} \frac{dv/d\rho - v/\rho}{\rho} + \lambda \frac{v}{\rho} = 0. \quad (14)$$

Next up to the following system of equations:

$$\begin{cases} \frac{d^2v}{d\rho^2} + \lambda v = 0, \\ v|_{\rho=0} = 0, \\ v|_{\rho=R} = 0, \end{cases} \quad (15)$$

Let us analyze the possible values λ :

$$A) \lambda > 0, \quad k^2 + \lambda = 0; \quad k_{1,2} = \pm \sqrt{-\lambda} = \pm i\sqrt{\lambda}. \quad (16)$$

Hence it follows that

$$v = a \cos \sqrt{\lambda} \rho + b \sin \sqrt{\lambda} \rho. \quad (17)$$

From the boundary conditions follows:

$$\sin \sqrt{\lambda} R_0 = 0. \quad (18)$$

Ultimately the eigenfunctions functions v_n and eigenvalues of the λ_n are respectively expressed

$$v_n = \sin \frac{\rho \pi n}{R_0}, \quad \lambda_n = \left(\frac{\pi n}{R_0} \right)^2, \quad (19)$$

$$y = \sum_{m=1}^{\infty} C_m \exp\left(-\frac{D n^2 \pi^2}{R_0^2}\right) / \rho^{-1} \sin \frac{\rho \pi n}{R_0}. \quad (20)$$

B) $\lambda = 0, \quad d^2v/d\rho^2 = 0, \quad k^2 = 0,$

$$v = a\rho + b, \quad b = 0, \quad aR_0 = 0 \Rightarrow a = 0. \quad (21)$$

V) $\lambda < 0, \quad k^2 = -\lambda, \quad k_{1,2} = \pm \sqrt{|\lambda|}, \quad v = ae^{\sqrt{|\lambda|}\rho} + be^{-\sqrt{|\lambda|}\rho},$

$$\rho = 0, \quad 0 = a + b \Rightarrow a = -b \quad (22)$$

$$\rho = R_0, \quad 0 = ae^{\sqrt{|\lambda|R_0}} - ae^{-\sqrt{|\lambda|R_0}}, \quad e^{\sqrt{|\lambda|R_0}} = e^{-\sqrt{|\lambda|R_0}}, \quad (23)$$

$$\sqrt{|\lambda|}R_0 = -\sqrt{|\lambda|}R_0 \Rightarrow \lambda = 0. \quad (24)$$

There is an obvious contradiction: $a = -b = 0$

2) Solve the second equation:

$$\frac{1}{DT_n} \frac{dT_n}{d\tau} = -\lambda_n \Rightarrow \frac{dT_n}{d\tau} = -\lambda_n DT_n, T_n = \exp\left(-\frac{Dn^2\pi^2}{R_0^2}\tau\right). \quad (25)$$

To estimate the coefficients using the initial condition

$$\tau = 0, y = u_{KR} - u_G. \quad (26)$$

Combining the a decision, have

$$y = (u_{KR} - u_G) \frac{2R_0}{\pi\rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R_0^2) \sin \frac{\pi\rho n}{R_0}. \quad (27)$$

However $u = y + u_G$. From this it follows

$$u = u_G + (u_G - u_{KR}) \frac{2R_0}{\pi\rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R_0^2) \sin \frac{\pi\rho n}{R_0}. \quad (28)$$

Experimental methods of studying the changes in the average moisture content in time, ie

$$\bar{u} = \frac{1}{R} \int_0^R u_\rho d\rho. \quad (29)$$

Using the relation (28) we can find the mean value \bar{u} :

$$\begin{aligned} \bar{u} &= u_G + (u_G - u_{KR}) \frac{2R}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \sin \frac{\pi\rho n}{R} \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R^2) \frac{1}{R} \times \\ &\times \int_0^R \frac{\sin(\pi n\rho/R)}{\pi n\rho/R} d\left(\frac{\pi n\rho}{R}\right) = u_G + (u_G - u_{KR}) \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \sin \frac{\pi\rho n}{R} \times \\ &\times \exp(-Dn^2\pi^2\tau/R^2). \end{aligned} \quad (30)$$

The work has also studied range of issues of formation of new states redistribution of components in solutions of growth (ie, growth of the solid phase and the variation of the concentration of moisture as it moves to the surface of the dewatering products). Studied the one-way traffic moisture evaporation on one surface side (in the open part of the capillary). It is shown that not only moves the liquid and vapor but than can not be neglected in a vacuum-drying phase transitions as «liquid-gas» occur at relatively low temperatures.

In order to study this conceptual model, we turn to a linear mathematical description of chromatography, widely studied in sections of the theory of nonlinear waves. Our proposed feature consists in that the cross-section of the capillaries varies, and is slower compared to the time of drying. Consider just this task. Let the initial capillary has a radius R_0 . As the reduction of growth associated with the heating and evaporation, there is a slow change in the function $R=R(t)$, where at $t=0$ $R(0)=R_0$.

Because the process is smooth, a function of time is a continuous function of its argument t . Is therefore valid a Taylor series expansion around the point $t=0$, resulting have

$$R=R_0(1+\mu t+qx), \quad (31)$$

where μ, q – coefficients.

After Taylor series expansion have:

$$R = R_0 \left(1 + \frac{1}{R_0} \frac{\partial R}{\partial \mu t} \mu t + \frac{1}{R_0} \frac{\partial R}{\partial \mu x} qx \right). \quad (32)$$

Since this process takes place in a complex environment, we apply the law of conservation of mass and the law of kinetic processes of adsorption and desorption in the ducts.

In order to simplify introduced transverse area of the capillary, $S = \pi R^2(t)u$ $\frac{S_t}{S} = \lambda - const$. This means that the diameter of the restriction linearly with $\lambda < 0$. The value λ is dependent on the drying rate and the degree of dewatering fabric susceptibility to swelling.

Calculations show that

$$C = \left(\frac{\rho_0 \gamma}{\rho_0 \gamma} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{S_0}{S} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}}. \quad (33)$$

The studies found that the capillaries during the drying of the cross-section changes more slowly than modern drying.

For drawing up the drying process of mathematical models and similar processing methods, which are phase transitions of moisture from one state to another in the presence of microscopic in homogeneities of the medium, polynomial approximation of dynamic variables has its limitations. The basic process of distribution of trace elements in the treated sample is that the liquid solute carrier flows through a solid stationary phase and carried material partially adsorbed the solid phase. Idealizing this process, we assume that the fluid particles move at a constant speed v .

Strict accounting of diffusion processes complicates the mathematical model of adsorption and by considering the spatial distribution of parameters. Then the conservation law has the form:

$$\frac{\partial(\rho_f + \rho_s)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(v\rho_f) = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \quad (34)$$

where h - diffusion coefficient inside the object dewatering.

For the a quasiequilibrium case we have the system of equations:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho_f}{\partial t} + c(\rho_f) \cdot \frac{\partial \rho_f}{\partial x} = h \cdot \frac{\partial^2 \rho_f}{\partial x^2}, \\ c(\rho_f) = \frac{V}{1 + R(\rho_f)}, \\ R(\rho_f) = \frac{K_1 K_2 AB}{[K^2 B + (K_1 - K_2) \rho_f]^2}. \end{cases} \quad (35)$$

Equations (35) were studied depending on the condition of linear velocity c from ρ_f . Using replacement of the Cole-Hopf received a parabolic equation, which has an exact solution, which reflects the ability to obtain dried products with a predetermined spatial distribution of trace elements contained in the cells of the material.

During the drying process, as mentioned above, large pressure gradients liquid often form microcracks and help to increase the flow of moisture from the bottom product at its surface. This can also be achieved by artificial means, without damaging the bioactivity of the final product.

The above-mentioned process of moving trace elements in dehydrating foods can be formalized by certain equations. With regard to the present case study the non-linear equation (34) using the method of successive approximations.

Let us introduce dimensionless parameters: $x' = \frac{x}{L}$, $t' = \frac{t}{T}$

where L - thickness of the material before drying; T - maximum drying time.

Instead, introduce ρ_f , $\rho_f^* = \frac{\rho_f}{\rho_f|_{t=0}}$; from (35) obtain

$$\frac{\partial \rho_f^x}{\partial t'^2} + c^* \frac{\partial \rho_f^x}{\partial x'^2} = h^* \frac{\partial^2 \rho_f^x}{\partial x'^2}, \quad (36)$$

where $c^* = c(\rho) \frac{T}{L}$, $h^* = \frac{hT}{L^2}$.

Agreed to further lower the finishing touches for the purpose of brevity, but it refers to the dimensionless variables dynamically (36). Introduce the notation

$$n_f = N_f^* N_f, \quad n_f = \rho_f,$$

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + c \frac{\partial n_i}{\partial x} = h \frac{\partial n_i}{\partial x^2}, \quad (37)$$

where n_i , c , x , h – new the dimensionless variables.

The solution of the nonlinear equation (37) is carried out using the method of successive approximations.

Let be $n = n_0(x, t)$ – solution of linear approximation, ie, solution (37), when $c = const$. It is linear and has a solution: $n_0(x, t) = n_0(x - c_0 t)$. Physically, it is - a common movement of the front with the speed $c_0 = c(n_0)$. The true solution can be approximately written in the form:

$$n_f = n_{0f}(x, t) + n'_f(x, t). \quad (38)$$

For the (38) have

$$\begin{cases} \frac{\partial n'_f}{\partial t} + \Delta c \frac{\partial n'_f}{\partial t} = h \frac{\partial^2 n'_f}{\partial x^2}, \\ \Delta c = c(0)[1 - \Delta R] \end{cases} \quad (39)$$

where ΔR - get from (35).

This decision allows for such an interpretation and that the process is accompanied by a growing movement of the time jump. However diffusion phenomena such smooth processes without bringing them to an abrupt concentration distribution. Interaction of these two physical phenomena that defines a mechanism for moving the trace elements.

As a result, use of the method of convolution of functions to approximate and analytical approximations for the solution of the equations (38) and using the approximation formula for the Laplace convolution functions, we obtain:

$$n = n_0(x, t) + \int_0^t F \left(\xi - \frac{V}{1 + R(n_0)} \right) \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4h(t-\tau)}}}{\sqrt{2h\pi(t-\tau)}} + O(h)^{\frac{3}{2}}, \quad (40)$$

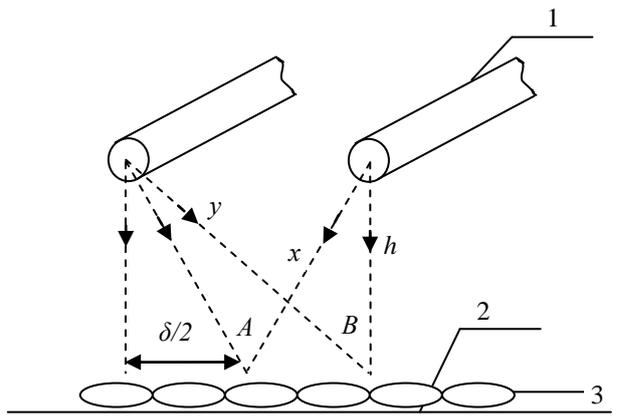
where $F = (n_0)_{xx}$.

This equation makes it possible to take sufficiently into account the effects of non-linearity.

Thus, based on the analysis of the behavior of microscopic in homogeneities in the process of dehydration products, we have developed new ways of intensification of the drying process, contributing to the preservation of biologically active substances (BAS) in the final product.

Based on the planning of experiments to study the effect of external factors (the infrared waves, vibration, vacuum level) for the drying process. On the basis of statistical data of the experiments obtained by mathematical models. The correlation coefficients are set by the time of drying $r_{1t}=0,84$; $r_{2t}=0,85$; $r_{3t}=0,85$ and energy consumption $r_{1Q}=0,83$; $r_{2Q}=0,83$; $r_{3Q}=0,63$.

Methods of planning experiments conducted research redistribution layers of crystallized substances during the drying process. In particular, the curves of distribution of inulin in jerusalem artichoke particular layer. Experiments have shown substantial layered separation of inulin.



1– emitters; 2– straight grid; 3– raw materials.

Fig.1. The infrared field created by two parallel ceramic tubes

Consider the work of the IR emitters. Let be parallel ceramic tube heated plane, which consists of mesh material (fig.1).

For comparison, the irradiated points A and B to perform calculations. Cylindrical emitters influence with power $I = I_0 \cdot \frac{1}{r^2}$, where r – distance from the axis of the cylinder equal to the radius, m , I – flux radiated power (in watts) at a distance from the tube, i.e. the radiation energy of infrared waves in the distance r , passing through a unit area per unit time, I_0 – full flow transmitter power ceramic tube.

Obviously, the point A is directed irradiation power $\frac{2I_0}{x^2}$, a to point B - power $\frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{y^2}$. Notice, that $y^2 = h + \sqrt{x^2 - h^2}$.

At equality infrared radiation at these points A and B have:

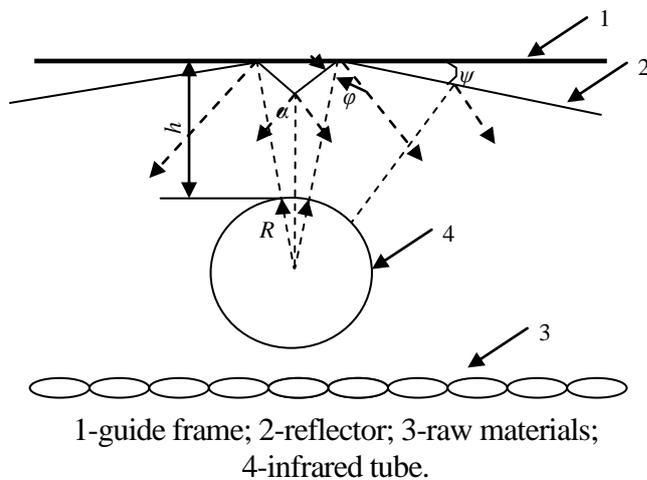
$$\frac{2I_0}{x^2} = \frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{h + 2\sqrt{x^2 - h^2}}. \quad (41)$$

Using the notation $\xi = \frac{x}{h}$, obtain

$$\xi^2 + \xi + 2 = 0, \quad (42)$$

where x, y – coordinates, m, h – the distance between the emitter and the base line of reflection, m, ξ – nondimensional quantity.

Equation (42) shows that for all values of non-zero, i.e. it does not hold, since the discriminant is different from zero. This suggests the impossibility of a uniform radiation of infrared using conventional discrete tubes. This equation holds when the distance to the radiating point is large compared with the diameter of the emitter.



1–guide frame; 2–reflector; 3–raw materials; 4–infrared tube.

Fig.2. Scheme figure of the reflector

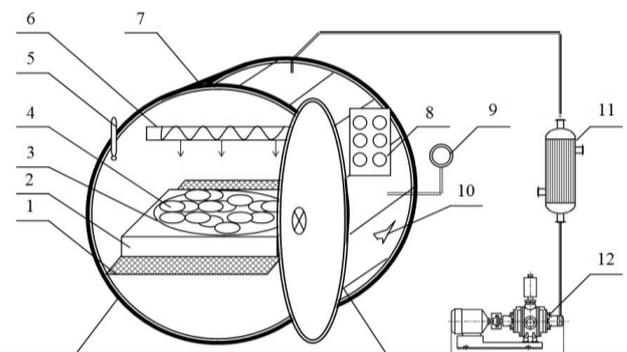
Often, however, between the emitters are located so that the distance is small compared with the diameter of the emitter.

Another significant point in the infrared camera - multi-drying grid gives a negative effect. To eliminate this fact proposes a new system of curved reflectors. These undesirable effects can be avoided by bending the curved metal reflectors at an angle $\varphi_{max}=27,4^{\circ}$; $\varphi_{min}=18,3^{\circ}$; $\psi \leq (\varphi_{max}-\varphi_{min})=19,1^{\circ}$ (fig.2), which not only reflect and provide uniform irradiation of the surface of the grid, but the outer side prevents spillage of product particles on the surface of radiators.

The calculations obtained conditions of maximum radiation reflection: the distance between the wires - 170 mm diameter tubes - 22 mm, the distance between the grid and the emitter - 135 mm, the distance between the surface of the radiator and the furthest point of the reflector - 22 mm.

At an arrangement tubes in parallel with spacing of 400 mm is achieved and maximum uniform irradiation using a radiating surface.

The third chapter of the dissertation titled «**Experimental investigation of drying processes in the experimental model plant**» is devoted to the study of thermal characteristics of sorption and desorption of jerusalem artichoke tubers: at vacuum-drying IR thermal characteristics of jerusalem artichoke - the specific surface area of the capillaries - is 18,38 m²/g; at the total pore volume of jerusalem artichoke in a vacuum infrared drying was 0,440 cm³/g. For another subject of the study - the fruit of wild rose hips - found that when the vacuum IR thermal characteristics of dried rose hips - the specific surface area of the capillaries - is 12,30 m²/g; and the total pore volume of the sample in a vacuum infrared drying rose hips was 0,390 cm³/g.

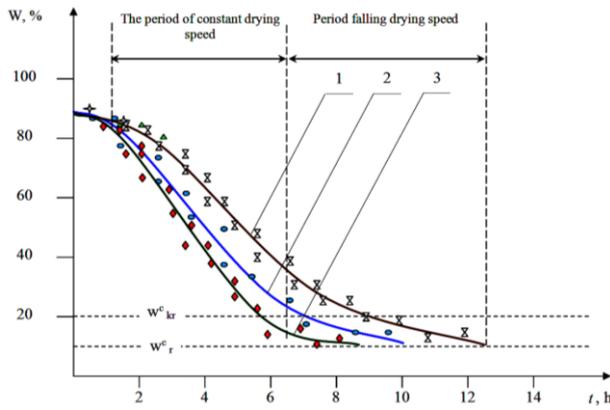


1 - pallet; 2 - scales with digital display; 3 - stand; 4 - raw materials; 5 - thermometer; 6 - IR heater; 7 - vacuum chamber; 8 - remote control; 9 - vacuum gauge; 10 - valve; 11 - heat exchanger; 12 - vacuum pump.

Fig.3. Scheme laboratory experimental setup

For experimental studies were made system - a vacuum oven with infrared emitters, allowing to carry out the drying process under various operating conditions, parameters of the process (fig.3). A series of experiments on the removal of the drying curves of jerusalem artichoke tuber varieties «Mujiza» and rose hips. The purified products are cut using slicer into slices of 2 mm thickness and placed on a special stainless grid pallets that are, in turn, placed in an IR oven - inside the vacuum chamber. The doors sealed vacuum chamber in a

closed position, and the air inside the chamber using a vacuum pump evacuated to -0,8 atm.; then set the thermostat right temperature include infrared drying cabinet. First, a continuous irradiation for 45 minutes, then continue the drying process in a discrete mode, include radiators for 5 minutes, shut off 25% of emitters - for 15 minutes. Such cycle is repeated until a product moisture of 12%. The total drying time is 10 hours.



1-vacuum drying with infrared heat (drying temperature 50 °C, vacuum -0.8 atm.); 2-vacuum drying with infrared heat (drying temperature 65 °C, vacuum -0.8 atm.); 3-vacuum drying with infrared heat (drying temperature 80 °C, vacuum -0.8 atm.)

Fig.4. Curves of drying the tubers of jerusalem artichoke varieties «Mujiza»

The period of constant drying rate continues until the critical moisture content w^c_{kr} (fig.4, fig.9), at internal and external diffusion resistance equal. Therefore, the critical moisture content can be determined as an average of the integral moisture material, at surface maximum hygroscopic moisture content is achieved and starts falling drying rate period (or the second period of drying).

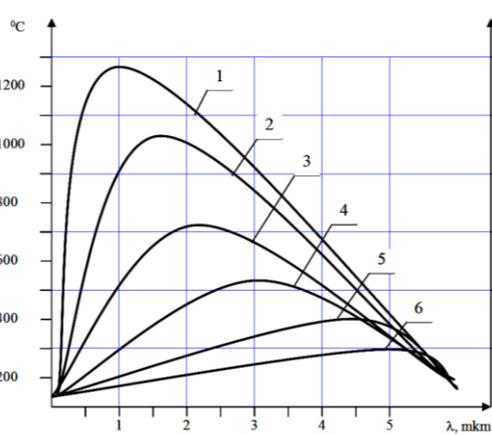


Fig.5. The best option IR drying products

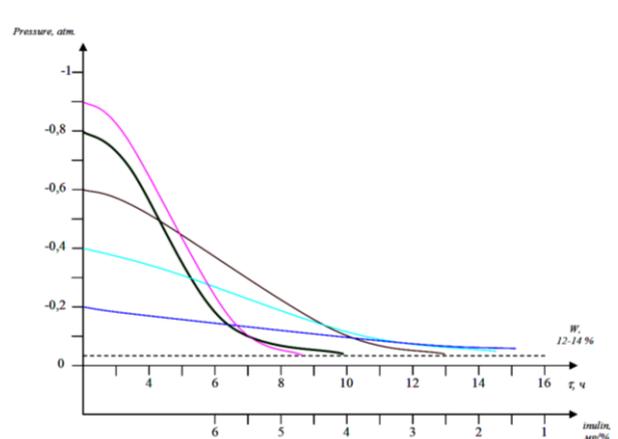


Fig.6. Dependence conservation inulin from atmospheric pressure and time of drying (drying conditions: 65 °C, thickness 2 mm lobule)

At high temperature, the infrared rays are short and low temperature infrared rays - long. At a temperature of 500-600 °C infrared rays reach 2,8-3 microns. This wavelength is considered to be the best option for the drying of the product at an approximate thickness of 2 mm (fig.5).

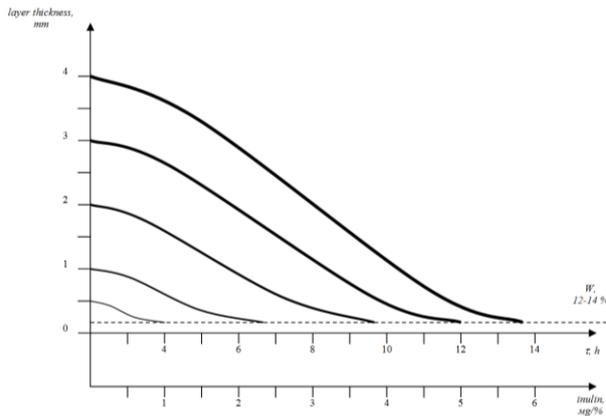
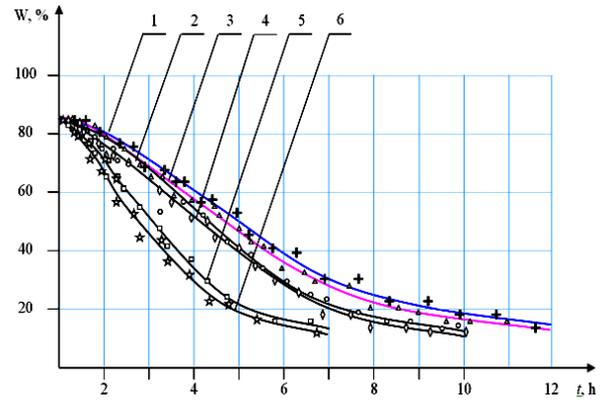


Fig.7. Storage of insulin dependence on the thickness of the cut tubers jerusalem artichoke and drying time
(drying conditions: -0,8 atm., 65 °C)



1- drying curve of jerusalem artichoke slices with infrared heating; 2-drying curve the crushed mass of artichoke with infrared heating; 3-drying curve of jerusalem artichoke slices in a vacuum with infrared heating; 4-drying curve the crushed mass of artichoke in a vacuum with infrared heating; 5-drying curve artichoke slices in vacuo to infrared heating and vibration; 6-drying curve the crushed mass of artichoke in a vacuum with infrared heat and vibration.

Fig.8. Curves discrete drying the tubers jerusalem artichoke

For drying processes jerusalem artichoke tubers vacuum chamber -0,8 atm. (fig.6) and the optimum thickness of the layer of chopped - 2 mm (fig.7).

One of the ways of intensification of drying layer vibration is applied in experiments on drying the tubers jerusalem artichoke slices and a the crushed mass (fig.8). The efficiency of dewatering increases to 40%.

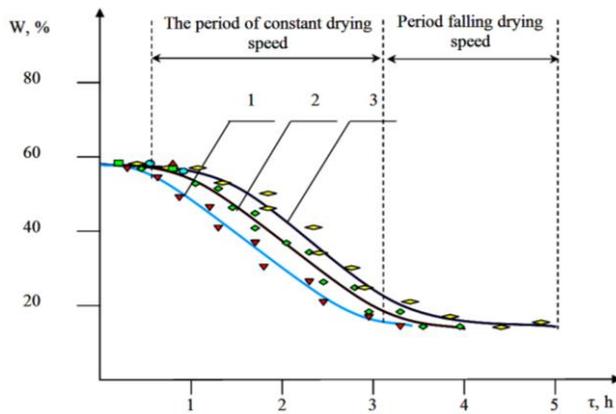
Also, experiments were conducted on a discrete and jerusalem artichoke dried rose hips, provides greater level of preservation of biologically active substances (BAS) compared with continuous operation and ensuring the necessary level of moisture in the surface layer of raw material to dewater.

It is shown that the composition of preservation inulin from the tubers jerusalem artichoke the crushed mass in the method of vacuum drying IR – 45,4 mg% and from the tubers jerusalem artichoke slices – 38,75 mg%.

To obtain high-quality products recommended to use a the crushed mass form and method of infrared vacuum drying.

Experimental studies have been conducted dried rose hips on the vacuum-infrared installation. Before drying rose hips thoroughly cleaned of debris and clean up. Then the dog rose laid on a flat surface of the grid pallets. Filled feed trays lay in a vacuum chamber comprising infrared heating to operating temperature in a vacuum chamber at -0,8 atm. Drying is carried out by setting

the optimum operating parameters of wild rose and dehydrated to a moisture content of 12%; thus in the fruit composition ensuring high safety of vitamins. The results of the experiments are shown in fig.9.



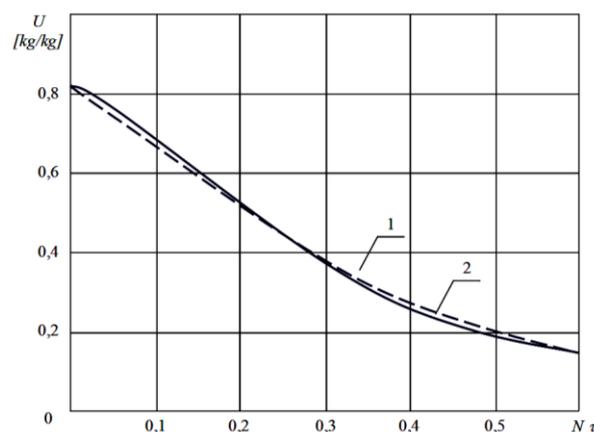
1-vacuum drying with infrared heat (drying temperature 80 °C, vacuum -0,8 atm.); 2-vacuum drying with infrared heat (drying temperature 65 °C, vacuum -0,8 atm.); 3-vacuum drying with infrared heat (drying temperature 50 °C, vacuum -0,8 atm.)

Fig.9. Curve drying rose hips

Based on the research of the drying process rose hips different drying methods (solar, convective and vacuum infrared drying) found rational variant of the process, ensuring high safety vitamin content of fruits (mainly ascorbic acid), also shows that the vacuum IR drying – 0,77 mg%. As part of the same faction seeds rose hips contain ascorbic acid vacuum infrared drying 4,0 mg%.

From the curves define the optimal drying temperature, drying time duration rose hips while maintaining free organic acid in the pulp by vacuum rose hips IR drying was 9,7 mg%.

Laboratory results show that in all the methods of drying the raw materials are stored maximum vitamins rose hips using vacuum infrared installation.



1-experimental; 2-calculated.

Fig.10. Generalized drying curves for the tested materials

Using getter and other properties of materials (tubers jerusalem artichoke and rose hips), and according to known methods, described in the works, build

the estimated generalized drying curve for the study material in the coordinates $(U, N\tau)$, wherein the N -maximum drying speed and compare it with the generalized curve drying, obtained by experiment (fig.10).

As can be seen from the figure 3.16, the experimental and calculated the generalized drying curves are virtually identical for the desired final moisture content parameter $N\tau < 1$. In accordance with a known method chosen classification table to vacuum drying with IR radiation.

Given the heat engineering design principles of the drying process, and taking into account the limitations of the technology used (materials do not have such specific technological properties, such as explosiveness, stickiness, destructible), select a specific type of dryer, a vacuum chamber IR.

The fourth chapter of the dissertation titled «**The implementation of processes and devices for technology of processing and drying of the materials in industrial environments**» carried out for industrial applications and designed the production line processing of the tubers jerusalem artichoke and rose hips (fig.11).

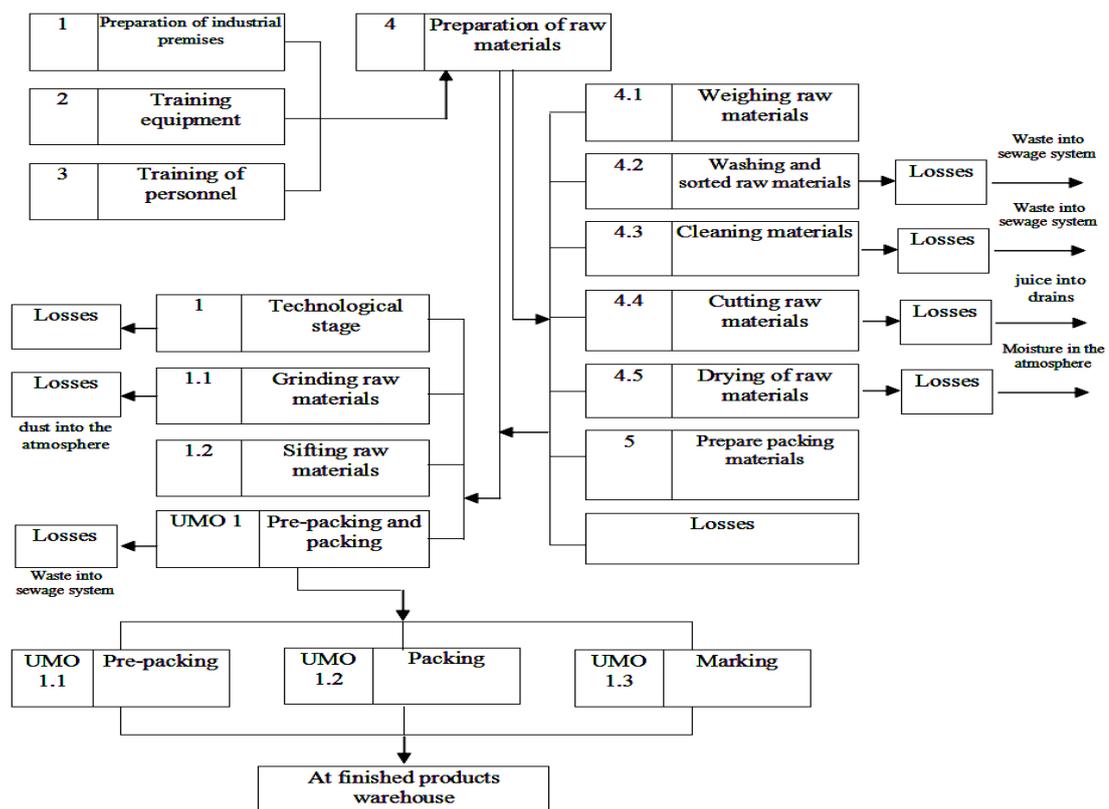
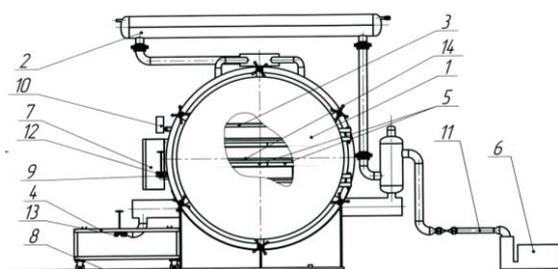


Fig.11. Technological scheme of jerusalem artichoke tubers and rose hips

This production line operations 4.2 and 4.4 are disabled during processing rose hips.

Scheme developed by the pilot radiation vacuum dryer is shown in fig.12. Previously drying material is placed on the keeper between the heating plates. After evacuating the installation of the heating elements to a wet material is fed in an amount of thermal energy required for evaporation. The water vapor

moved from the material to the cooled surface condenser condenses and partially discharged together with non-condensable gases vacuum pump. To ensure that the flow of the process in such a system is necessary to create a pressure differential between the steam and a condenser dryer.



1- vacuum chamber; 2 - heat exchanger; 3 - mobile infrared drying oven; 4 - trolley; 5 - pallet for of processed raw materials; 6 - vacuum pump motor; 7 - control unit; 8 - way for the roll-out carts; 9 - thermocouple for temperature measurement; 10 - manometer; 11 - high pressure hose; 12 - faucet the air intake; 13 - condensate drain cock; 14 - IR emitter.

Fig.12. Experimental research and industrial vacuum dryer with infrared light

For creation of technological scheme of processing of the tubers jerusalem artichoke and rose hips we have developed accessories.

Dried rose hips crushed, the resulting mixture is separated proposed aerodynamic separator.

Designed mill with cooling the body with cold water and air is provided with a further cavity.

The developed for production line introduced in LLC «Dorivor o'simliklar» and specialized state forestry Abu Ali Ibn Sina (fig.11). In the production line achieved the release of high-quality end products; ensure uniform drying of raw materials; due to the complex processing of improved performance, increased reliability, reduced the loss of raw materials, reduced the complexity of operations, create new jobs.

CONCLUSION

1. The current state of the theory and practice of drying and thermal activation of agricultural products of tubers jerusalem artichoke and rose hips and tendencies of their further development and improvement of innovation. The modern, the most common processes and devices for complex processing of tubers jerusalem artichoke and rose hips. It is shown that as one of the most preferred methods of drying food tubers jerusalem artichoke and rose hips is infrared heating of raw materials processed in conjunction with a variety of technological methods to increase the efficiency of the dewatering process of capillary-porous materials tubers jerusalem artichoke and rose hips.

2. Developed and formalized mathematical model of the movement of moisture in the capillary pores of the materials and the necessity of taking into account the internal redistribution of solutes, as well as the regularities of the dynamics of the drying process at the initial conditions with attendant phenomena sorption and desorption in the inner walls of the capillary channel structures. These phenomena occur in the volumetric evaporation, followed by

evaporation of the moisture gradient, which in turn leads to delamination and crystallized adsorbed substances. Studied non-linear relationship between the pressure inside the capillary, hydrodynamic speed, temperature and density of the test material.

3. Experiments on the influence of external factors (the infrared waves, vibration, vacuum level) for the drying process. Performed parametric identification of correlation coefficients of a mathematical model and analysis of the experimental statistics.

4. The dependence of the radiation power of the distance between the object and the dewatering emitters, as well as between the emitter and determine how to achieve a uniform distribution of infrared radiation in the volume of dewatered products by reflector elements corresponding configuration in a vacuum dryer with infrared heating.

5. Set sorption and desorption characteristics of tubers Jerusalem artichoke, capillary specific surface area is $18,38 \text{ m}^2/\text{g}$, wherein the total pore volume of Jerusalem artichoke under vacuum IR drying is $0,440 \text{ cm}^3/\text{g}$. For the characteristics of wild rose hips sorption and desorption: the specific surface area of the capillaries of $12,30 \text{ m}^2/\text{g}$, and the total pore volume of $0,390 \text{ cm}^3/\text{g}$.

6. According to the study thermal and sorption properties of the dried product are determined: allowable temperature, the drying and vacuum-drying plant with infrared radiation. Based on the results of experimental studies in a laboratory the method of calculation of industrial vacuum dryer with IR emitter.

7. The optimal thickness of the layer of products is about 2-2,5 mm. In larger thickness products are poorly heated, and drying time is substantially increased, with a smaller thickness - products excessively heated.

8. It is shown that the process for drying fruit IR must optimize the amount of input power so that the dehydrated fruits fairly quickly, but is not heated to a temperature loss of useful nutritional properties. The optimal wavelength for a 3 micron layer thickness of 2-2,5 mm, the product of the dewatering time allowable value, and the temperature of the fruit does not exceed $65-70 \text{ }^\circ\text{C}$, the vacuum in this case is $-0,8 \text{ atm}$.

9. As a result of experimental study of the influence of vibration on the drying process found that the efficiency of dehydration increases to 40% in a continuous heating - at a certain frequency and amplitude. It is shown that the composition of preservation inulin from the tubers jerusalem artichoke the crushed mass in the method of vacuum drying IR – $45,4 \text{ mg}\%$ and slices from the tubers jerusalem artichoke – $38,75 \text{ mg}\%$. At the same time the safety of ascorbic acid in the pulp of rose hips in the vacuum drying IR – $0,77 \text{ mg}\%$. As part of the same faction seeds rose hips contains ascorbic acid vacuum infrared drying – $4,0 \text{ mg}\%$.

10. The studies found that the tubers jerusalem artichoke and rose hips, dried in a vacuum - the device with IR - energy supply, have a high nutritional

and caloric value. Using the IR energy in the drying process leads not only to increased productivity and reduced energy costs, but also helps to preserve the full composition of vitamins and other biologically active substances (inulin and ascorbic acid) in the final product.

11. Modernized technological line of complex processing of dried and processed into powder jerusalem artichoke characterized using infrared vacuum dryer, hammer mill to obtain a powder from the the dried jerusalem artichoke. For fractionation (pulp, seeds, feathers) crushed rose hips developed aerodynamic separator. Based on the results developed technological regulations on the production of powder from the tubers jerusalem artichoke varieties «Mujiza» and rose hips.

12. Developments and the recommendations of the thesis in the technology for processing of jerusalem artichoke tubers and fruits rose hips at preservation of biologically active substances introduced into the State Joint Stock Concern «Uzfarmsoat» and the entities of the system of the Ministry of agriculture and water management (Reference the State Joint Stock Concern «Uzfarmsoat» from 30.11.2015 year MD-06/1868 and Ministry of agriculture and water management from 10.09.2015 year 06/14-893). A result of applying the vacuum drying technology with infrared radiation productivity increased by 1,2 the average annual overall economic efficiency was 233 million sum.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Сушка сырья: клубней топинамбура и плодов шиповника: Монография. -Ташкент, 2015. -123 с.
2. Norkulova K.T., Safarov J.E. Drying technology tubers of jerusalem artichoke and rose hips. Monograph: Lambert Academic Publishing. –Germany, 2016. -191 p.
3. Норкулова К.Т., Фахрутдинов Р.Р., Сафаров Ж.Э., Маматкулов М.М. Обеспечение равномерного инфракрасного облучения при сушке плоского слоя // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». – Ташкент, 2012. - С.16-19. (01.07.2011 й., №10).
4. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Нелинейные явления переноса растворенных веществ в капиллярах при заданных начальных условиях // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». – Ташкент, 2014. -№4. -С.11-15. (30.12.2013 й., №11).
5. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Исследование сорбционных и десорбционных параметров плодов шиповника // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». - Ташкент, 2014. -№5. -С.9-12. (30.12.2013 й., №11).
6. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Получение высококачественной продукции из клубней топинамбура (*Helianthus tuberosus*) путем оптимизации режимов сушки // Узбекский химический журнал. –Ташкент, 2014. -№6. - С.54-57. (30.12.2013 й., №3).
7. Сафаров Ж.Э. Расчет траекторий частиц плодов шиповника для разделения на фракции и параметров конусного сепаратора // Вестник ТашГТУ. -Ташкент, 2014. -№4. -С.122-126. (30.12.2013 й., №10).
8. Safarov J.E. Development process and apparatus for drying rosehips // European Applied Sciences. Germany, 2015. №5. -pp.64-66. (02.00.00; №4).
9. Norkulova K.T., Safarov J.E. Research of sorption characteristics of tubers jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*). // Journal of Food Processing & Technology. – USA, 2015. Vol.6, Issue 6. (№25. Directory of Open Access Journals. Impact Factor -2.3).
10. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Техника и технология сушки плодов шиповника // Химия и химическая технология. Журнал ТашХТИ. –Ташкент, 2016. -№1. - С.75-78. (02.00.00; №3).
11. Сафаров Ж.Э. Разработка технологической схемы переработки клубней топинамбура и плодов шиповника // Журнал «Пищевая промышленность». - Москва, 2016. -№3. -С. (02.00.00; №18).
12. Норкулова К.Т., Маматкулов М.М., Фахрутдинов Р.Р., Сафаров Ж.Э. Способ сушки клубней. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Патент на изобретение IAP 04936 от 23.07. 2014 г.

И бўлим (II часть; II part)

13. Сафаров Ж.Э., Фахрутдинов Р.Р. Зайниддинов А. Ускорение процесса сушки // Вестник ТашГТУ. -Ташкент, 2012. -№1-2. -С.102-107.

14. Норкулова К.Т., Фахрутдинов Р.Р., Сафаров Ж.Э., Маматкулов М.М. Дискретная сушка клубней топинамбура с сохранением биологически активных веществ // Журнал «Хранение и переработка сельхозсырья». - Москва, 2013.-№7. -С.13-14.

15. Сафаров Ж.Э. Установка с вибромеханизмом для сушки топинамбура в вакууме с ИК-нагревом // Журнал «Хранение и переработка сельхозсырья». -Москва, 2014. -№1. -С.49-51.

16. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Влияние способов сушки на качество продукции из плодов шиповника // Журнал «Хранение и переработка сельхозсырья». -Москва, 2014. -№10. -С.44-46.

17. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. О технологической последовательности переработки плодов шиповника // Журнал «Хранение и переработка сельхозсырья». - Москва, 2014. -№11. -С.9-11.

18. Safarov J.E. Way of cooling with the help of air – pulsation method // Journal of the Technical University of Gabrovo. -Bulgaria, Volume 47'2014. - p.23-25.

19. Norkulova K.T., Safarov J.E. Processing of experimental data and identifying the optimum mode obtain a powdery product from plant raw material. // Chemical technology control and management. -Korea, 2015, №3-4. –pp.47-50.

20. Norkulova K.T., Safarov J.E. Developing a new type hammer mill with a cooling system // Journal of the Technical University of Gabrovo. -Bulgaria, Volume 51'2015. -pp.3-5.

21. Сафаров Ж.Э. Разработка мельницы для получения порошка из сушеных клубней топинамбура (*Helianthus tuberosus*) // Международный сельскохозяйственный журнал. –Москва, 2015. -№2. -С.50-51.

22. Норкулова К.Т., Умаров В.Ф., Сафаров Ж.Э. Управление резонансной частотой плоского слоя фруктовых паст и пюре по мере их обезвоживания // Материалы Международной конференции. Высокие технологии XXI века. IX Международный Форум. –Москва, 2008. -Ч.3. -С.60-62.

23. Сафаров Ж.Э. Оптимизация инфракрасного нагрева в сушильных устройствах // Материалы международной научно-технической конференции «Современная техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». -Навои, 2010. -С.252-253.

24. Сафаров Ж.Э. Нелинейные процессы при распространении тепла в слое обезвоживаемого объекта // Тезисы докладов молодежной научной конференции «Ломоносов-2010». –Ташкент, 2010. –С.43-45.

25. Сафаров Ж.Э. Экспериментальные лабораторные исследования процесса вакуумной сушки с инфракрасным излучением // Международная научно-практическая конференция «Проблемы формирования и внедрения инновационных технологий в условиях глобализации». -Ч-2. -Ташкент, 2010.–С.171-173.

26. Норкулова К.Т., Маматкулов М., Сафаров Ж.Э. Улучшение качества сушки с помощью упругих волн // «Мамлакатимизни модернизация қилиш ва қучли фуқаролик жамияти барпо этишда илм-фан, технологиянинг ўрни» Республика илмий-техник анжумани. – Андижон, 2011. –С.95-97.

27. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э., Маматкулов М.М., Фахрутдинов Р.Р. Использование инфракрасного облучения при сушке // «Озиқ-овқат саноатида илғор технологиялар» Республика илмий-амалий анжумани. – Бухоро, 2011. –С.97-99.

28. Сафаров Ж.Э., Фахрутдинов Р.Р., Жураев Э. Уменьшение расхода электроэнергии за счет рационального выбора расположения ИК-излучателей в сушильном шкафу // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы развития энергетики» Ташкент, 2011. -С.147-149.

29. Сафаров Ж.Э. Разработка технологической линии получения порошка из высушенного топинамбура // «Замонавий илғор ва инновацион технологиялар» мавзусидаги илмий-амалий анжумани. -Бухоро, 2012. -С.68-69.

30. Сафаров Ж.Э. Способ сушки клубней топинамбура с помощью вибрации // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». – Санкт-Петербург, 2013. -С.489-490.

31. Норкулова К.Т., Умаров В.Ф., Сафаров Ж.Э. Обогащение пластов сушёной продукции новыми технологиями // International scientific conference UNITECH-2013. –Gabrovo, 2013. -С.344-348.

32. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Исследование получения порошка из клубней топинамбура // Международная конференция “Инновация-2014”. – Ташкент, 2014. -С.84-85.

33. Сафаров Ж.Э. Способ сепарации измельченных плодов шиповника // Сборник материалов Международной научно-технической конференции на тему: “Современные материалы, техника и технологии в машиностроении”. – Андижан, 2014. -С.437-438.

34. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э., Маматкулов М.М. Расчет сепаратора с использованием разделения на фракции измельченных плодов шиповника // «Ресурстежамкор кишлок хўжалик машиналарини яратиш ва улардан фойдаланиш самарадорлиги ошириш». –Тошкент, 2014. -С.277-280.

35. Narkulova K.T., Safarov J.E. Calculation vacuum dryers with infrared (IR)-heat // International scientific conference UNITECH-2014. –Gabrovo, 2014. -p.379-381.

36. Narkulova K.T., Safarov J.E. Study optimum variant drying rosehips conservation of biological active substances. Proceedings 8th World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation “WCIS–2014”. -Tashkent, 2014. -p.205-207.

37. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э., Жумаев Б.М. Способ сушки с сохранением биологически - активных веществ в составе плодов шиповника // VIII Московский международный конгресс «Биотехнология: состояние и перспективы развития». –Москва, 2015. -С.435-436.

38. Norkulova K.T., Safarov J.E. Processing of experimental data and identifying the optimum mode obtain a powdery product from plant raw material.

The 11th International Conference on Multimedia Information Technology and Applications (MITA 2015). Korea-Uzbekistan, 2015. –pp.391-394.

39. Norkulova K.T., Safarov J.E. Produce high quality products using the drying economic effect way // 5th International scientific conference “Practice and research in private and public sector-2015”. –Vilnius, 2015. -pp.192-197.

40. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Жумаев Б.М. Исследование теплофизических характеристик лекарственных растений. Труды VII Международной научно- технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». –Санкт-Петербург, 2015. - С.125-127.

41. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Анализ способов сушки лекарственных трав. Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы отраслей химической технологии». - Бухара, 2015. -С.32-34.

42. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Исследование способов сушки плодов шиповника. Международная научно-практическая конференция «Инновация-2015». Ташкент, 2015. - С.133-134.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» журнали таҳририясида таҳрирдан ўтказилди (26 март 2016 йил).